

VKI

A VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET

KÖZLEMÉNYEI

5

1974

MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ









VKI

KÖZLEMÉNYEI

5

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET KÖZLEMÉNYEI

5

BUDAPEST, 1974

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET (VKI)  
BUDAPEST, 1158. CSERVENKA M. ÚT 86.

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET

# KÖZLEMÉNYEI

5

KÖZZÉTESZI:

**DR. LUKÁCS JÓZSEF**

okl. gépészmérnök,  
az MTA levelező tagja,  
Kossuth-díjas,  
az Intézet igazgatója

SZERKESZTETTE:

a Szerkesztő Bizottság

**DR. GÁDOR LÁSZLÓ**

okl. gépészmérnök,  
a műszaki tudományok kandidátusa,  
műszaki—tudományos szaktanácsadó

**KISS MIKLÓS**

okl. gépészmérnök,  
a Villamos Berendezés Főosztály vezetője

**DR. KOCSIS ALBERT**

okl. vegyészmérnök,  
a kémiai tudományok kandidátusa,  
a Villamos Kerámiai és Hőtechnikai Főosztály vezetője

**LEYRER RICHÁRD**

okl. vegyészmérnök,  
a Szigeteléstéchnikai Főosztály vezetője

**DR. MOCSÁRY JÓZSEF**

okl. villamosmérnök,  
a műszaki tudományok kandidátusa,  
az Intézet tudományos igazgatóhelyettese

**MOLNÁR ISTVÁN**

okl. villamosmérnök,  
a Villamos Technológiák Főosztály vezetője

**DR. NÉVERI ISTVÁN**

okl. villamosmérnök,  
a műszaki tudományok kandidátusa,  
a Villamos Készülék Főosztály vezetője

**TAR FERENC**

okl. villamos- és gazdasági mérnök,  
az Intézet műszaki igazgatóhelyettese

Felelős kiadó: Dr. Lukács József  
a VKI igazgatója

Megjelent a Műszaki Könyvkiadó gondozásában

Felelős szerkesztő: Guller Jánosné villamosmérnök

A kézirat lezárva: 1973. júl. 1.

Műszaki vezető: Hegedűs Ernő  
Tipográfus: Hegedűs Ernő  
Műszaki szerkesztő: Mózer István  
Ívterjedelem: 43,9 (A5)  
Példányszám: 800  
Azonossági szám: 0667

74/3368. Franklin Nyomda, Budapest.  
Felelős: Vértes Ferenc igazgató

# *A 25 éves Villamosipari Kutató Intézet köszöntése*

Az Intézet felett felügyeletet gyakorló miniszterhelyettesként a Kohó- és Gépipari Minisztérium, valamint a magam nevében szeretettel üdvözlöm az alapításának 25. évfordulóját ünneplő Villamosipari Kutató Intézet kollektíváját.

Minden emberi tevékenység fokmérője az, hogy milyen értéket hoz létre. Ennek figyelembevételével úgy gondolom, hogy az értékelést abból a szempontból kell végrehajtanunk, hogy az Intézet 25 éves fennállása alatt milyen értékeket hozott létre, ill. milyen értékeket bocsátott a magyar népgazdaság rendelkezésére.

Az Intézet két erősen elhatárolható gazdasági szakaszban működött: 1949-től 1968-ig, mint költségvetési szerv, 1968-tól napjainkig, mint vállalat. A kutatási célokat az első időszakban a Kohó- és Gépipari Minisztérium és az Intézet közösen határozta meg; ezen meghatározás mértéke 1968-tól kezdve kb. 20...25%-ra redukálódott, míg a kapacitás maradék részét, azaz 75...80%-ot az ország erősáramú gyárai, valamint az ipar egyéb ágazatai definiálhatják.

Az Intézet eredetileg az erősáramú ipar fejlesztésére alapult, azonban szükség-szerűen egyéb iparágak erősáramú problémáit is megoldotta, ez utóbbiakat — volumen szempontjából — az utóbbi években egyre nagyobb részesedéssel. Az Intézet összetevékenysége a ténylegesen felmerülő társadalmi igények kielégítésére irányul.

Az Intézet munkáiból és eredményeiből példaképpen néhány olyan jellegű ragadok ki, amelyekről úgy vélem, hogy azoknak iparilag, bizonyos tekintetben országosan nagyobb jelentőségük volt.

A szigeteléstechnika területéről ki kell emelni a poliészter és epoxigyanták kifejlesztése által létrehozott új, öntött mérőváltókat és nagyfeszültségű szigetelőket, a sajtolóanyag-előállítás és -feldolgozástechnológia kidolgozására, valamint a szigetelőanyagok klimatikus és termikus behatásokra létrejövő elváltozásaira vonatkozó kutatásokat.

A villamos berendezések és erősáramú elektronika területén elért eredmények közül a 3000 LE-s magyar villamos mozdony egyenirányítójának kifejlesztését és a dunaújvárosi 6 MW-os blokkos hajtás megvalósítását emelem ki. Az előbbit kb. 150 db villamos mozdony legyártása, az utóbbit milliárdos nagyságrendű durvalemez-többletermelés, mint népgazdasági eredmény követte.

Technológiai vonalon beszélni kell a magyar erősáramú félvezetőipar megteremtéséről és több százezer darab szilíciumdióda legyártásáról. Lényegesnek tartom a fém-megmunkálás terén végzett kutatásokat a villamos energia közvetlen alkalmazásával.

Villamos készülék vonalon az európai szintű kis- és nagyfeszültségű biztosító-sorozatok kidolgozása, a kisműködésű készülékek alapproblémáinak tisztázása, valamint a kisműködésű váltakozó- és egyenáramú zárlati laboratórium létrehozása és így komoly vizsgálati lehetőség megteremtése a fő érdem.

Elektrokerámiai kutatások területén az alacsony hőfokon égethető kerámia-

fajta kifejlesztése és a nagy hőállóságú, közvetlen fűtőszál beépítésű kerámiák létrehozása érdemel említést.

Az Intézet úttörő munkát végzett a mozgó alkatrészt nem tartalmazó energiafejlesztő rendszerek (termo- és napfénygenerátorok), valamint a nem kötött pályás közúti villamos járművek vonalán (hibrid autóbusz, 2,5 tonnás áruterítő gépkocsi). Ennek eredményei valószínűleg a közeljövőben jelentkeznek.

Amikor az Intézet jövőjének, valamint céljainak kijelöléséről van szó, okvetlenül figyelembe kell venni a magyar erősáramú ipar elkövetkezendő speciális helyzetét a szocialista és a kapitalista piac területén. Nem vitatható, hogy az Intézetnek saját kezdeményezéseivel és javaslataival fel kell készülnie arra, hogy a küszöbön álló szocialista integráció keretében bizonyos cikkek gyárthatóságát, akár az eredetiség, akár a minőségi és technológiai fejlettség idejekorán történő biztosításával hazánk számára megszerezze. Más oldalról vizsgálva a kérdést, várjuk az Intézettől azt is, hogy olyan elemeket, olyan villamos készülékeket fejlesszen ki, melyek mind szocialista, mind kapitalista relációban átütő piaci sikert eredményezhetnek.

Úgy érzem, hogy a fenti célok megvalósításához az Intézet rendelkezik a megfelelő szellemi és felszereltségi készültséggel és így a siker reményével láthat a további feladatok megoldásához. Ugyanakkor kérem az erősáramú ipar vezetőit, hogy az új, eredeti, a világpiacon monopóliumot biztosítani tudó gyártmányfejlesztések során bizalommal támaszkodjanak a 25 éves Villamosipari Kutató Intézetre.

A 10 millió lelket számláló Magyarország a népek gazdasági versenyében csak akkor tudja megállni a helyét akár az erősáramú, akár más ipari területen, ha az országban levő szellemi erőket egyirányúan, adott szelektív célok érdekében használjuk fel.

E gondolatok jegyében kívánok a Villamosipari Kutató Intézet egész kollektívájának és vezetőségének további munkájukhoz sok sikert és jó egészséget.

*Dr. Heiczman János*  
Kohó- és Gépipari miniszterhelyettes

# *A 25 éves Villamosipari Kutató Intézet tevékenysége és eredményei*

*DR. LUKÁCS JÓZSEF*

A fennállásának 25 éves évfordulóját ünneplő Villamosipari Kutató Intézet a szocialista társadalmi rendszerben alakult meg és ebben folytatja működését.

Az intézet dolgozói — mint a társadalom más tagjai is — igyekeztek népünk jólétének fokozását szellemi erőfeszítéssel elősegíteni, mivel a legújabb időkben a kutatómunka az e célt a leghathatósabban szolgáló tényezőnek bizonyult. Ismert, hogy egy nép jólétét döntően a munkához való viszonya, az országban végzett fizikai és szellemi munka mennyisége és minősége határozza meg. A közgazdasági irodalom kimutatta, hogy a század elején a társadalmi termék növekedésének 25%-a, jelenleg már 47%-a tulajdonítható tudatos kutatások eredményének, új technológiák, új eljárások kidolgozásának. A társadalom a növekvő igények kielégítésében a termelésre igen nagy terhet ró. Irodalmi adatok szerint a XVII. század emberének általános igényeit a mai emberé értékben kb. hússzorosan felülmúlja.

A Villamosipari Kutató Intézetre azoknak a problémáknak a megoldása hárult, amelyek az erősáramú ipar termelési értékének növelését, fejlettebb, korszerűbb termékek előállítását szolgálták, szélesebb körben pedig mindazon problémák megoldása, amelyek révén a villamos energiát mint hathatós eszközt termelési, technológiai, vagy egyéb célra eredményesen fel lehet használni.

Az elmúlt 25 év egyébként az erősáramú elektronika szempontjából erős szemlélet- és eszközváltozást jelentő korszak volt. Ezt az időszakot az új felfedezések és problémák egész sorának a megjelenése jellemzi:

- a félvezetők alkalmazása erősáramú célokra;
- erősáramú szabályozási és automatizálási problémák megoldása integrált áramkörökkel, ill. általában mozgó alkatrészt nem tartalmazó eszközökkel;
- az atomenergia felhasználásával összefüggő erősáramú problémák, végül
- az erősáramú szabályozástechnikával összefüggő kibernetikai problémák.

Hangsúlyozni kell, hogy az erősáramú villamos ipar egy modern állam gazdasági életét teljes mértékben átszövi. Jelen van a termelési eszközök minden típusában, az emberek kényelmét, kultúráját szolgáló berendezésekben, jelen van közlekedési eszközeinkben. A kutatás irányításával foglalkozó szakkönyvek hangsúlyozzák, hogy a kutatás hatásossága lényegében két tényezőtől függ:

- milyen szervek hozzák a kutatási témák kiválasztására a döntéseket,
- ezek a döntések milyen alapelvek figyelembevételével történnek.

A Villamosipari Kutató Intézet 25 éves működése ebből a szempontból két szakaszra osztható:

1968-ig, 19 éven át az intézet mint költségvetési szerv működött, és a témák teljes mennyiségének megválasztása a Kohó- és Gépipari Minisztérium, valamint az Intézet

vezetőségének közös megállapodása alapján történt. Röviden azt lehetne mondani, hogy a kutatás teljes tematikájáért a fenti szervek voltak ez időben a felelősek.

Az utóbbi hat évben ez a helyzet megváltozott. Kutatásaink kb. 25%-ára vonatkozóan megmaradt a fenti döntési fórum, azzal a kiegészítéssel, hogy távlati témák megválasztásához, mint értékelő és finanszírozó partner, csatlakozott az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság.

A témák 75%-ának megválasztása ez időtől kezdve teljes mértékben áttolódott az erősáramú ipar gyáraira és a gépgyártó ipar egyéb vállalataira, esetenként más iparágakra is. A továbbiakban vizsgálhatjuk azt a kérdést, hogy a döntést hozó szervek milyen elvek alapján hozzák döntéseiket. 25 éves kísérleti—kutatási tapasztalataink alapján kijelenthetjük, hogy a kutatásra fordított anyagi és szellemi erők szempontjából gyakorlatilag közömbös, hogy az eredmény realizálásából származó termelési érték a kutatás költségeivel összemérhető nagyság, vagy azt sokszorosan meghaladja. Az 1968 évig a kutatás egészére, a továbbiakban pedig a kutatási volumen kb. 25%-ára érvényes volt az a kiválasztási elv, hogy olyan témák kerüljenek előtérbe, amelyeknek sikeres megoldása esetén jelentős, ún. ipari multiplikációs faktor lép fel, azaz a kutatási költséget sokszorosán felülmúló gyártási érték jön létre.

Az új gazdasági mechanizmus bevezetésével kapcsolatban a gyári rendelkezések a tapasztalatok szerint nem minden esetben vették figyelembe ezt az elvet. A kutatási cél kitűzését dominánsan a probléma nehézsége, a megoldás sürgős volta, vagy az alkalmas saját kutató—fejlesztő kapacitás hiánya határozta meg és a termelési konzekvenciák volumene bizonyos mértékben háttérbe szorult. Miután az illetékes rendelő a kutatási költséget kifizette, az intézet az ipari konzekvenciákkal nem is volt képes törődni. Energiáit lekötötte a kutató kapacitás rendelkezéssel való teljes kitöltésének a gazdasági kényszere, a hosszú évek során kinevelt kutatógárda együtt-tartásának az igénye.

Erdemes vizsgálni azt a kérdést is, hogy a VKI milyen működési területeket választott. Egy mondatban válaszolva a kérdésre elmondhatjuk, hogy a VKI az új, a legdinamikusabban fejlődő területekre összpontosította az elmúlt időszakban a tevékenységét. Ezek a területeken volt a legnagyobb a kutatás iránti igény és ezekre a kutatásokra voltak a hagyományos gyártmányokkal foglalkozó gyárak szakemberei a legkevésbé felkészülve.

Kialakult az intézeten belül néhány olyan kutatási bázis is, amelynek művelése az ipar későbbi átszervezése, a nagyvállalatok megalakulása után nem lett volna indokolt egy központi intézményben. Így az akkumulátor-kutatás, amely nagyrészt az ólom-takarékosággal kapcsolatban került előtérbe, a továbbiakban az Akkumulátor- és Szárazelemgyárban folytatódik. A korábbi Kábelkutató Bizottságból alakult Kábel Osztály számos komoly eredményt ért el a magyarországi kábelproblémák megoldása terén és végül is a Kábelgyár egyik főosztályává adtuk át.

A Villamosipari Kutató Intézet munkáját a továbbiakban három szempontból kívánom megvilágítani:

- I. Szeretném mind műszaki, mind gazdasági szempontból bemutatni azokat az eredményeket, amelyeket az intézet eddig létrehozott;
- II. Részletezni kívánom azokat az elveket, amelyek figyelembevételével az intézet munkáját a népgazdaság számára legnagyobb hasznot hajtó területekre irányítottuk;
- III. Végül a villamosipari kutatás előtt álló jövődől feladatokat szeretném vázolni.



## I.

Eredményeink vázolója előtt engedtessek meg a beszámoló írójának — mint azt a VKI Közlemények 4. kötetében is megtette —, hogy rögzítse a VKI 19 éven át volt igazgatójának, néhai Dr. Urbanek Jánosnak, a VKI alapítása és fejlesztése terén elért eredményeit és vitathatatlan érdemeit. Az 1949-ben három fővel megalapított VKI (akkori nevén Villamosipari Központi Kutató Laboratórium, VKKL) 1968-ra Dr. Urbanek vezetése alatt 530-as létszámúra növekedett, olyan kutatógárdával, amely megfelelő eszközök és laboratóriumok birtokában az erősáramú ipar akkoriban felmerülő problémáinak teljes spektrumára vonatkozóan megoldási készséggel rendelkezett. Ezen a helyen is mégegyszer hangsúlyozni kívánjuk, hogy Dr. Urbanek Jánosnak, a Villamosipari Kutató Intézet első igazgatójának az intézet felvirágoztatása terén el nem évülő érdemei vannak.

Az intézet eredményeinek bemutatásakor legkézenfekvőbb elvi csoportosításban bemutatni az intézet eredményeit. Ez alapján véve áramköri problémák megoldására és technológiai problémák megoldására osztható fel.

A továbbiakban bemutatandó eredmények mindenképpen e két nagy csoport valamelyikébe tartoznak. A beszámolóban figyelembe vettük a szervezeti kereteket, az eredmények létrehozásának forrásait, nem feledkezve meg a személyekről sem, akik az eredményeket létrehozták.

A továbbiakban a bemutatandó eredményeket

- szigetelés technika,
- teljesítményelektronika,
- félvezető, ill. villamos technológia,
- villamos készülék, valamint
- elektrokerámia

témák csoportosításában mutatjuk be.

Az *I. Szigetelés technikai Főosztály* 1961-ben alakult meg, azóta gyakorlatilag Leyrer Richárd okl. vegyészmérnök vezeti. A főosztály magját az 1950-ben alakult technológiai és vegyszeti osztály képezte. Összefoglalóan azt állapíthatjuk meg, hogy a jelenlegi főosztály számos sikert és eredményt ért el a szigetelőanyagok technológiájának és vizsgálatának területein; jelentősek voltak az eredmények a klimatizáció és tropikalizáció vonalán is. Az elért eredményekkel kapcsolatban hivatkozunk Leyrer főosztályvezetőnek ugyanebben a kötetben található részletes beszámolójára, valamint a főosztály osztályvezetőinek és tudományos munkatársainak cikkeire.

A kidolgozott anyagok és technológiák közül a következőket említjük meg:

- a rakott csillám helyettesítése Mikape nevű csillámpapír anyaggal;
- elektroforetikus szigetelési módszer;
- telítetlen polieszter kiöntőgyanták Elasztisol márkanévvél;
- szabadtéri epoxigyanták kikísérletezése, 120 kV-ra alkalmas tám- és függő-szigetelők;
- Doroszil és Epomel sajtolóanyag;
- kisnyomású epoxi sajtolóanyagok és ezek technológiájának kidolgozása;
- szuperpabit és nagyfrekvenciás pabit, üvegvasas félkészgyártmányok, folírozott lemez kidolgozása;
- Epoband bandázs-szalag, amelyből jelentős mennyiség exportra is került.

A szerkezeti kutatások között főként az öregedés folyamán létrejövő szerkezeti változások vizsgálatát tűztük ki célul. Ebben a témában számos, külföldön is vissz-

hangot keltő publikáció jelent meg. A szigetelőanyagokat vizsgáló berendezésekből több európai országba exportáltunk.

A klimatológiai vizsgálatok keretében több állomást hoztunk létre hazánkban, ill. egyet Kínában.

Eredményeikről számolhatunk be a klímaállóság, a fungicidek, valamint korróziós rendszerek kutatása területén, trópusi szállítások műszaki alátámasztására.

A 2. *Villamos Berendezések Főosztály* 1954-ben alakult, 1970-ig dr. Gádor László okl. gépészmérnök, a műszaki tudományok kandidátusa, majd ettől az időponttól 1973. közepéig Kiss Miklós okl. gépészmérnök vezette. Ekkor a főosztály kettévált: Villamos Berendezés és Erősáramú Elektronika Főosztályra. Az egyiknek a vezetője Kiss Miklós maradt, a másiké dr. Ganszky Károly okl. villamosmérnök, a műszaki tudományok kandidátusa lett.

Az áramköri tervezés és megvalósítás igen komplex feladat. A villamos berendezések kutatása már a főosztály tevékenységének első éveiben az akkor fejlődésnek induló erősáramú elektronika ipari alkalmazására összpontosult. Az áramköri tervezés során, akár szabályozásról, akár periodikus folyamatokról van szó, ügyelni kell a lengésmentesség és a csillapítás megfelelő kialakítására és arra, hogy a megvalósítás minimális számú alkatrészrel történjen. Az egyes áramköri elemeket a megfelelő igénybevételre kell méretezni, a gazdaságosság és az élettartam ellentmondó szempontjainak figyelembevételével. Az ilyen méretezés csak első hallásra egyszerű. (Példaképpen megemlítjük az olvasó számára egy kondenzátor optimális kiválasztását, amelynek pl. alapigénybevételként 220 V váltakozófeszültséget, percnkénti gyakorisággal 10 ms széles, háromszoros feszültségcsúcsot és kis valószínűséggel napjában pl. egyszer tízszeres feszültség-igénybevételt kell elbírnia néhány ms időtartamig.)

Az alkatrészek méretezésén túlmenően az áramkör megvalósításának mechanikai, forrasztási és kötési feltételei sem érdektelenek. A meghibásodások nagy százaléka ilyen jellegű, primitív hibára vezethető vissza. Az erősáramú és jeleket vivő vezetékek induktív és kapacitív csatolásának kiküszöbölése, megfelelő elhelyezése, szervizelhetősége szintén a sikeres készülék-megvalósításnak és üzemeltetésnek a feltétele. Külön tudománya van ma már a rendkívül sok elemből felépített, nagy felelősségű ipari feladatokra szánt bonyolult ipari elektronikus berendezések megbízhatósági kérdéseinek.

Az elmúlt időszak eredményei közül a következőket említjük meg:

- az erősáramú szabályozástechnika megalapozása: első lépésként ívkemence-szabályozó, valamint amplitúdinek szabályozott kohászati hajtások megoldásai-ként;
- az áramirányítótechnika meghonosítása: RMNV típusú higanykatódú egyenirányítók fejlesztése;
- 3000 LE-s villamos mozdony (V 43-as) félvezető egyenirányítójának tervezése és kivitelezése;
- a Lenin Kohászati Művek durvahengerművének rekonstrukciója;
- hajtásrekonstrukció a Dunai Vasmű 6 MW-os, meleghengerművi előnyújtó során;
- híradástechnikai és erőművi akkumulátortöltő sorozat kialakítása (125... 500 A; 48... 220 V);
- tirátronos és tirisztoros elektrohidraulikus ívkemence-szabályozók megalkotása;
- hálózati feszültség-szabályozó automatikák;
- egyenáramú és váltakozóáramú vasútvilágítási generátorok feszültség-szabályozó rendszerei;

- tirisztoros egynegyedes és négynegyedes egyenáramú hajtások, félvezetős kaszkádhajtások;
- szünetmentes energiaellátó berendezések;
- kényszerkommutációs inverterek vasútbiztosítási, híradástechnikai, kazán-automatikai, stb. célokra;
- digitális technika területén: pénztárgépek adatgyűjtő rendszerének kifejlesztése;
- szinkron generátorhoz kompaundáló és feszültségszabályozó típusos kis és közepes teljesítményekre.

A 3. *Villamos Technológiák Főosztály* 1959-ben, az időközben felépített félvezető laboratórium megnyitásával egyidőben alakult meg. 1959-től 1968-ig dr. Lukács József okl. gépészmérnök, a műszaki tudományok kandidátusa vezetése alatt állott, 1968-tól Molnár István okl. villamosmérnök vezeti. A főosztály létszáma a kezdeti 25 főről kb. 120 főre növekedett.

Mint az elnevezésből is kiderül, a főosztály szilárdtestfizikai kérdések, ill. erősáramú félvezető technológiák tanulmányozására, ill. kidolgozására alakult. A főosztály megalakításakor az eredeti koncepció az volt, hogy olyan erősáramú vezérlő- és szabályozóelemeket dolgozzon ki, amelyek lehetővé teszik az erősáramú ipar modern elemekkel történő felszerelését. Ebbe a keretbe illeszkedik a nemlineáris ellenállások, a germánium- és szilíciumdiódák, valamint a nagyteljesítményű tirisztorok kidolgozása. Természetesen eközben számos alapproblémát kellett megoldani: germánium és szilícium egykristályok előállítás, mikroötvözések, diffúziós és epitaxia, plasma sputtering stb. E tekintetben csúcseredménynek kell tekinteni a

400 A-es, 3000 V zárófeszültségű diódákat és a  
200 A-es, 1600 V zárófeszültségű tirisztorokat.

A félvezető elemek iránti magyarországi igény kielégítésével párhuzamosan a főosztály a szilárdtestfizikai ismeretek birtokában olyan anyagokat is kidolgozott, pl. Peltier-hűtőelemek számára, amelyek 55 °C-os hőmérsékletkülönbséget biztosítanak egy 8 mm magas oszlopocska két vége között. Említést kell tenni a termovillamos generátorok számára kidolgozott ötvözetekről, amelyekkel közel 6%-os hatásfokot értünk el.

A félvezető-technológia mellett az 1968. évtől kezdve a főosztály egyéb technológiai problémák megoldását is feladatul kapta. Ezek közül megemlítjük a közepes hőmérsékletű tüzelőanyag-elemek kidolgozását, az elektrodinamikus melegalakításokat, valamint présöntéseket.

A főosztály által kidolgozott 150 A-es, 800 V névleges zárófeszültségű szilícium diódákkal — az intézet 2. Főosztálya által kidolgozott egyenirányítóberendezésekbe beépítve —, jelenleg is kb. 150 db nagyvasúti villamos mozdony teljesít szolgálatot.

1968-tól kezdődően a főosztály úttörő munkát végzett a villamos közúti jármű létrehozása vonalán és jelenleg három kidolgozott típusal rendelkezik, amelyből közületi és kórházi célokra több megrendelés érkezett.

Felsorolászerűen a főosztály következő eredményeit rögzítjük:

- nemlineáris ellenállás-sorozat kidolgozása, melegprézeléses technológiával, valamint keramikus kötéssel;
- 6...220 kV-os túlfeszültségvevő sorozat kidolgozása, statikus és Contrapolar mágneses szikraközzel;
- germániumdióda sorozat kidolgozása 5 A-tól 200 A-ig;

- szilíciumdióda sorozatok kidolgozása (5 A-tól 400 A-ig), ötvözéses, diffúziós, ill. melting back technológiával;
- tirisztorsorozat kidolgozása;
- szilícium mikrokristály gyártásának megvalósítása;
- szilícium monokristály gyártásának megvalósítása;
- közvetlen energiaátalakítás területén: napfényelemek (400 W-ig), termovillamos generátorok (250 W-ig) és tüzelőanyag-elemek (1 kW-ig), valamint
- nagyenergiájú primer elemek megvalósítása, különösen alumínium-peroxid megoldásban;
  - hideg és meleg elektrodinamikus fémalakítások, valamint présöntés;
- villamos autók típusai (három fajta) megvalósítása (az első típus 1968-ban készült el).

A 4. *Villamos Készülék Főosztály* villamos készülékek fejlesztésére alakult 1965-ben (addig ugyanezen név alatt kutató osztályként működött), kisfeszültségű egyen- és váltakozóáramú zárlati laboratóriummal felszerelve. Ezidő óta, 1972-ig — tudományos igazgatóhelyettesi kinevezéséig — dr. Mocsáry József okl. villamosmérnök, a műszaki tudományok kandidátusa vezette, jelenleg dr. Néveri István okl. villamosmérnök, a műszaki tudományok kandidátusa vezeti.

A főosztály által megoldandó, villamos készülékekkel kapcsolatos problémák általános készülékszerkezeti tudást, villamos technológiai ismereteket és igen alapos elméleti ismereteket igényelnek. A főosztály által kidolgozott számos készülék- és elemtípus jelenleg is gyártásban van, különösen az európai szintű kis- és nagyfeszültségű biztosítók, amelyek nagy sorozatokban készülnek. Az elért eredmények egyrészt a nagyteljesítményű nagy- és kisfeszültségű biztosítók, másrészt az érintkezőanyagvizsgálat és érintkezőanyag-fejlesztés, továbbá a villamos készülékek alapproblémái, elsősorban az ívöltás köré csoportosíthatók. A főosztály számos készülék-konstrukciót és méretezési irányelvet is kidolgozott.

Az elért legfontosabb eredmények:

- nagy- és kisfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó biztosítók;
- villamos érintkezők fejlesztési és értékelési rendszerének kidolgozása;
- kisfeszültségű készülékek alapproblémáinak megoldása;
- kisfeszültségű kontaktorok méretezési módszere;
- kisfeszültségű szinkron rákapcsoló;
- középfeszültségű szakaszoló érintkezőrendszere;
- különleges mérési módszerek és mérőberendezések kidolgozása kapcsolókészülékek különféle paramétereinek meghatározására;
- egyen- és váltakozóáramú, nagyteljesítményű vizsgálatok;
- plazmamegmunkálások, főként fém és keramikus anyagokra, az utóbbiak felületkiképzési, ill. felületborítási céllal.

Az 5. *Villamos Kerámia és Hőtechnikai Főosztály* 1969-ben alakult meg, és a főosztályt ezen időponttól 1971. szeptemberig dr. Sárkány Endre okl. vegyész vezette, azóta dr. Kocsis Albert okl. vegyész-mérnök, a műszaki tudományok kandidátusa irányítása alatt áll.

A főosztály magját alkotó osztály kezdetben az I. Szigetelés-technikai Főosztály keretében működött. Erre az időre esik a különböző anorganikus beágyazómasszák kidolgozása. Későbbiekben dolgozták ki a hypokerámia névvel jelzett anyagcsoportot, amely számos műszaki feladat megoldására volt alkalmas. A hypokerámia gyártás a főosztály keretében alapított félüzemben jelenleg is folyik.

A főosztály legújabb eredményei közül meg kell említeni azt a megoldást, amely lehetővé teszi fűtőelemeknek közvetlenül a kerámia masszába történő beágyazását. Ez a megoldás a fűtőszál hőmérsékletét nagymértékben csökkenti és az eddig végzett mérések szerint korróziós vagy egyéb kölcsönhatások a fém és kerámia anyag között nem lépnek fel. Ki kell emelni a főosztálynak a kisfeszültségű, nagy megszakító-képességű biztosítók tokozásának előállításához kidolgozott újfajta masszák terén elért eredményeit, amelyek a porcelánnál hőállóbb, mérettartóbb és szilárdságilag megfelelőbb biztosítótokozást eredményeznek.

A 6. *Erősáramú Elektronika Elemek Technológiája önálló osztály* lényegében szintén szilárdtestfizikai és technológiai téren dolgozott. 1967-ben alapították, azóta Salánki Tibor okl. gépészmérnök vezeti. Az eredmények közül a diffúziós diódák kifejlesztését, a Magyar Rádió számára készített 12 A-es, 40 kV zárófeszültségű egyenirányító oszlopok kidolgozását említjük meg.

Az osztály számos termovillamos hűtőkészüléket és főként egyedi típusokat dolgozott ki. Meg kell említeni a 15 l-es autóhűtőszekrény kidolgozását, amelyből 1974 évben 5. . . 10 ezer darabos sorozatgyártás indul meg a Danuvia gyárban.

A fejezet elején az intézet eredményeinek bemutatását ígértük. Hangsúlyozni kell, hogy ezek az eredmények általában belföldi és külföldi kooperációra alapozódtak. Belföldön társintézetekkel, egyetemekkel, vállalatok fejlesztő részlegeivel működünk és működünk együtt.

Előrebocsátva, hogy az intézet működésének valódi értékmérőjeként azon termelési értéket értjük, amely az intézet által kidolgozott technológiák, berendezések ipari megvalósításával jön létre, a gyári kooperáció döntő tényezőként szerepel. Bár az intézet saját hatáskörben maga is folytat kísérleti gyártást, ezen megvalósítások feltétele azonban döntően az erősáramú ipar gyáraival, esetleg más iparágak gyáraival történő szoros együttműködés.

Az 1973. évi 25. Intézeti Beszámoló jelentés 150 gyárat, mint együttműködő partnert sorol fel. Természetes, hogy ezen együttműködő gyárak felsorolása e cikk keretében nem lehetséges. Szeretném azonban a megvalósított termelési érték szempontjából legjelentősebb együttműködő partnereinket megemlíteni és a különböző kutatási eredményeinknek a gyártásba való bevezetésével kapcsolatos áldozatos munkájukért e helyen is köszönetet mondani.

A fenti szempont szerint a Villamos Berendezés és Készülék Műveket (VBKM), a Ganz Villamossági Műveket (GVM) és az Egyesült Villamosgépgyárat (EVIG) kell elsősorban említenem. A VBKM keretében összesen kb. 300 millió Ft értékű félvezető elem (germánium és szilícium dióda, nemlineáris ellenállás stb.), valamint évente kb. 100 millió Ft értékű félvezető készülék készült VKI, VBKM, ill. közös áramkörti fejlesztés, tervezés és berendezés-szerkesztés bázisán.

Lényeges megemlíteni a VBKM Világítástechnikai Gyárban és a Kaposvári Villamossági Gyárban gyártott, európai nivójú kis- és nagyfeszültségű biztosítók sorozatát, melynek termelési értéke az utóbbi öt évben elérte a 400 millió Ft-ot.

A Ganz Villamossági Művek részére a VKI számos, vasúti üzemmel kapcsolatos kérdést oldott meg. Jelentős eredmény a 150 db 3000 LE-s mozdonyhoz készült egyenirányítónak magyar elemekkel történt megépítése is, amely a VBKM Anód gyára révén valósult meg. A GVM-mel szorosan kooperálva láttuk el a dunaújvárosi 6 MW-os durvahengerművi hajtást elektronikus szabályozással, amely berendezés szerény becslés szerint is évi 700 millió Ft termelésnövekedést eredményezett.

Az EVIG-gel részben szigeteléstechológiai, részben készülék vonalon folyt és folyik kooperáció. Ezen a helyen is rögzíteni kell azt a segítséget, amelyet az EVIG a villamos teherszállító járművekhez szükséges speciális tervezésű, kitérő

tulajdonságokkal rendelkező autó villanymotorjának előállításával nyújtott. Ennek gyártása a közeljövőben kisebb sorozatban folytatódik.

Az együttműködő magyarországi kutatóhelyek közül elsősorban több műegyetemi tanszéket, a Villamos Energiaipari Kutató Intézetet, a Műanyagipari Kutató Intézetet és a Vasipari Kutató Intézetet kell megemlíteni, mint olyan intézményeket, amelyek speciális anyagproblémákban, vizsgálati és egyéb kérdésekben az intézetnek lényeges segítséget nyújtottak, ill. kooperációban vettek részt.

Külföldi vonatkozásban részben közös kutatómunkán, részben információcserén alapul az együttműködés. A kapcsolatban álló intézetek közül mint jelentősebbeket a szakterület megjelölésével az alábbiakat mutatjuk be:

*SZU reláció:*

VEI Moszkva

szigetelőanyag témák;

VNIETO Moszkva

kerámiába ágyazott fűtőelemek.

*CSSZK reláció:*

VUKI Bratislava

szigetelőanyag témák;

VUSE Prága, Bechovice

zárlati laborok, integrált áramkörök, lineáris motoros hajtások, közvetlen energiaátalakítás, digitális és analóg számítógépek használata villamos hajtások áramköreinek vizsgálatához;

SVUOM Prága

szigetelőanyag témák (elektroforézis, derivatográfias mérések), klimatizáció.

*NDK reláció:*

VEB Keramische Werke Hermsdorf/Thüringen

érintkezőanyag témák;

IPH, Institut Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik, Berlin

kisfeszültségű, nagyteljesítményű vizsgálo-, mérőberendezések, egyenáramú vizsgálókörök kapcsolási problémái, érintkezők élettartam-vizsgálatai;

Bergmann-Borsig, Berlin

nagygépek szigetelése (műgyanta présmasszák, öregedési vizsgálatok stb.);

Gleichrichterwerk, Stahnsdorf

félvezető témák, félvezető technológiai problémák;

Kombinat VEB Elektromaschinenbau Forschungs- und Entwicklungszentrum, Dresden

szigetelőanyag témák, klimatizáció.

*BNK reláció:*

NIPKIEP Szófia

érintkezőanyagok és villamos ívek oltására vonatkozó témák, szigetelőanyagok, klimatizáció.

## II.

A bevezetés elején ígértük azon elvek bemutatását, melyek bázisán az intézet munkáját a népgazdaság számára legnagyobb hasznot hajtó területekre kívántuk irányítani. A következőkben elmondandó elvek részletes kifejtése megtalálható a „Villamos energia különleges alkalmazása” c. KGM célprogramunkban. Ebből és egyéb bázison itt csak néhány gondolatot szeretnék kiemelni.

Az emberi figyelem meglehetősen korlátozott jellege, a szakemberek hiánya, valamint a beavatkozás sokparaméteres rendszere és gyorsasága erősen előtérbe állítja az erősáramú automatika és szabályozási rendszerek fejlesztését. Ezeknek leg-egyszerűbb esete az, amikor egyetlen adatot kell valamely kívánt értékre beállítani, ill. állandó értéken tartani. Már ez az egyszerű probléma is jelentős nehézségeket vet fel, gondoljunk csak a lengésmentesség követelményére. Szabályozástechnikai megoldások a szabályozott jellemzőnek egy alapjellel történő összehasonlításán, ill. a különbség által iniciált beavatkozáson alapulnak. Az érzékelés és az összehasonlítás alacsony teljesítményszinten megy végbe. A beavatkozó szervekben azonban a villamos szabályozásoknál ma már célszerűen tranzisztor, ill. tirisztor elemeket használunk. A jelenleg rendelkezésre álló pl. 50 A-es kollektoráramú tranzisztorok igen tág lehetőséget adnak a konstruktor részére, nem is szólva az egységenként 100... ..500 A-ig használható tirisztorokról.

A VKI-n belüli fejlesztést két irányban tartjuk népgazdaságilag hasznosnak. Az egyik fejlesztési irány az erősáramú elektronikai szerkezetek és az irányításukhoz szükséges gyengeáramú analóg áramkörök együttes fejlesztése technológiailag is kiértelt konstrukciókkal, a lehető legnagyobb mértékig tipizált részegységekkel, az egyszerűség, olcsóság és megbízhatóság egymásnak részben ellentmondó követelményeinek figyelembevételével. Itt konstrukciós, hűtési, csatlakozási, tokozási kérdéseket kell megoldani környezetállókivitelben. A környezet adott esetben agresszív, nedves, gőzös környezeti légtérrel, extrém hőmérsékleteket, rázást és egyéb káros külső hatásokat jelenthet. Az intézet már eddig is szép eredményeket ért el az ilyen jellegű szerkezetek fejlesztésében és igen nagy üzembiztonságú előállításában, és reméljük, hogy a jövőben is meg tudja állni a helyét.

A másik fejlesztési irány a digitális vezérlések és szabályozások területe. Bonyolultabb feladatoknál, amikor a megkövetelt szabályozási pontosság különösen nagy, amikor több irányított berendezés, pl. villamos hajtás között bonyolult technológiai összefüggések vannak, vagy amikor egy-egy berendezést számítógéppel vagy anélkül, de digitális formában elkészített program alapján kell irányítani, a szabályozás analóg eljárásai gyakran túlságosan bonyolultakká és ezért költségessé válnak. A gazdaságos megoldás ilyenkor a digitális technika alkalmazása. Hasonló a helyzet, amikor maga a szabályozott berendezés olyan jellegű, hogy jobban illeszkedik hozzá és ezért olcsóbb annak digitális vezérlése vagy szabályozása. Ez a helyzet pl. frekvenciaátalakítós hajtások elektronikája esetében.

A digitális vezérlés és szabályozás az integrált áramkörök tömeges alkalmazását követeli meg és egyúttal ez teszi lehetővé viszonylag olcsó megvalósításukat. Természetesen itt is a tipizálásra kell törekedni sokoldalúan használható funkcionális egységek kialakításával. A megbízhatóság és a környezeti hatásokkal szembeni érzéketlenség itt ugyanolyan fontos, mint az analóg áramköröknél, de további problémaként jelentkezik a digitális áramkörök villamos zavarérzékenységi hajlama.

Jelenleg a villamos energiát mindenütt felhasználják, ahol a felhasználó eszközhöz az energiát a központi hálózathoz villamos vezeték útján el tudják juttatni. Nem ilyen általános a villamos energia felhasználása mobil, vezetékkel nem elérhető fogyasztók-

nál. Ennek két oka van: részben nincsen egyszerű, mozgó alkatrészt nem tartalmazó áramfejlesztő eszközünk, amely akár vegyi, akár termikus energiából jó hatásfokkal villamos energiát tud előállítani, részben pedig — szerényebb igényeket támasztva — nincs olyan tárolóeszközünk, amely a villamos energiát kis fajlagos súllyal tárolni tudná. Számszerű adatként elmondjuk, hogy benzinmotor esetén 1 kWh tárolásához kb. 350 g benzinre van szükség, ugyanakkor 1 kWh villamos energia tárolásához 30 kg akkumulátorsúly, tehát közel százszoros súly szükséges.

Nem érdektelen az energiaproblémák megoldásánál megemlíteni azt a tényt, hogy a jelenlegi erőművek 35...40%-os összhatásfokkal dolgoznak, ugyanakkor a tüzelőanyag-elemek elvileg a 80...90%-os hatásfokot is elérhetik. Valószínűnek látszik az is, hogy mozgó alkatrészt nem tartalmazó berendezésekkel a villamosenergiafejlesztés jelenlegi 9 – 12 millió Ft/MW fajlagos költsége is lényegesen csökkenthető.

Az intézet a múltban a problémát több vonalon is megközelítette és igyekszik a munkát ezen a téren a jövőben továbbfolytatni. Középfőmérsékletű tüzelőanyagtelepek területén 1 kW-os egységet építettünk és ennek gázenergiára vonatkozó hatásfokaként közel 50%-ot mértünk. Az eddig elért eredmények igen biztatóak és további munkára serkentenek. Az alumínium-peroxid elemeknél 6—7 kg/kWh fajlagos energia-tárolási képességet sikerült elérni.

Jelentős intenzitással szeretnénk folytatni azokat a munkákat, amelyek a napfényelemek vonalán — az eddigi igen rövid idő alatt is — kitűnő eredményekre vezettek. A jelenlegi szintet az jellemzi, hogy 1 m<sup>2</sup> napfényelemmel, teljes napfény mellett 70...80 W energiát nyerhetünk, közvetlen napfény beesés esetén. A fotonfluxus jelentős megnövelésével már jelenleg elértük azt a szintet, hogy 1 m<sup>2</sup> szilícium felületről kb. 600...700 W villamos energiát nyerhetünk.

A napfényelemes energiafejlesztés már jelenleg sem látszik teljesen irreálisnak. Az előbbieken említett 9 – 12 MFt/MW termikus erőművi beruházást a perspektíven tervezhető 100 MFt/MW napfényelem árral kell összevetni, amely utóbbi lényeges csökkentése nem látszik irreálisnak. Ugyanakkor figyelembe kell venni azt is, hogy ilyen erőművek fosszilis tüzelőanyagokat nem igényelnek és ugyanakkor a környezetbe sem termikus, sem nukleáris pollúciót nem adnak.

Egészen valószínűnek tartjuk, hogy a városi közlekedésben a villamos jármű-típusok egyre inkább teret hódítanak. Ezek motorikus és szabályozási kérdései már jelenleg is teljes mértékben megoldottak, kizárólag az energiafejlesztés, ill. tárolás kérdése nyitott még. Az intézet e téren részben villamos áruterítő kocsik létrehozásával, részben villamos hibrid, ill. teljes villamos hajtású autóbusz kifejlesztésével kíván a városi közlekedés problémájának megoldásához hozzájárulni.

A rendelkezésre álló adatok szerint az országban 100...200 millió munkaórát fordítanak fémek megmunkálására. Ez a munkamennyiség lényegében a rendelkezésre álló fém nyersanyagok felesleges részeinek eltávolítására fordítódik, főként esztergályozási, marási és egyéb műveletekkel. A forgácsmentes megmunkálásoknál (öntés, hengerlés, kovácsolás stb.) a villamos energiának mint közvetlen megmunkáló eszköznek lényeges szerep juthat.

Teljesen elvi alapokból kiindulva semmilyen más energiával nem lehet fémek megmunkálására ellenőrzöttén oly mérvű energiakoncentrációt, megmunkálási sebességet stb. elérni, mint villamos energia alkalmazásával. Az intézet ezen a téren megindította munkáját és ezt a közeljövőben folytatni kívánja. A kiválasztott területek a következők:

- izzó fémek elektrodinamikus kovácsolása;
- elektrodinamikus présöntés nagy precizitású alkatrészek előállítására, alumínium-, bronz-, acélöntések nehézségi sorrendben;



- plazmatechnika alkalmazása a fémmegmunkálásban;
- házgyári épületelemek felületének keramizálása nagyenergiájú plazmasugárral.

Az eddig elért eredmények itt is alapot adnak a további munkára. Izzó fémek elektrodinamikusan kovácsolásával sikerült csőből lépcsős tengelyeket előállítani és alumínium öntvényénél 1/10 mm-nél jobb pontosságot elérni. A megmunkálás sebességét jellemzi, hogy az öntési idők 100 . . . 200  $\mu$ s időtartam körüliek.

A plazmamegmunkálások területén 2,5 mm-es kb. 60 mm-re ható vágósugarak, ill. kerámiai anyagok jól szabályozható megmunkálása az eddigi eredmény. A további munkák az elektrodinamikusan kovácsolás vonalán bonyolult alkatrészek izzó állapotban való, mintegy fűvott alakítására vonatkoznak, présöntés terén pedig szeretnők az acélfajták öntését megvalósítani, köszörülési ráhagyási pontosságok eléréséig.

Általánosan ismert az a tény, hogy az ország úthálózatának kiépítése nem halad kellő ütemben és a gyorsan növekvő gépkocsipark ezt a helyzetet csak súlyosbítja. Az útépitések vonalán a villamos energia két módon nyújthat segítséget. Részben a lineáris motor elvének alkalmazásával módunkban van a megmunkálandó földmennyiségekbe több MW teljesítményt befektetni, szemben a jelenlegi földgyaluk és traktorok néhány száz kW-os teljesítményével. A jövőre vonatkozóan talán nem túlzott az a remény, hogy a villamos energia helyi plazmaolvasztással úgy valósíthatja meg az útalapozást, hogy a jelentős mennyiségű idegen anyag szállítására nem lesz szükség.

Mindezeket összefoglalva, hangsúlyozni kívánjuk, hogy a szocialista társadalom nem mellőzheti azokat az igen kitűnő lehetőségeket, amelyeket a termelésben a villamos energia nagymértékű felhasználása nyújthat. Ez a megjegyzés épp úgy vonatkozik az eddig említett új rendszerekre, mint a meglévő üzemekben alkalmazandó nagyfrekvenciás motorokkal táplált kéziszerszámokra. Nem érdektelen annak az adatnak a megemlítése, hogy amíg nyugaton egy gyári dolgozót 1 munkaórája alatt 8 . . . 9 kWh villamos energia segít; addig hazánkban hasonló munkát végző dolgozónak csak 1,7 kWh villamos energiát bocsátunk átlagosan rendelkezésére.

A szocialista társadalom fejlődésének előfeltétele az „energiadús” társadalom megvalósítása, amiben a villamosipari kutatás mind a villamos energia előállításával, mind a legkülönfélébb fogyasztási eszközök létrehozásával jelentős segítséget nyújthat.

### III.

Az erősáramú villamosipari kutatás előtt álló jövendő feladatok igen széles körűek. Ha a jelenlegi villamos gépek fő alkatrészeiből indulunk ki, akkor a fejlődés tekintetében a villamos vezeték, a mágneses erővonal vezetést, valamint a szigetelési elveket kell kiemelni. Ha a villamosenergia-létrehozás és -szabályozás szempontjait nézzük, akkor a mobil energiaforrások és a transzformátorok zárlati tulajdonságaival egyenértékű szabályozó elemek kifejlesztése lép előtérbe. Végül ha a villamos energia átvitelét nézzük, felbukkanhat a már évtizedek óta kisebb-nagyobb sikerrel megoldani kívánt vezeték nélküli, nagyteljesítményű energiáttranszport kérdése.

A fenti gondolatok természetesen szemelvényeknek tekinthetők és különösen gondosan meg kell vizsgálni, hogy az erősáramú villamosipari kutatás vonalán hazánk nagyságát és szellemi erőinket tekintve milyen mértékben vagyunk képesek kutatást indítani, ill. azt a siker reményében véghezvinni. Az előbb említett nagyobb vonalú perspektívák, valamint a hazai lehetőségek figyelembevételével a következő területeket szeretnénk megjelölni.

Szigetelőtechnika terén tovább fog folyni a szigetelőanyagok üzemi hőmérsékletének növelése, különösen olyan gépeké, amelyek intermittens üzemben nagy túlterhelésekkel működnek. A megfelelő szigetelőanyag alkalmazása esetén lényegesen kisebb géptípus választható.

A befoglalási és homogén szigetelési rendszerek továbbfejlődése várható a konstrukció egyszerűsítése és olcsóbbá tétele érdekében.

A villamos szabályozások vonalán valószínűleg előtérbe kerül a számítógépes áramkörtervezés, részben időtakarékoság, részben közvetlen nyomtatott áramkörök nyérése érdekében. Ma már birtokunkban vannak olyan erősáramú integrált áramkörök, amelyek postabélyeg nagyságban kW-nagyságrendű teljesítmények szabályozására képesek. Valószínűnek látszik, hogy a leggyakoribb alapkapcsolások erősáramú vonatkozásban alumíniumoxid alaplapú integrált áramkör formájában kerülnek piacra.

A villamos energiát univerzális energiaformaként kell tekinteni. Ezideig kevés szerepet kapott a fémek és egyéb anyagok közvetlen megmunkálásában. Valószínűnek látszik, hogy a jelenlegi megmunkálógépek szerepének jelentős részét a villamos energia közvetlen alkalmazásával megoldható ún. nagyenergiájú forgácsmentes megmunkálást végző villamos szerszámgépek veszik át (példaképp említhetném az elektrokémiai eróziós megmunkálásokat).

A villamos energia elosztásának korszerűsítése megköveteli a kapcsolókészülékek állandó fejlesztését is, ezért a jövő készülékére, a vákuumkapcsolóra vonatkozó kutatási tevékenység is fontos feladatunk lesz.

A kalorikus és nukleáris erőművek levegőszennyezés szempontjából az emberiségre ma már felmérhető veszedelmet jelentenek. Jelenleg is kutatások folynak abban az irányban, hogy a rendelkezésünkre álló kémiai, esetleg szoláris energiákat miként lehet „tisztta” módon, tehát pollúció nélkül villamos energiává alakítani. A jelenleg már kivitelezhető megoldás lehetővé teszi, hogy egy négyzetméter szilícium pn-átmenetről kb. 600 W villamos teljesítményt vegyünk le. Ez igen biztató arra vonatkozóan, hogy ez az érték tovább fokozható és főként ár szempontjából összehasonlíthatóvá válik a 9 – 12 millió Ft/MW erőműberuházási költséggel, valamint a fosszilis (szén, olaj stb.) tüzelőanyagok egyre inkább emelkedő árából adódó üzemköltségekkel.

\*

Befejezésül köszönetemet szeretném kifejezni mindazoknak, akik irányító tevékenységükkel, pénzügyi lehetőségek megteremtésével és közvetlen munkájukkal hozzájárultak az intézet kifejlődéséhez, eredményes kutatómunkájának a kibontakozásához.

A Kohó- és Gépipari Minisztérium kezdettől fogva hathatós támogatást nyújtott intézetünknek. Az utóbbi néhány évben az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság főleg a távlati témák viteléhez teremt lehetőséget.

Köszönet illeti mindazokat a vállalatokat és intézményeket, amelyek mint megrendelők vagy együttműködő partnerek elgondolásaikkal, segítőkészségükkel megteremtették a háttér eredményeink létrehozásához és gyakorlati megvalósításához.

Végül, de nem utolsó sorban köszönetemet fejezem ki az intézet párt- és szakszervezeti funkcionáriusainak, a volt és jelenlegi dolgozóinak, munkatársainak, akiknek színvonalas és nem egyszer áldozatos munkája minden eredményünk legközvetlenebb létrehozója.

# SZIGETELÉSTECHNIKAI FŐOSZTÁLY



# 1.

## A VKI Szigeteléstechnikai Főosztályának 25 éves munkássága

LEYRER RICHÁRD

### 1. Bevezetés

Minden villamos gép vagy készülék lényegében három alkotóelemből épül fel: a villamos áram vezetését biztosító anyagokból, vagyis a vezetőkből, az azokat egymástól vagy a környezetüktől elválasztó anyagból, a szigetelőkből és végül a berendezést magukba foglaló szerkezetekből, vagyis konstrukciós anyagokból, melyek lehetnek vezetők, de szigetelőanyagok is.

Már a villamosipar kezdeti korszakában felmerült az igény a jó szigetelőanyagok iránt. Szerencsére a természetben elég sok olyan anyag létezik, amely közvetlenül vagy viszonylag egyszerű megmunkálással kielégíti a villamosiparban támasztott kívánalmakat. Ezek közül egyesek, mint pl. a csillám, még ma is a villamosipar nélkülözhetetlen szigetelőanyagai, másokat azonban a mind inkább növekvő igények miatt újakkal, mesterséges úton előállított szigetelőanyagokkal kellett helyettesíteni. A villamos szigetelőanyagok fejlődésének nagy lendületet adott a műanyagipar rohamos fejlődése, és nyugodtan állíthatjuk, hogy a villamosipar mai magas szintjét és széles körű differenciáltságát a speciális szigetelőanyagok kifejlesztése nagymértékben elősegítette, ill. az tette egyáltalában lehetővé.

A villamosipar gyártmányai ma rendkívül sokrétűek, és az élet minden területét mind nagyobb és nagyobb mértékben fogják át. Egy-egy gyártmány családon belül is óriási különbségek vannak, gondoljunk pl. arra, hogy — bár mindkettő forgógép — egy gyűszűnyi magnetofonmotor és egy 1000 MW-os turbógenerátor között milyen óriási a különbség. Nyilvánvaló, hogy a különbségek hatása észlelhető az alkalmazott szigetelőanyagok területén is, hiszen csupán az említett esetben is más és más követelményeket (műszaki, gazdasági) kell a szigetelőanyagoknak kielégíteniök.

E differenciálódás hatására a villamos szigetelési technika önálló tudományággá alakult, amelyet mint speciális területet, vegyészeti és villamos oldalról egyaránt kell megközelíteni. Ezt a tényt a VKI megalapításakor jól érzékelték, és már 1949-ben két tudományos munkatárs kapott megbízást a szigetelőanyagok és szigeteléstechnika kutatására, s csoportjuk képezte a mai kb. 60 főből álló főosztály magját.

### 2. Rövid történelmi összefoglalás

Az elmúlt 25 év eseményei, fontosabb állomásai a következők voltak. Az intenzív fejlesztés eredményeként a létszám megnövekedett, sikerült a kutatáshoz szükséges laboratóriumi és technológiai eszközöket beszerezni, és így 1950-ben megalakult a Technológiai és Vegyészeti osztály. A kezdeti nehézségeket fokozatosan sikerült megoldani, a létszám nőtt, a technológiai jellegű problémák mindjobban elhatárolódtak, aminek következtében 1951-ben az osztály a Szigetelőanyag és Vegyészeti Osztályra, valamint a Technológiai Osztályra vált szét. Ugyanakkor alakult meg és vált külön,

mint egyénien eltérő és speciális kutatási terület, a Kábel Osztály is. Ez utóbbi 1963-ban kivált az intézettől, és azóta mint a Magyar Kábel Művek Kutatási Főosztálya működik.

Az 1950-es évek második felében meginduló trópusállósági kutatási munkák, kitéti állomások szervezése szükségessé tették, hogy először egy kisebb csoport önállóan foglalkozzék e feladatokkal, majd fokozatosan megnövekedve, 1963-ban a Technológiai osztály kettévált. Önálló osztály lett a klimatizációs kérdésekkel foglalkozó részleg, Klimatizációs Osztály néven.

1966 tavaszán létrejött az elektrokerámiák fejlesztését és kísérleti gyártását végző kísérleti üzem, s ezzel egyidőben létrehoztuk a Szigetelőtechnika III. osztályt, amelynek főprofilja az elektrokerámiák és anorganikus beágyazómasszák szigetelések fejlesztése volt. 1969 második felében ez utóbbi kivált a Szigetelőtechnikai Főosztály keretéből és mint az Intézet önálló főosztálya folytatja tevékenységét.

A Főosztály elhelyezése mindig problémát okozott. Eleinte kizárólagosan a Ganz VM területén levő átmeneti jelleggel kialakított helyiségek álltak rendelkezésünkre, de ez hamarosan szűkösnek bizonyult. Mikor a villamos laboratóriumok 1952-ben a József Attila utcai telephelyre költöztek, a Technológiai osztály megfelelőbb körülmények közé került. A mind nagyobb mértékű fejlődés, a trópusállósági munkák megindulása azonban végül is oda vezetett, hogy a Technológiai osztály és a Klimatizációs osztály elhelyezését meg kellett oldani. Ezért 1959-ben a Lehel úton — ugyancsak ideiglenes jelleggel — új laboratóriumot nyitottunk. Az elhelyezési problémák azonban továbbra is fennálltak, míg végül is az új központi színház el nem készült. Ide költözött a Szigetelőtechnika II., a Szigetelőtechnika I. osztály részlege, valamint a Klimatizációs osztály egy csoportja.

A magyar szigetelőanyag-gyártás elősegítése céljából a VSZM-ben 1967-ben új laboratóriumot nyitottunk, amelynek elsődleges feladata a VSZM kutatási—fejlesztési feladatainak intenzív segítése. 1967 végén a KGM támogatásával több millió forintos beruházás keretében megindult Pestújhelyen egy kísérleti fűlüzem építése. Itt helyezték el a présor- és műgyantaüzemet, továbbá a galvánlaboratóriumot.

Végül 1969-ben felszámoltuk a teljesen korszerűtlen Lehel úti telephelyünket és a Klimatizációs osztály átköltözött a József Attila utcai telephelyre. Így végsősoron a mai napig sem sikerült megoldani a főosztály egységes telepítését, de elhelyezkedésünk, kivéve a József Attila utcai telephelyet, viszonylag korszerű.

### 3. A Szigetelőtechnikai Főosztály célkitűzései, feladatai

A háborút követő években a villamosiparunk legnagyobb problémái közé tartozott, hogy nem voltak megfelelő szigetelőanyagok. Elenyésző mennyiségben és rendkívül korszerűtlen minőségben szinte egyedül a Ganz Gyár készített szigetelőanyagokat, elsősorban saját felhasználásra. Az ötvenes évek elején az import is egyre kevésbé volt lehetséges, így a villamosipar gyártmányainak fejlesztése is mind nagyobb problémákat jelentett. A szigetelőanyag-iparban nem voltak sem megfelelő gyártó berendezések, sem korszerű vizsgálóműszerek, csaknem teljesen hiányoztak a vizsgálati szabványok és előírások, és így természetesen a különféle szigetelőanyagok termékszabványai, valamint a kapcsolódó alkalmazástechnológiai szabványok is. Hiányoztak azonkívül a megfelelő műszaki káderek is, annál is inkább, mert a szigetelőanyagok és azok kutatási területe — a gépész, vegyész és villamos szemléletek összefonódása folytán — különleges szaktudást tesz szükségessé. Mindezen problémák megoldását várta az ipar a Szigetelőtechnikai Főosztálytól.

A Vegyészeti Osztályra hárult a fentiek értelmében elsősorban az a feladat, hogy egyrészt a külföldi korszerű szigetelőanyagoknak megfelelő minőségű új szigetelőanyagokat dolgozzon ki, hogy így az iparág szempontjából legjelentősebb szigetelőanyagok hazai gyártását biztosítani lehessen, másrészt, hogy a meglévő hazai szigetelőanyagok minőségét korszerűsítse és javítsa. A fejlődés során — az újabb szigetelőanyagok fokozatos gyártása eredményeként — éppen a Szigetelőtechnikai Főosztály eredményes munkája következtében az eredeti célkitűzéseket bizonyos fokig módosítani kellett, az iparban felmerült kívánalmaknak megfelelően ugyanis mindinkább a szigetelőanyagok alkalmazástechnikájára kellett a fő hangsúlyt helyezni. Az új szigetelőanyagok gyártása és felhasználása a legtöbb esetben egyúttal komoly technológiai problémákat is felvetett, amelyek megoldása nélkül az új termékek gyártása, ill. alkalmazása nem volt megoldható.

A Technológiai Osztály, különösen működéseinek első éveiben, mint a Vegyészeti Osztály társosztálya, elsősorban a vegyészek által előállított szigetelőanyagok vizsgálatával, ill. — a vegyészekkel kooperálva — ezeknek az anyagoknak az alkalmazási technológiájával foglalkozott. Igen sok esetben készültek a kutatási munkák lefolytatásához különböző kísérleti eszközök, ill. berendezések. A Technológiai osztály által kidolgozott önálló témák jelentős részében viszont a Vegyészeti Osztály munkatársai működtek közre. Az osztály célkitűzései közé tartozott, és működése során széles körűen bekapcsolódott a szabványbizottságok munkájába, majd 1955-től kezdve a KGST 10. szekciójának munkájába, végül az IEC megfelelő szakbizottságaiba is, habár ezen a területen sajnos anyagi nehézségek akadályozták az osztály munkáját.

Az osztály célkitűzéseiben és munkájában nagyjelentőségű változás akkor történt, amikor főhatóságunk megbízta a trópusi vizsgálati munkák megszervezésével és elvégzésével. Ezen a téren nemcsak hazai, de világviszonylatban is kevésbé, vagy egyáltalában nem ismert problémák megoldását kellett vállalnunk. A szigetelőanyag-kérdésekhez az eddigi technológiai problémákon kívül a felületvédelmi kérdések, új vizsgálati berendezések, a trópusra is alkalmas konstrukciók és technológiák kialakítása, ill. fejlesztése is elsőrendű feladattá vált, sőt a KGST határozatok irányelveinek megfelelően közös elveken alapuló vizsgálati előírásokat kellett kidolgozni nemcsak a villamosipar, hanem a gépipar számára is. Mindezen feladatok nagymértékű megnövekedése folytán vált szükségessé végül a Klimatizációs Osztály kialakítása.

A vázolt feladatokat és célkitűzéseket vállalnunk kellett sokszor annak tudatában is, hogy a korlátozott lehetőségek, elsősorban a kísérleti berendezések hiánya, valamint a műszer- és helyhiány már eleve korlátozott eredmények elérését ígérhette, de igyekeztünk mindent megtenni, hogy eredményeinkkel a hazai szigetelőanyag-ipar és villamosipar fejlődését elősegítsük.

Az új gazdaságirányítási rendszer bevezetése több vonatkozásban előnyösen hatott a főosztály fejlődésére, azonban az eredeti célkitűzéseket — elsősorban ipari kapcsolatainkat — át kellett értékelnünk és új szempontokat kellett kialakítanunk. Mint ismeretes, a villamosipar által igényelt szigetelőanyagok mennyisége viszonylag csekély, de a velük szemben támasztott minőségi mutatók rendkívül sokrétűek és magasak. Ez a gyakorlatban azt jelentette, hogy az általunk kikísérletezett új szigetelőanyagok gyártásának bevezetése, részben technológiai, de döntő többségében gazdasági okoknál fogva nagyon nehezen volt megvalósítható, ill. nem vezetett eredményre. Az új gazdaságirányítási rendszer lehetővé tette azonban, hogy az ipari bevezetés problémáját legalább részben megoldjuk elsősorban azzal, hogy az egyes szigetelőanyagok kidolgozásához létrehozott kísérleti berendezéseinket félüzemi szintre továbbfejlesztve, kísérleti üzemi méretben, a legkorszerűbb technológiák kifejlesztésével

inmár gazdaságosan, bizonyos fokú termelési tevékenységet is folytathassunk. Ez egyben azt is eredményezte, hogy az általunk kidolgozott új anyagok, technológiai eljárások, termékek, berendezések az iparban szélesebb körben felhasználást nyertek, és munkánk eredménye nem csupán zárójelentésekben, hanem megvalósult gyártmányokban jelent meg. A kísérleti üzemi termelés azt is jelentette, hogy az újabb szigetelőanyagok vagy gyártástechnológiák kidolgozása során kutatóink a paraméterek sokkal szélesebb skáláját dolgozták ki, így az egyes felhasználási területeket, s ezek különleges problémáit sokkal jobban megismerték; mód nyílt tehát az Intézet és az üzemek közötti szorosabb kooperáció kialakítására.

Összefoglalva tehát a Szigetelőtechnikai Főosztály célkitűzéseit és feladatait a következőképpen fogalmazhatjuk meg: Korszerű szigetelőanyagok és szigetelőtechnikai eljárások fejlesztése, szigetelőanyagok szerkezetének és vizsgálatának kutatása, szigetelőanyagok vizsgálati módszereinek fejlesztése és vizsgálati berendezések kidolgozása, villamos berendezések felületvédelmével kapcsolatos vizsgálatok és kutatások. Ehhez járul egyes speciális szigetelőanyagok félüzemi gyártástechnológiájának kifejlesztése.

#### **4. A Szigetelőtechnikai Főosztály tematikája és műszaki tudományos eredményei**

25 év alatt a főosztály kutatói a témák széles skáláján mozogva nagyon sok feladatot, évenként átlag 50 témát oldottak meg. Ezekről szinte lehetetlen volna részletesen beszámolni, így itt csupán a legjelentősebbeket szeretném kiemelni, különös tekintettel azokra, amelyek az utóbbi évek eredményes megoldásait reprezentálják.

Ugyancsak nehéz a tematikai csoportosítás, mert a legtöbb esetben az új szigetelőanyagokkal párhuzamosan új technológiákat is ki kellett fejleszteni feldolgozásukhoz, de volt olyan eset is, különösen az utóbbi időszakban, mikor külföldi anyagok feldolgozótechnológiájának kidolgozása képezte a kutatás feladatát.

##### **4.1 Szervetlen szigetelőanyagok és szigetelési módszerek**

###### **Csillám és csillámkészítmények**

A csillám kiváló tulajdonságainál fogva a villamosgép-gyártás egyik legjelentősebb szigetelőanyagai közé tartozik. A csillámkombinációjú szigetelőanyagok terén világszerte korszerű irányzat a rakott csillámnak csillámpapírral történő helyettesítése. Ezt az eljárást az 50-éves évek első felében dolgoztuk ki, és MIKAPE néven vezettük be a Mechanikai Műveknél, amelytől a VSZM vette át a gyártást.

Kidolgoztuk a MIKAPE-szalagot és mikafólia változatát is. Megfelelő szilikonszilikátos kötéssel nagy hőállóságú fűtőmikanit-típus kifejlesztése is megvalósult. Ugyancsak csillám-szilikonlakk alapon került kifejlesztésre egy igen korszerű szigetelőtechnikai eljárás, az ún. elektroforetikus szigetelési módszer, amelynek segítségével villamosan vezető alkatrészeket gyorsan lehet zománcszerű H hőállóságú osztályú szigetelőbevonattal ellátni.



## **Keramikus szigetelőanyagok**

A keramikus szigetelőanyagok fejlesztése terén különösen a főzőlapok fejlesztésében értünk el jó eredményeket. Az Elekthermax vállalatnál bevezetett ömlesztett magnéziumoxid bázisú beágyazómasszával készült főzőlap-szigetelés kedvező tulajdonságainál fogva jelentős exportot biztosított a gyárnak. Kifejlesztésre került egy nagyobb igényeket is kielégítő magnéziumszilikát-alumíniumoxid alapú változat is.

Széles körben alkalmaznak többféle, kis zsugorodású, iv- és lángálló alumíniumszilikát-foszforsav bázisú kerámiaanyagot a villamoskészülék-gyártásban (EVIG, GVM, VBKM). Az időközben a Főosztály keretéből kivált Villamoskerámia és Hőtechnikai Főosztály munkájáról külön beszámoló készül.

## **Lakkok és gyanták**

A különböző ragasztó-, impregnáló- és zománchuzallakkok széles körű fejlesztése majdnem egy évtizeden keresztül folyt az intézetben. A kidolgozott és gyártásba vett ragasztólakkokat évekig használták pl. sellak helyettesítésére a mikanigyártásban. Ugyancsak mi dolgoztuk ki az első teljesen szintetikus epoxi zománchuzallakkot. Az ezzel szigetelt hő- és trópusálló zománchuzal a BHG export berendezéseinél került alkalmazásra. A tereftalát bázisú zománchuzallakkunk elérte az akkor világszínvonalnak számító Terebeck lakk minőségét.

A különböző kiöntőgyanták forradalmasították a villamosipart, mert mint izotróp szigetelőanyagok a villamosgép- és -készülékgyártás területén teljesen új lehetőségeket biztosítottak. A rendkívül intenzív fejlesztési munkába a Főosztály is hamar bekapcsolódott.

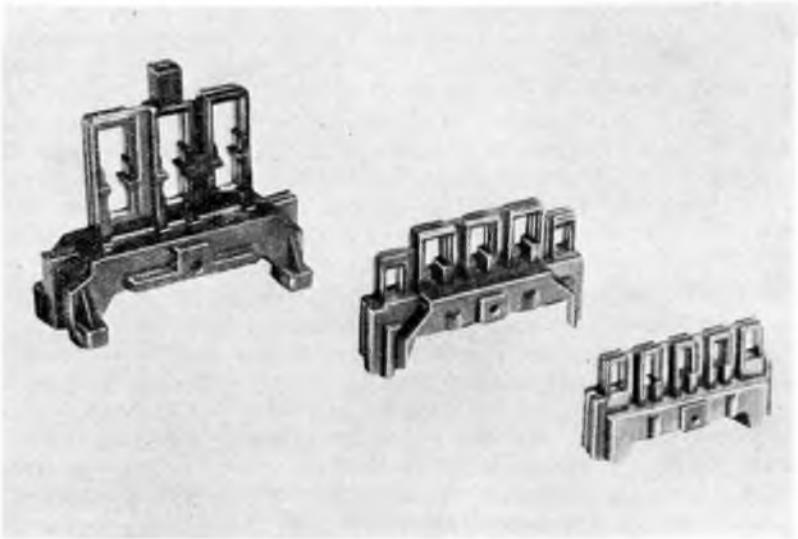
A telítetlen poliészter kiöntőgyanták kutatását 1952-ben kezdtük meg. 1956 óta a VSZM Elasztírol néven változatlanul gyártja. Széles körben felhasználták áram- és feszültségváltók kiöntésére, különféle átvezető szigetelők, mágneskapcsolók, üvegvasas rétegelt termékek, stb. öntéséhez és oldószermentes impregnálásához.

Az epoxigyanták fejlesztését elsősorban a MÜKI végezte, habár az epoxilakkok fejlesztése terén mi is számottevő eredményeket értünk el. A kiöntések, ill. az epoxigyanták feldolgozástechnológiája területén rendkívül sok tapasztalatot szereztünk, amelyek eredményeként a legkülönbözőbb gyártmányok születtek meg: műgyanta szigetelésű mérőváltók, kistranszformátorok, átvezetők, támszigetelők stb.

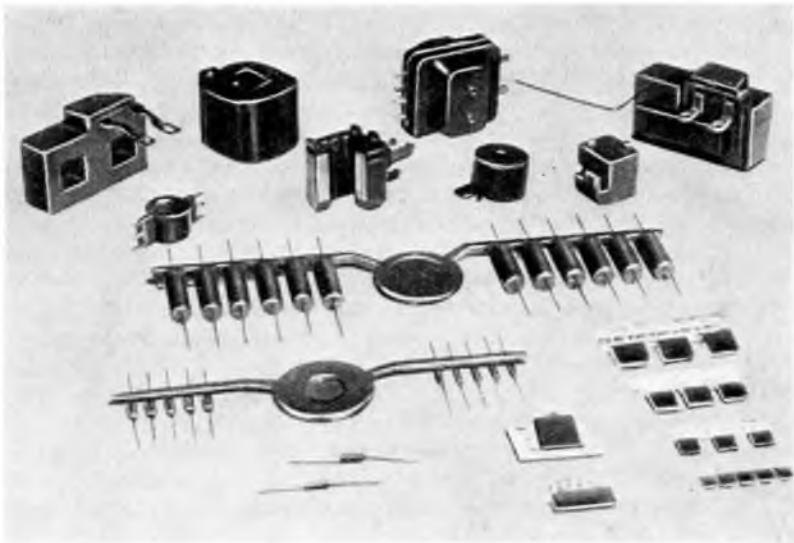
1969-től komplex kutatás keretében a szabadterre alkalmas epoxigyanták feldolgozástechnológiai kísérleteit és klímaállóságának vizsgálatát kezdtük meg az orgovánai kitéti állomáson. A több mint 3 éves kitéti vizsgálati eredmények, valamint a mesterséges napfényállósági vizsgálatok eredményei nagymértékben hozzájárultak ahhoz, hogy az OMFB megbízására megkezdhettük a 120 kV-os, műgyanta szigetelésű szabadtéri tám- és függőszigetelők kidolgozását.

## **Sajtolóanyagok és feldolgozástechnológiájuk**

A villamosipar által igényelt jó minőségű sajtolóanyagok kidolgozása terén is sokat tettünk. Először egy szervesetlen töltőanyagú, fenoplaszt alapú sajtolóanyagot kísérleteztünk ki, amely kis vízfelvétele és előnyös villamos tulajdonságai folytán trópusi célokra is kiválóan megfelelt, Dorosil néven a Kőbányai Műanyaggyár 1963 óta gyártja.



1-1. ábra. Epoform epoxi bázisú sajtolóanyagból készült alkatrészek



1-2. ábra. Alacsony nyomású epoxi sajtolóanyaggal tokozott alkatrészek

Ugyancsak a Kőbányai Műanyaggyár vezette be a melamin - epoxigyanta kombinációs Epomel nevű sajtolóanyagunkat, amelynek gyártása 1967-ben indult meg. A vizsgálati eredmények azt mutatták, hogy tulajdonságaiban, feldolgozhatóságában a legjobb minőségű nyugati gyártmányokkal egyenértékű. A sajtolóanyag 1969-ben a BNV-n vásárdíjat nyert. 1972 végéig kb. 700 t gyártására került sor 30 MFt értékben.

A sajtolóanyagok továbbfejlesztéseként kidolgoztunk egy teljesen epoxigyanta alapú, üvegszálaz, anorganikus töltőanyagú sajtolóanyag-családot, mely nemcsak

kompressziós sajtolással, hanem kisnyomású fröccsajtolási technológiával is feldolgozható. Kiváló villamos és mechanikai tulajdonságai, csekély zsugorodása, korszerű feldolgozástechnológiája legjobb sajtolóanyagaink közé emelik. Kísérleti gyártása az intézetben 1972-ben indult meg (1-1. ábra).

A kis nyomással történő tokozás epoxi sajtolóanyagok alkalmazásával a legkorszerűbb technológiai eljárások közé tartozik. E technológiák kidolgozását, a megvalósításukhoz szükséges speciális présgépet nemcsak Magyarországon, hanem a KGST országok között is mi fejlesztettük ki elsőnek.

Különböző tekercsek (mágneskapcsoló, gyújtótranszformátor, szinkronóra, árammérő stb.), valamint elektronikus alkatrészek (ellenállások, kondenzátorok stb.) mechanikus és klimatikus védelme ezzel az eljárással jól illeszthető be a legkorszerűbb, nagy termelékenységgel készített alkatrész-sorozatgyártásba (1-2. ábra).

### Rétegelt termékek és prepregek

A rétegelt termékek ma már a szigetelőanyag-ipar klasszikus anyagai közé tartoznak. Jelentőségük az utóbbi években — különösen a nyomtatott áramkörök elterjedésével — nagymértékben megnövekedett. A rétegelt termékek kutatása a Főosztályon a legutóbbi időkig szinte megszakítás nélkül folyt. Állomásai: szuper-pabit, nagyfrekvenciás pabit, majd a rézfóliával borított BL 2 és BL 3, valamint a szendvics szerkezetű típusok kidolgozása.

Eredményesen dolgoztuk ki az üveg vázanyagú lemeztípusokat is, poliészter és epoxi kötőanyaggal. Az üveg vázanyagú, félkész gyártmányok — prepregek — közé tartozik az Epoband szalag, amely forgógépek tekercsfejeinek rögzítésére, transzformátorlemezek összeszorítására jól bevált. E termékünket 1970 óta intézetünkben folyamatosan gyártjuk és forgalmazzuk a magyar villamosipari üzemeknek, sőt Csehszlovákiába és az NDK-ba is exportáljuk. Az Epoband az 1972. évi BNV-n vásárdíjat nyert.

Az **F** és **H** hőállósági osztályú üvegvázaz, folyamatos varnishcsőgyártás megoldására speciális berendezést hoztunk létre, amelynek segítségével a varnishcső importjának csökkentését tervezzük. Az eddigi kísérleteink biztatóak.

### Horonyszigetelő anyagok

A papír- vagy prespán—műanyag fólia kombinációjú horonyszigetelés, amelyet először — PVC fólia alkalmazásával — **A** hőállósági osztályú motorok részére kísérleteztünk ki, jól bevált; majd a követelmények emelkedésével tereftalát fólia kombinációban **B** hőállósági osztályra is kifejlesztettük.

**F** és **H** hőállósági osztályú üvegszövet—fólia—csillám horonyszigetelést is kidolgoztunk, és az EVIG ilyen irányú igényeit az intézetben folyó gyártás keretében elégitettük ki.

### 4.2 Szigetelőanyagok szerkezeti kutatásai

Kutatásaink másik nagy csoportját a szigetelőanyagok szerkezetére, öregedésére, szigetelési rendszerek változására vonatkozó kutatások képezték. E területen végzett munkánkról — ugyancsak csupán néhány témát ismertetve — a következőket emel-ném ki:

## Szerkezeti kutatások

A szigetelőanyagok öregedését és az öregedés folyamán létrejövő szerkezeti elváltozások vizsgálatát két irányban folytattuk. Egyrészt komplett szigetelési rendszerek formájában motoretteken végeztünk vizsgálatokat, megállapítva a motorokhoz alkalmazott szigetelőanyagok öregedési tendenciáit, másrészt egyes szigetelőanyagokon vizsgáltuk a termikus behatásokra az anyagi jellemzőkön belüli változásokat derivatógráffal, ill. infravörös vizsgálati módszerrel. E munkáinkról kollégáink számos publikációban több alkalommal, külföldi kongresszusokon is beszámoltak.

A szigetelőolajok hő és villamos tér hatására létrejövő változásának vizsgálatára speciális vizsgálóberendezéseket létesítettünk, amelyekben a transzformátorokban fellépő igénybevételek leképzésével az olajok öregedését tanulmányozhattuk.

A kábelszigetelő masszáknek és kábelszigetelő olajoknak villamos térben létrejövő viszkozitásváltozására vonatkozó vizsgálatok a kábelipar részére adnak értékes felvilágosításokat.

## Szigetelőanyagok vizsgálóberendezései

A szigetelőanyagok vizsgálata speciális berendezéseket igényel. Az elmúlt években — elsősorban az ipar igényeinek megfelelően — kifejlesztettünk egy kúszóáramszilárdságvizsgáló, egy DIN szerinti ívállóság-vizsgáló és egy ASTM szerinti ívállóság-vizsgáló berendezést, amelyekkel a villamoskészülék-gyártásban alkalmazott szigetelőanyagok szabvány szerinti vizsgálatát lehetett elvégezni. E készülékek nemcsak a hazai üzemek között örvendtek közkedveltségnek, de exportáltunk belőlük Csehszlovákiába, Lengyelországba és az NDK-ba is. A kúszóáram-vizsgáló készülék az 1967. évi BNV-n díjat nyert.

## Klimatológiai vizsgálatok

Klímaosztályunk az elmúlt 15 év alatt, mióta a klimatizációs kutatások intenzíven folynak, sok jelentésben és publikációban számolt be a különböző: Kínában, Csonakryban és más trópusi igénybevételi helyeken történt vizsgálatok eredményeiről.

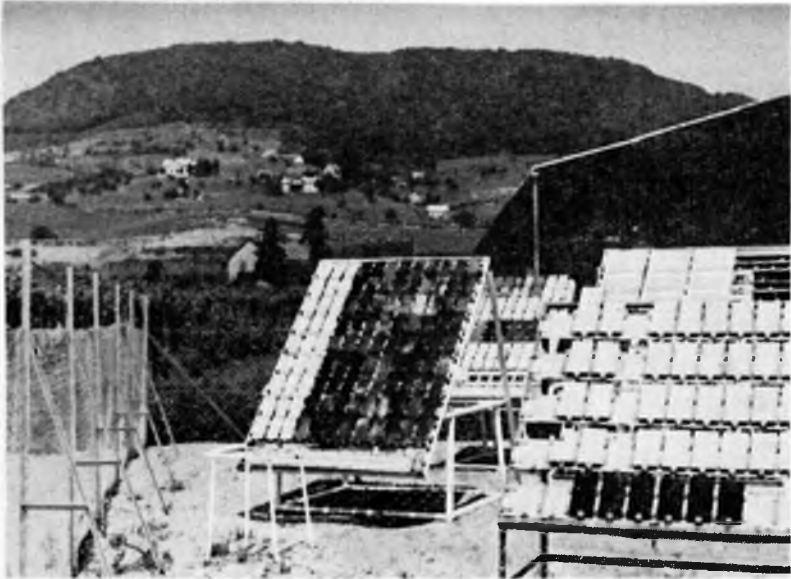
A trópusi kitéti állomások, ill. vizsgálati lehetőségek megszűntével az orgoványi és badacsonyi kitéti állomások képezték a kitéti lehetőségek bázisát (1-3., 1-4., ábra).

A klímaállósági kutatások terén mindinkább előtérbe lépnek a mesterséges klimatikus behatásokkal összekötött vizsgálatok, amelyek elvégzésére jó felszereltséggel rendelkezünk.

Az elmúlt 15 év alatt a klímaállósági kutatásokat a következő legfontosabb témacsoportok közé sorolhatjuk:

- szigetelőanyagok és szigetelési rendszerek klímaállóságának kutatása (hideg, száraz- és nedves — meleg);
- fungicidek kutatása;
- korróziós rendszerek kutatása;
- villamosipari gyártmányok vizsgálata és kutatása.

A klimatizációs kutatásokat túlnyomórészt vállalati megbízásokra végeztük; a KGM, ill. OMFb által finanszírozott témák elsősorban a szigetelőanyagok nedveség, ill. mesterséges napfény hatására létrejött változásaira vonatkoztak.

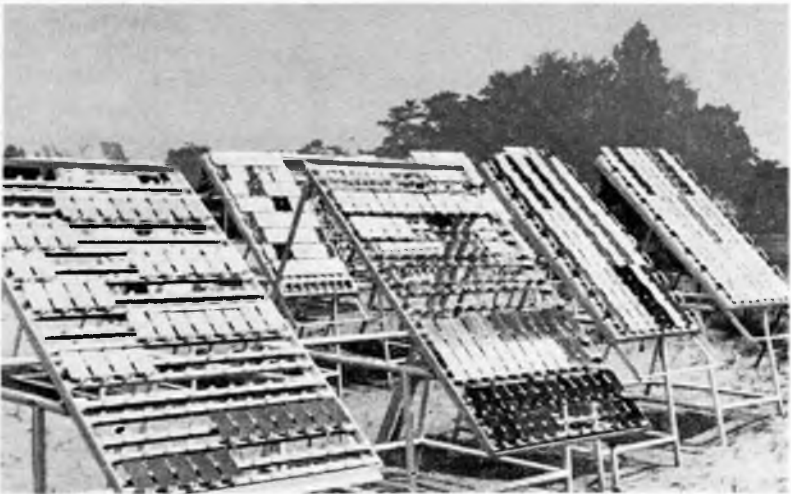


1-3. ábra. Badacsonyi kitéti állomás

### 5. A kutatás szervezése, irányítása, finanszírozása, gazdasági eredmények

A Főosztály, mint azt a bevezetőben is leírtam, három telephelyen, a Cservenka Miklós úti központban, a József Attila utcában és a VSZM területén működik.

Ez a helyzet kétségtelenül megnehezíti együttműködésünket, habár az osztályok közötti kapcsolat így is intenzív. Előnyünkre szolgál azonban, hogy osztályvezetőink



1-4. ábra. Orgoványi por- és homokkitéti állomás

osztályukat nagy gyakorlattal és megfelelő szakértelemmel irányítják. Irányító és ellenőrző munkájuk mellett lehetőséget adnak a fiatalabb, kevesebb gyakorlattal rendelkező munkatársak szabad fejlődésére és szakmailag is minden eszközzel támogatják őket. Hozzá kell tenni azt is, hogy munkatársaink lelkesedéssel végzik feladataikat és mindent megtesznek szakmai fejlődésük és az eredmények biztosítása érdekében.

Az új gazdaságirányítási rendszer az intézet finanszírozásának módjában is nagymértékű változást hozott. A Főosztály életében ez olyan formában jelentkezett, hogy a KGM és az OMFB által finanszírozott kutatások kerete csökkent, és mindinkább áttolódott a vállalatok által finanszírozott kutatások vonalára. Ez egyrészt kétségtelen előnyöket is jelentett, miután így a vállalatokkal kapcsolatainkat mind jobban ki kellett építenünk, másrészt azonban hátrányként mutatkozott, hogy a távlati kutatási témák, valamint az elvi — inkább alapkutatások körébe tartozó — témák számát csökkenteni kellett. Végsőfokon ez kutatási irányainkat az ipari üzemek szükségleteinek fokozott kielégítése irányába terelte, de ez egyben azt is magával hozta, hogy munkánk eredménye gyorsan realizálódott az iparban.

Meg kell állapítani egyben azt is, hogy a vállalatok által felvetett kutatási feladatok mindinkább komplexebbé válnak, nagyobb kutatási apparátust igényelnek, és megoldásainkban is magasabb szintű eredményeket követelnek rövidebb időn belül. A következő táblázat a Főosztály gazdasági munkájáról ad tájékoztatást.

Év	Árbevétel, eFt	Nyereség, eFt	Árbevétel, 1 fő/Ft	Nyereség, 1 fő/Ft	Témák, eFt		
					KGM	OMFB	vállalati
1968	9 182	1860	188 930	38 271	1760	—	—
1969	10 525	2143	191 910	37 548	3100	—	7261
1970	10 737	2534	195 218	46 073	3300	—	4776
1971	10 588	2749	211 000	54 900	2258	350	5206
1972	11 778	2637	218 111	48 833	2380	—	6248

## 6. Hazai és nemzetközi együttműködés

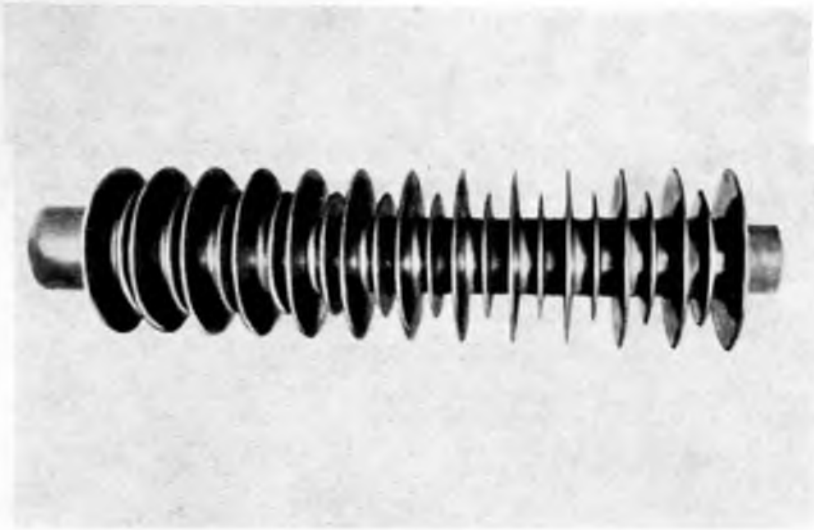
A Főosztály a villamosipar szinte minden vállalatával kapcsolatban áll, hiszen a vállalati megrendelések képezik árbevételünk nagy részét, de ezeken túlmenően más kutatóintézetekkel és intézményekkel is szoros kapcsolatot tartunk. Így külön ki kell emelni a MÜKI-t, amellyel az évek óta tartó sajtóanyag-kutatásban alakult ki különösen gyümölcsöző együttműködés. Ugyancsak a MÜKI- és VEIKI-vel együttműködve folytatjuk a nagyfeszültségű műgyanta szigetelőkre vonatkozó kutatásainkat (1-5. ábra). Jó kapcsolatokat tartunk a Műszaki Egyetem több tanszékével, az ELTE intézményeivel és klimatizációs kutatások terén az ÁGTI-val.

Nemzetközi kapcsolataink, közvetlen együttműködési szerződésünk az NDK-beli BB-vel és a FEZ motor-kutató intézettel, a csehszlovák VUKI és SVUOM-mal, a bolgár NIPKIEP-pel és moszkvai VEI-vel vannak. A nemzetközi együttműködések és kooperációs kutatások nagymértékben elősegítik munkatársaink fejlődését, sok segítséget nyújtanak problémáink megoldásában.

## 7. Bizottsági munkák

Munkatársaink aktívan vesznek részt a KGST és IEC szabványosítási és szakosodási munkáiban, valamint országos iparági szabványok előkészítésében, kidolgozásában. Munkatársaink ezen túlmenően hatékonyan tevékenykednek a METESZ különböző





1-5. ábra. 120 kV-os külsőtéri kivitelű epoxigyanta támszigetelő

szakbizottságaiban, melyek közül különösen ki kell emelni a MEE keretében működő *Korszerű szigetelőanyagok* munkabizottságot. Előadásainkkal rendszeres ismertetést nyújtunk az érdeklődőknek kutatásaink eredményeiről.

## 8. A Szigeteléstechikai Főosztály továbbfejlődése

Az elmúlt 25 év alatt a főosztály munkatársai eredményes munkájuk alapján — a gyárakkal karöltve — a főhatóság segítségével lényegében megteremtették a magyar szigetelőanyag-gyártás és -feldolgozás alapjait. Ezen az úton kell továbbhaladnunk, arra törekedve, hogy a speciális szigetelőanyag-gyártás mellett a korszerű, nagytermelékenyséű szigetelőanyag alkalmazástechnológiákat fejlesszük, a villamosgép- és -készülékgyártásban pedig olyan korszerű konstrukciók kidolgozására kerüljön sor, amelyek a szigetelőanyagok tulajdonságait, minőségi paramétereit előnyösen kihasználják. E célkitűzés megvalósításához főosztályunk a vállalatokat teljes mértékben támogatja. A főosztály eddigi tematikai irányvonalai mellé új irányként a termoplasztikus anyagok szigeteléstechikai alkalmazását tűztük ki célul, miután véleményünk szerint a termoplasztikus műanyagok alkalmazása a hazai villamosiparban messze nem érte el a világszínvonalat.

Fokozni kívánjuk az együttműködést intézetben belül a társfőosztályokkal, valamint más intézményekkel, különösen a VEIKI-vel és a MŰKI-vel, mivel az egyre komplexebbé váló kutatási feladatok problémái a mind sokoldalúbb megoldásokat teszik szükségessé. Feladataink megoldásában szeretnénk nagyobb mértékben támaszkodni a KGM- és az OMFB-célprogramokra, mert elsősorban ezek biztosítják azt az anyagi bázist, amelynek segítségével az eredmények ipari adaptálása lehetővé válik.

Reméljük, hogy az eddig elért eredményeink biztosítékul szolgálnak, és főosztályunk továbbra is eredményesen fogja a kitűzött feladatok teljesítésével villamosiparunk és ezen keresztül népgazdaságunk fejlődését segíteni.





## 2.

### **Villamos szigetelőréteg kialakítására alkalmas elektroforetikus felvihető lakkrendszerek tulajdonságai és alkalmazásuk**

*Z. DR. WINDISCH KLÁRA — PADOS FERENCNÉ*

#### **ÖSSZEFOGLALÁS**

A cikk rövid, általános ismertetést közöl az elektroforetikus lakkokról: típusaikról, jellemzőikről, alkalmazásaikról. Ismerteti az intézetben kifejlesztett, villamos szigetelőréteg kialakítására alkalmas csillám—vízemulziós szilikongyanta rendszert, valamint más típusú töltő- és kötőanyagokkal végzett kísérleteket, áttekinti a szigetelőrétegek tulajdonságait és vizsgálatát.

#### **ОСОБЕННОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ЛАКОВ, НАНОСИМЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОФОРЕЗА, ПРИГОДНЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

*З. Д-р К. Виндиш—Ф.-не Падос*

#### **Резюме**

Статья содержит общее описание электрофоретических лаков: приводит их типы, характеристики, возможности применения силиконовая смола.

Описывается разработанная в Институте система слюда-водоэмульсионная пригодная для создания электрического изолирующего слоя, а также прочие эксперименты, проведенные с другими связывающими материалами и компаундами. Свойства и методы исследования изолирующих слоев.

#### **EIGENSCHAFTEN UND ANWENDUNG VON LACKSYSTEMEN DURCH ELEKTROPHORETISCHES AUFTRAGEN FÜR DIE BILDUNG ELEKTRISCHER ISOLIERSTOFFÜBERZÜGE**

*Z. Dr. K. Windisch—Frau F. Pados*

#### **Zusammenfassung**

Der Aufsatz bringt eine kurze, allgemeine Darstellung der elektroforetischen Lacke: Typen, Eigenschaften, und Anwendungsmöglichkeiten. Es wird das im Forschungsinstitut der Elektroindustrie entwickelte für die Bildung elektrischer Isolierstoffüberzüge geeignete Lacksystem auf Glimmer-wasserlöslicher Silikonharzemulsionbase, sowie Versuche mit anderen Füllstoffen und Bindemitteln vorgestellt. Abschliessend werden die Eigenschaften und die Prüfmethode der Isolierstoffüberzüge bekanntgemacht.

# PROPERTIES AND USES OF LACQUER SYSTEMS SUITABLE FOR THE ELECTROPHORETIC DEPOSITION OF ELECTRICAL INSULATING COATINGS

By Z. Dr. K. Windisch—Mrs. F. Pados

## Summary

A short general description of electrophoretic lacquer systems is given in the paper, covering types, characteristics and applications. A mica-wateremulsion silicone resin system developed at the Research Institute of the Electrical Industry and suitable for preparing electrical insulation coatings, is described, reporting also on the experiments performed with other filling and binding materials. Properties and testing of the insulating coatings.

## 1. Bevezetés

Az elektroforetikus festési eljárást ipari méretekben kb. 10 éve alkalmazzák, első sorban nagysorozatban gyártott, bonyolult alakú elemek pl. autókarosszériák, készüléktokok, háztartási készülékek stb. korrózióvédő alapozására.

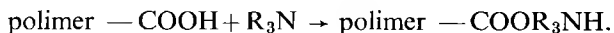
A különböző festégyártó cégek 10—12 év óta foglalkoznak olyan festékrendszerek kidolgozásával, amelyek korrózióállóság és mechanikai tulajdonságok szempontjából megfelelő védelmet nyújtanak a festendő tárgyakra, és vizes közegből elektroforetikus levaszthatók [1].

Az elektroforetikus bevonásra alkalmas fürdők kolloidálisan oldható, ill. diszpergálható szerves filmképzőből: gyantakomponensből és különböző szerves vagy szervetlen vegyületekből: töltőanyagok, pufferanyagok stb. állnak.

A kialakítható bevonatok sajátságai szempontjából legfontosabbak a fürdők szilárdanyag-alkotóinak — a kötő- és a töltő-anyagoknak — a tulajdonságai.

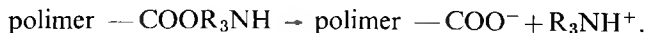
Mint ismeretes, a műanyag alapú filmképző anyagok vízben oldhatatlanok. Ha azonban a makromolekulában disszociációra képes csoportok pl. karboxil- (—COOH), hidroxil- (—OH) csoportok vannak, amelyeket ammóniumhidroxiddal (NH<sub>4</sub>OH), vagy más amincsoportot tartalmazó vegyületekkel, pl. dietil- vagy trietilaminnal (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>—NH, (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>N teljesen vagy részben semlegesítik, a makromolekula vízben kolloidálisan oldhatóvá, ill. diszpergálhatóvá válik [2].

A jelenséget a következő egyszerűsített formával ábrázolhatjuk:



A töltőanyag nem lehet ionos jellegű. Jól beváltak azok a pigmentek, amelyek kellően finomszemcsés alakban (átlagos szemcseméret max. 20 μm) a kötőanyag oldatában mint védőkolloidban stabil diszperziót képeznek, és a villamos erőtér hatására a kötőanyaggal együtt vándorolnak az anód felé.

A festékrészecskék viselkedését villamos erőtérben a következő módon értelmezhetjük: A töltőanyag-részecskéket gyantaréteg veszi körül. A gyanta, hidrofilitásának mértékétől függően, vízmolekulákat köt meg a felületén. A vizes közegben az aminokkal semlegesített savas csoportok disszociálnak, és így a részecskék felületén kialakuló elektromos kettősréteg belső fegyverzete negatív töltésű lesz (2-1. ábra).



Az ily módon vizes közegbe vitt makromolekula villamos erőtér hatására az anód felületén töltését leadva koagulál. Ipari méretekben mindezekig csak az anódosan

leválasztható festékrendszerek terjedtek el, annak ellenére, hogy bizonyos hátrányok, pl. a bevonandó fémtárgy kismértékű oldódása, a fejlődő nascens oxigén kiküszöbölhető lenne katódos leválasztással [3].

A rétegek kialakulása szempontjából az elektroforetikus fűrdők lényeges jellemzője a leválási egyenérték, vagyis — az elektroforetikus technikában használatos meghatározás szerint — az 1 g szilárd lakk vagy festékanyag leválasztásához szükséges árammennyiség (C/g), amelyet az egyes festékek anyagi jellemzőjének tekintenek.

A bevonatok sajátosságai szempontjából legfontosabbak az elektroforetikus fűrdők gyantakomponensei. Számos vízben kolloidálisan oldható, ill. diszpergálható filmképző műgyanta ismeretes, amelyeket a kívánt tulajdonságoknak megfelelően lehet alkalmazni. Ezek lehetnek szilikon-, epoxigyanta, polifluoretilén, akrilsavészter, vinilalkohol, vinilacetát alapúak. A finom eloszlású kolloid oldatokból (vízben oldható, ill. hígítható típus) hosszabb idő alatt is vékonyabb rétegek képződnek. A nagyobb méretű részecskéket tartalmazó diszperz oldatokból (emulziókból) kisebb feszültség és rövid kezelési idő alatt viszonylag vastag bevonat állítható elő. Hátránya e rendszereknek, hogy az emulzió könnyen kicsapódhat [4].

A réteg vastagsága és tulajdonságai — e két típuson belül — a gyanta, a töltőanyag és a kettő arányának megválasztásától függően, bizonyos határokon belül szabályozhatók. Célunk volt az, hogy kihasználva az elektroforetikus eljárás műszaki és gazdasági előnyeit, alkalmazását a villamos szigetelőipar egyes területeire kiterjesszük. Az előnyök a következők:

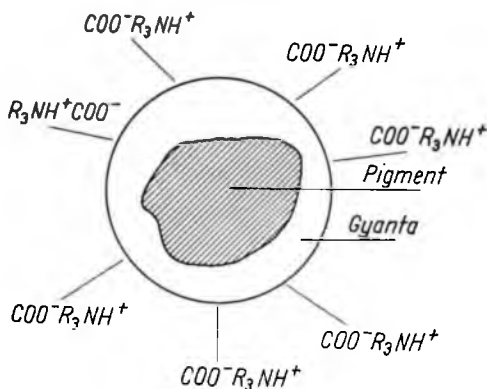
- A leváló, egy rétegben felvitt szigetelés a sarkokon, éleken is egyenletes homogén bevonatot képez.
- Az eljárás automatizálásával jelentős munkaerő-megtakarítás érhető el.

Ahhoz, hogy az elektroforetikus leválasztható gyantarendszerek villamos szigetelésre is alkalmasak legyenek, további követelményeket is ki kell elégíteniük:

- A leváló rétegnek a felhasználási területtől függő mértékben villamosan szigetelnie kell.
- A réteg hőállóságának a megkívánt hőállósági osztálynak kell lennie.
- A villamosiparban elsősorban alkalmazott rézvezetők felületén megfelelő réteget lehessen kialakítani.

## 2. Kötőanyagok és töltőanyagok

A különböző korróziógátló alapozás céljára kifejlesztett festékeket megvizsgálva megállapítottuk, hogy a festékek villamos szigetelőképessége mindössze kb. 100 V, hőállóságuk max. 100...120 °C. A leváló rétegbe kerülő rézionok — a festékek



2-1. ábra. Ionizált festékrészecske

aminvegyületeivel különböző komplex vegyületeket képezve — a réteg zöldes elszíneződését okozzák.

Villamos szigetelésre alkalmas gyantarendszerek kialakításához olyan töltőanyagokat kellett alkalmazni, amelyek javítják a leváló réteg szigetelőképességét és kielégítik az elektroforetikus leválasztás általános feltételeit:

- Képezzenek stabil szuszpenziót, a leválasztás folyamán az elektroforetikus fürdőből ne ülepedjenek ki.
- Ionos szennyezéseket ne vigyenek be olyan mértékben a fürdőbe, hogy az a kolloid méretű részecskék vándorlása helyett elektrolízishez vezessen.
- Legyen saját töltésük (adszorpció, felületi disszociáció vagy dörzselektromosság útján), ill. a kötőanyag képes legyen a részecskéket töltéssel ellátni.

Míndezeket figyelembe véve, a következő töltőanyagokat vizsgáltuk meg:

- csillámpor, amelyet az intézetünkben kidolgozott eljárás alapján a Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet készített (jele a továbbiakban: csillám SzKKT).
- kvarcliszt (Országos Érc- és Ásványbányaipari V.),
- talkum (Országos Érc- és Ásványbányaipari V.),
- kaolin (Országos Érc- és Ásványbányaipari V.),
- E üvegszál
- R üvegyöngy (Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet),
- timföld (Degussa-Frankfurt).

Bizonyos töltőanyagokat, pl. az üvegszálat, üvegyöngyöt további őrléssel, ionmentes vízzel történő mosással és frakcionálással finomítottunk és tisztítottunk.

Az egyes töltőanyagok ionmentesített vízben készített szuszpenzióit villamos erőterben vizsgálva, anaforetikus vándorlást mutat a csillámporon kívül a kvarc, talkum, kaolin és az üvegyöngy. Töltésüket egyrészt a vizes közegből adszorbeált hidroxil- $(OH^-)$  ionoktól, másrészt a részecskék felületén levő kovasav, vagy annak sói disszociációjával keletkező szilikát- $(SiO_3^-)$  ionoktól és az őrlés során fellépő dörzselektromosság útján keletkező töltésektől kapják. Az anódlemezen kötőanyag nélkül is viszonylag jól tapadó réteget képez a csillám, a talkum és a kaolin; ez a részecskék lemezes kristályszerkezetének köszönhető. A timföld vizes közegben flokulál, a jelenséget a víz hatására 0-ra csökkenő  $\zeta$  potenciállal magyarázzák [5]. Az egyes töltőanyagok összehasonlítására kötőanyagként a kipróbált vízemulziós, ill. vízben oldható gyanták közül a Wacker K 0118 EL jelű emulziót választottuk (l. 2-1. táblázat).

### 2-1. táblázat

#### Elektroforetikus fürdők készítésére használt kötőanyagok

Jelölés	Gyártó cég	Márkanév	Bázis
I.	Lackwerke Wülfing GmbH, Wuppertal	W 0118	szilikon
II.	Stollack AG., Wien	EC-SiL 40693	szilikon
III.	Wacker-Chemie, München	K 0118 EL	szilikon
IV.	Tiszai Vegyi Kombinát, Leninváros	közbenső termék	epoxi zsírsavészter
V.	Budalakk Festék- és Műgyantagyár, Budapest	közbenső termék	akril

2-2. táblázat

Különböző töltőanyagokkal készített fürdőkből leválasztott rétegek minősége

Töltőanyag	Csillámpor	Kvarciszit	Talium	Kaolin	Úvegyszál	Úvegzsóny
Töltőanyag—kötőanyag aránya	6 : 4	4 : 6	4 : 6	6,6 : 3,4	5 : 5	6,6 : 3,4
Leválasztási paraméterek kapocsfeszültség, V idő, s	60...150 20...240	80...150 240	80 240...480	80...120 60...360	100...200 120...240	80...200 240
Leválasztott réteg minősége	egyenletes csillám/ gyanta eloszlás	egyenlőtlen, vastag	egyenlőtlen, laza, a fürdő- ből való ki- emeléskor már lecsúszik	tömör, egyenletes, szárításkor hólyagosodik	nincs leválás	nincs leválás
Vastagság, μm	50...650	> 1000	—	170...550	—	—
Átütési feszültség*, kV	0,5...6,6	~2	—	1,2...8	—	—
Átütési szilárdság, kV/mm	10,0...10,0	—	—	7,2...14,5	—	—

\*MSZ 20880-62 szerint mérve

A megfelelő töltőanyag—kötőanyag arányt, amelynél a leváló réteg töltőanyag—gyanta eloszlása egyenletes, és követi a fürdőben beállított arányt, minden egyes esetben kísérleti úton kell meghatározni. Irodalmi, valamint az elektroforetikus festékeket gyártó cégeknél szerzett tapasztalataink szerint ez — az elméleti alapok kezdeti stádiuma miatt (a felületi töltések eredetének, eloszlásuk kvantitatív ismeretének hiánya) — empirikusan történik [6].

A különböző töltőanyagokkal készített fürdőkből az alkalmazott kísérleti paraméterek mellett (kapocsfeszültség, idő) kialakult rétegek minőségét és átütési értékeit a 2-2. táblázat mutatja. A leválasztási kapocsfeszültség- és időértékek olyan szélsőértékek, amelyeknek alsó határa azt a legkisebb térerősséget és időt jelenti, amelynél az adott geometriai viszonyok mellett (elektródok távolsága és felülete, fürdőtérfogat) a lemez teljes felületét fedő réteg alakul ki, a felső határt pedig az elektroforézist mindig kísérő elektrolyziss túlsúlyba kerülésével járó rétegfelszakadás, ill. pórusképződés szabja meg. A vizsgált töltőanyagok közül villamos szigetelőréteg kialakítására a csillám és a kaolin a legalkalmasabbak.

### 3. Csillám—gyanta alapon kifejlesztett rendszerek

A 2-1. táblázatban felsorolt kötőanyagokat csillámmal különböző arányban pigmentálva készítettünk elektroforetikus fürdőket. A kísérleti úton beállított optimális csillám—gyanta arányú rendszerek jellemzőit, a leválasztási paramétereket és a kapott elektroforetikus rétegekre jellemző vastagság és átütési értékek intervallumát és hőállósági osztályát a 2-3. táblázat foglalja össze. A csillám töltőanyagú gyantarendszerek közül a leválasztandó réteg vastagságát és villamos szigetelőképességét tekintve a legszélesebb spektrumú réteg a Wacker K 0118 EL jelű szilikon emulzióból állítható elő. A nem szilikon alapú, szerves amin-vegyületekkel vízben oldhatóvá alakított gyantatípusokból csillámmal pigmentálva

epoxi-zsírsvészter alapon (Tiszai Vegyi Kombinát) és  
akril-gyanta alapon (Budalakk)

villamos szigetelés szempontjából bizonyos felhasználási területekre megfelelő minőségű réteget lehet előállítani, azonban e gyantatípusok az elektroforetikus réteg felépülése közben különböző komplex vegyületeket képeznek a rézzel, amelyek a bevonatot zöldre, ill. barnára színezik.

A Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézetben készített és kísérleteink során alkalmazott csillámpor minősége megfelelő villamos szigetelőréteg kialakítására, de — tekintettel a kísérleti gyártásra — előállítása igen költséges.

A továbbiakban megvizsgáltuk annak lehetőségét, vajon e csillámtípus helyettesíthető-e más, olcsóbb, könnyebben beszerezhető csillámporral. A hazai lakkipar a hagyományos mártással, kenéssel felhordható festékek pigmentanyagának területjavító adalékeként használja a Micro Mica W1 jelű (Norwegian Talc-Bergen) csillámport. E csillámporral az SzKKT jelű csillámra beállított kötőanyag—pigment arányban készítettünk fürdőket: Wacker K 0118 EL, Stollack EC-Si L 40693 és TVK kötőanyagokat alkalmazva. A Micro Mica W1 jelű csillámpor alkalmazásával az elérhető maximális rétegvastagság és átütési feszültség az SzKKT jelű csillámporhoz viszonyítva 50...70%-kal csökken.

Növelve a csillámpor kötőanyaghoz viszonyított arányát, nő az elérhető maximális rétegvastagság és abszolút értékben nő a maximális átütési feszültség is; az átütési szilárdság értéke viszont az SzKKT csillámporral készített rétegek értékeinek

2-3. táblázat

Csillám – gyanta alapú rendszerek jellemzői

Gyantatípus jelölése	Füredő-jellemzők szárazanyag-tartalom: 10 %					Leválasztási paraméterek			A leválasztott réteg tulajdonságai			
	gyanta- csillám aránya	hőmérséklet, °C	pH	$\mu\text{Scm}$	$\times$	kapocsfeszül- ség, V	idő, s	vastagság, $\mu\text{m}$	feszültség, kV	átütési szilárdság, kV/mm	hőállóság- osztály	
I.*	5/5	20	6,9	400		80	240	500	3,5	7,0	H	
II.	4/6	25	7,7	460		80...125	30...120	50...300	0,8...4,0	16,0...13,3	H	
III.	4/6	20	8,2	90		60...150	20...240	50...650	0,5...6,6	10,0...10,0	H	
IV.	3,4/6,6	25	8,3	1370		80...120	30...90	60...300	1,1...3,3	18,0...11,0	F	
V.	3,4/6,6	25	8,6	240		40...80	60...180	50...550	0,5...5,0	10,0...9,0	F	

\* Kis mennyiségű lakkminta.

kb. 50%-a. A TVK kötőanyaggal leválasztható viszonylag vékony rétegek esetében a norvég csillámpor megnövelt csillám—gyanta arány mellett az SzKKT csillámporral mért értékek 75%-át adja. A kétféle csillámpor ionmentesített vízben készített szuszpenziójának fajlagos vezetőképességét mérve azt tapasztaltuk, hogy a Micro Mica W1 csillámpor ionos szennyezettsége nagyobb. A csillámport ionmentesített vízzel mosva, a leválasztott rétegek értékei csak 5...10%-kal javultak. Fel kell tételeznünk, hogy a Micro Mica W1 csillámpor olyan anyagokat tartalmaz, amelyek az elektroforetikus leválasztás közben válnak ionos szennyezőkké, csökkentve a réteg szigetelőképességét és az elektroforetikus fürdő kihasználhatóságát.

A Micro Mica W1 csillámpor alkalmazása mellett szól — gyengébb minősége ellenére — az, hogy olcsón, nagy mennyiségben beszerezhető, és Magyarországon sem a Szilikátipari Központi Kutató és Tervező Intézet, sem más vállalat csillámpor gyártására nincs berendezkedve.

#### **4. A szigetelőrétegek vizsgálata, tulajdonságai**

Az elektroforetikus úton kialakított villamos szigetelőrétegek összehasonlítására az egyes rétegeken mért átütési feszültség átlagértékeit, ill. az átütési szilárdság értékeit alkalmaztuk, továbbá megvizsgáltuk a kialakított rétegek további villamos, mechanikai és egyéb tulajdonságait is.

A 2-4. táblázatban a villamos szigetelőképeség szempontjából legalkalmasabb csillám SzKKT—Wacker K 0118 EL jelű gyantarendszerre vonatkozó vizsgálati eredményeinket közöljük. Egyes tulajdonságok vizsgálata során kitértünk a réteg XD-lakkal impregnált változatának vizsgálatára is.

A rétegek mechanikai tulajdonságainak vizsgálatakor egyrészt a hagyományos festési eljárással (ecsetelés, mártás, szórás) felvitt, festékbevonatok vizsgálatára vonatkozó MSZ, ill. DIN szabványokat, másrészt a zománchuzalra vonatkozó KGSZ szabványt vettük figyelembe.

#### **5. Alkalmazási területek**

Az elektroforetikus bevonás ma már az általánosan alkalmazott ipari eljárások közé tartozik. A módszert a villamos gépek és készülékek egyes szigetelési problémájának megoldására a Siemens cég fejlesztette ki. Az eljárás a módszer egyszerűsége, az előállítható rétegek különleges tulajdonságai és változatossága miatt kiegészíti az ismert szigetelési eljárásokat, és új megoldásokat tesz lehetővé. Az eljárás, az általában kézi művelettel több rétegben felvihető szigetelés helyett, sok esetben alkalmas a szigetelések egy művelettel való, egyenletes minőségben történő előállítására. A folyamat automatizálhatósága munkaerő-megtakarítást, nagy termelékenységet és gazdaságosabb gyártást jelent.

Villamos motorok tekercselemeinek elektroforetikus eljárással történő szigetelésére vonatkozóan az Ózdi Kohászati Üzemek és az Egyesült Villamosgépgyár részére dolgoztunk ki bevonási technológiát. Az Ózdi Kohászati Üzemekben a szigetelt tekercselemekkel egy DH-151/1000 típusú, szakaszos üzemű aszinkron motor forgórészét tekercselték be. A beépítés helye tipikus kohászati melegüzem volt, ahol a hagyományosan szigetelt tekercselemekkel készült motorok élettartama a rendkívül kedvezőtlen körülmények miatt igen rövid. A kísérleti szigetelésű motor 276 napig üzemelt, az előző időszakban ugyanezen a helyen ugyanezek a típusú motorok



## 2-4. táblázat

## Vizsgálati eredmények

Tulajdonság	Minősítés, mért értékek	Rétegvastagság, μm	Vonatkozó szabvány
Permittivitás (ε) 20 °C-on, 50 Hz-en	2,87	450	MSZ 4857-69
Dielektromos veszteségi tényező (tg δ) 20 °C-on, 50 Hz-en	12,12 · 10 <sup>-2</sup>	450	MSZ 4857-69
Szigetelési ellenállás 23 ± 5 °C-on, 94 ± 4% rel. légnedvességű térben impregnálás nélkül		250	MSZ 4854-69
24 h után	3,2 · 10 <sup>12</sup> Ωcm		
72 h után	5,0 · 10 <sup>11</sup> Ωcm		
96 h után	3,4 · 10 <sup>11</sup> Ωcm		
XD oldattal impregnált rétegben	1,0 · 10 <sup>14</sup> Ωcm 4,8 · 10 <sup>13</sup> Ωcm 2,7 · 10 <sup>13</sup> Ωcm	340	
Átütési feszültség 20 ± 5 °C-on, 65 ± 5% rel. légnedvességű térben, impregnálás nélkül			MSZ 20880-62
XD oldattal impregnált rétegben	1,1...6,6 kV 3,1...8,0 kV 6,2 kV	100...650 190...740 500	
Tapadás	98%	50...650	MSZ 9645
Porozitás	nincs elváltozás 10 min helyett 1 h alatt	200...300	MSZ 6575/4*
Karcolási keménység Clemen-féle módszerrel	450 g vágja át a réteget	250	MSZ 9640/3-65
Rugalmasság 32 mm átmérőjű tüskével	„kemény” a réteg leválik, rugalmatlan	50...650	DIN 53152
Kopásállóság, súlyterhelés: 500 g	860	250	KGSZ** 48.7002-66
Kopásállóság, XD-vel impregnált rétegen súlyterhelés: 2000 g	> 2200	340	KGSZ 4.2904-61
Vízfelvétel 92 ± 2% rel. légnedvességű térben, 48 h után	0,55%	250	
XD-vel impregnált réteg 92 ± 2% rel. légnedvességű térben 48 h után	0,33%	340	

\* Rézre jellemző reakciót adó oldatot alkalmazva.

\*\* A szabványos vizsgálat kör szelvényű zománchuzalra vonatkozik, a vizsgálatot négyszög szelvényű (2 mm × 9 mm-es) huzalra felvitt rétegen végeztük.

hagyományos szigeteléssel 106...110 napig működtek. Az Egyesült Villamosgépgyárban elektroforetikusan szigetelt tekercselemek beépítése jelenleg folyamatban van.

Az eljárás további alkalmazási területekre való kiterjesztésére tájékoztató kísérleteket végeztünk a villamosipar számos területén: indukciós tekercsek (Csepel Művek), csúszógyűrűk, kefetartó rudak (Gyöngyösvisontai Hőerőmű), megszakítókarok, ellenállástekercsek (Villamos Berendezés és Készülék Művek) szigetelésére.

## Irodalom

- [1] *Frangen K. H.*: Die Elektrophorese als Auftragsverfahren für Anstrichstoffe. *Industrie-Lackier-Betrieb* 1966. 34. No. 2. p. 4—18.
- [2] *van den Abbeele, A.*: Application des peintures par électrophorèse. *Galvano* Décembre 1969. No. 395. p. 917—922.
- [3] *Anonym*: L'évolution technique de l'électrodéposition des peintures. Peintures. — Pigments. — Vernis. 1970. p. 1308—1311.
- [4] *Crawford, H. R.*: The design of resins for electrodeposition. *Journal of the Oil and Colour Chemists' Association* 1972. No. 7. p. 557—569.
- [5] *Bahn, R.*: Die elektrophoretische Abscheidung von keramischen Isolierstoffen. *Physikalisches Laboratorium des VEB Porzellanwerk*, 1958.
- [6] *Elmas, M.*: Einige theoretische und experimentelle Untersuchungen über die elektrophoretische Abscheidung. *Industrie-Lackier-Betrieb* 39. 1971. Nr. 2. p. 49—52.

# 3.

## **Villamos forgógépekben alkalmazott szigetelési rendszerek öregeedésének, ill. élettartamának meghatározása**

*DR. MISZLIVETZ JÓZSEF*

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

Egy villamos berendezésben, közelebbről valamely villamos forgógépben alkalmazott szigetelőanyagok, ill. a belőlük felépített szigetelési rendszerek a különböző hő-, villamos, mechanikai és klimatikus igénybevételek hatására tönkremennek, előregednek, azaz üzemi funkciójuk lehetetlenné válik. A szigetelési rendszert felépítő komponensek egymással kölcsönhatásba lépnek, ami élettartamukat, végeredményben az egész rendszer élettartamát is befolyásolja.

Műszaki és gazdasági szempontok indokolják, hogy a különböző vizsgálatokhoz elkészítsük egy villamos berendezés szigetelési rendszerének a modelljét. Egy aszinkron villamos forgógép állórésze szigetelési rendszerének a modelljét motorettnak nevezik. A különböző hőállósági osztályú szigetelési rendszerek élettartamát az élettartam és a hőmérséklet közötti összefüggést megadó Arrhenius-féle egyenlettel lehet meghatározni. Ennek segítségével megkapható a „legvalószínűbb” élettartam-egyenes, az ún. regressziós egyenes, valamint a hőmérséklettől függő időintervallum, az ún. konfidencia-intervallum, amelyen belül várható a szigetelési rendszer előregedése.

E cikk tartalmazza mindazokat a kísérleteket és vizsgálatokat, amelyeket a hazai villamos forgógépgyárak megbízásából a VKI több éven át folytatott a különböző hőállósági osztályba tartozó szigetelési rendszerekkel.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАРЕНИЯ И СРОКА СЛУЖБЫ РАЗЛИЧНЫХ ИЗОЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ**

*Д-р Й. Мисливец*

#### **Резюме**

Изоляционные материалы, использованные в электрических устройствах, а конкретнее в вращающихся электрических машинах, а также построенные на них изоляционные системы под действием различных термических, электрических, механических и климатических нагрузок выходят из строя, устаревают, то есть, они станут непригодными для выполнения своих функций.

Отдельные компоненты, образующие изоляционную систему, входят в взаимодействие друг с другом, что влияет на их срок службы, а в конечном итоге и на срок службы всей изоляционной системы.

Технические и экономические соображения обосновывают изготовление модели изоляционной системы электрического устройства. Модель изоляционной системы статора, вращающейся асинхронной электрической машины, называется «моторетт»-ом.

Для определения срока службы изоляционных систем различного класса теплостойкости служит уравнение Аррениуса, определяющее взаимосвязь между сроком службы и температурой. С его помощью можно определить «наиболее вероятную» прямую срока службы, т. н. прямую регрессии, а также зависящий от температуры интервала времени, т. н. интервал конфиденциальности, в пределах которого ожидается устаревание изоляционной системы.

Настоящая статья содержит все опыты и исследования, которые проводились в течение нескольких лет в VKI по заказу предприятий выпускающие вращающиеся электрических машин над изоляционными системами, относящимися к различным классам теплостойкости.

## **BESTIMMUNG DER ALTERUNG UND DER LEBENSDAUER VON IN ELEKTRISCHEN ROTIERENDEN MASCHINEN VERWENDETEN ISOLIERSYSTEMEN**

*Dr. J. Mislivetz*

### **Zusammenfassung**

Die in einer elektrischen Einrichtung, näher in einer elektrischen rotierenden Maschine verwendeten Isoliermaterialien, bzw. die mit denen aufgebauten Isoliersysteme gehen unter der Wirkung der verschiedenen elektrischen, mechanischen und klimatischen Beanspruchungen zugrunde, altern, d. h. sie können nicht mehr funktionsgerecht eingesetzt werden.

Die Komponente des Isoliersystems treten miteinander in Wechselwirkung, wodurch ihre Lebensdauer, im Grunde genommen, auch die des ganzen Isoliersystems beeinflusst wird.

Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen muss für die verschiedenen Prüfungen das Modell des Isoliersystems einer elektrischen Einrichtung hergestellt werden. Das Modell des Isoliersystems des Stators eines Asynkronmotors wird als Motorett genannt.

Für die Bestimmung der Lebensdauer der Isoliersysteme unterschiedlicher Wärmeklassen dient die Arrhenius-Gleichung, die den Zusammenhang zwischen der Lebensdauer und der Temperatur bestimmt. Mit deren Hilfe kann die „meistwahrscheinliche“ Lebensdauer-Gerade, die sogenannte Regressionsgerade, sowie das temperaturabhängige Zeitintervall, das sogenannte Konfidenzintervall, – innerhalb dessen die Alterung des Isoliersystems zu erwarten ist, – bestimmt werden.

Vorliegender Aufsatz behandelt alle Versuche und Prüfungen der Isoliersysteme der unterschiedlichen Wärmeklassen, die vom Forschungsinstitut der Elektroindustrie im Auftrag der einheimischen Herstellerbetriebe von Elektromotoren durchgeführt wurden.

## **DETERMINATION OF AGEING AND SERVICE LIFE OF INSULATION SYSTEMS APPLIED IN ELECTRIC ROTARY MACHINES**

*By Dr. J. Mislivetz*

### **Summary**

Insulating materials and insulation systems composed thereof, used in electrical equipment, or more specifically, in electric machines, are subject to deterioration and ageing under the effect of thermal, electrical, mechanical and climatic stresses, rendering them unsuitable for further service.

The components constituting an insulation system react with each other, influencing thereby also the useful life of the entire insulation system.

Engineering and economic considerations often require the preparation of the model of an electrical equipment for the purpose of various tests. The model of the insulation system of the stator of an asynchronous rotary machine is called motorette.

For the determination of service life of insulation systems belonging to the various thermal classes, the Arrhenius equation giving the relationship between service life and temperature is used. With the help of this equation the “most probable” lifetime line, called regression line, and a temperature-dependent time interval, called confidence interval can be determined, the latter representing a time interval within which a breakdown due to ageing may be expected to occur.

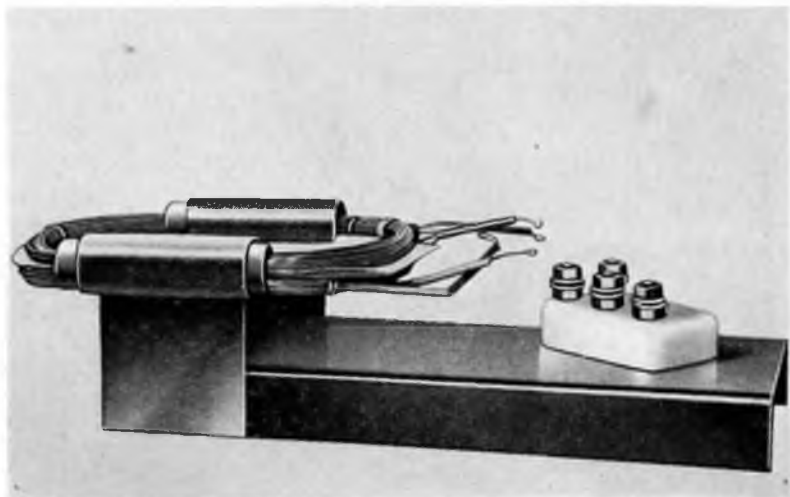
The present paper gives an account of all the experiments and tests that have been carried out by the Research Institute of the Electrical Industry on insulation systems of various thermal classes, on behalf of the Hungarian rotary-machine factories.

## 1. Általános ismertetés

Egy villamos berendezés, közelebbről egy villamos forgógép szigetelési rendszere, ill. az azt felépítő anyagok a különböző igénybevételek hatására tönkremennek, elöregednek, azaz műszaki paramétereikben olyan változások következnek be, amelyek a berendezés üzemi funkcióját lehetetlenné teszik. Az üzemelés folyamán fellépő igénybevételek a következők: hő-, villamos, mechanikai és klimatikus, mint pl. nedvesedés, napsugárzás, por és homok stb. A hatásukra bekövetkező elöregedési időt az illető anyag vagy anyagi rendszer élettartamának nevezük.

A villamos forgógép szigetelési rendszerében a rendszert felépítő komponensek egymással kölcsönhatásba lépnek, ami elöregedésüket, ill. élettartamukat befolyásolja. Ez a befolyás növelheti vagy csökkentheti az egyes komponensek és így az egész rendszer élettartamát. Pl. az impregnálóakkal bevont zománchuzal élettartama hosszabb vagy rövidebb is lehet, mint az egyszerű zománchuzalé, ugyanígy befolyásolhatja egy fém a szigetelőanyagokkal való érintkezésekor a szigetelés öregedését. Végeredményben a rendszert felépítő egyes komponensek öregedésének ismeretében nem lehet egyértelműen következtetni a rendszer élettartamára. Éppen ezért magát a rendszert kell vizsgálni, hogy a valóságnak megfelelő eredményeket kaphassunk. Ezeket a vizsgálatokat kész berendezéseken elvégezni egyrészt igen költséges, másrészt a berendezések mérete, súlya stb. a vizsgálatokat nagyon megnehezíti, sőt lehetetlenné teszi. Emiatt válik szükségessé, hogy a különböző villamos berendezések modelljét elkészítsük.

A villamos forgógépek szigetelési rendszerének modelljét motorettnak nevezik. A motorettn két főrészből, a vastestből és az ebbe beépített szigetelési rendszerből áll (3-1. ábra). A vastest egy alapzataból és az erre ráépített, a villamos gép hornyát utánzó két vályúból, valamint a kivezetéseket rögzítő kapocslecből áll. A horonyvályúba van beépítve a forgógép teljes szigetelési rendszere, vagyis a horonyszigetelés, a lakkozott huzalból készült bandázsolt tekercsek és a közöttük levő fázisszigetelés, valamint a tekercseket rögzítő horonyléc. A tekercsek behelyezése után a motorettnet éppúgy impregnálják, bevonóakkal látják el, mint egy teljes villamos forgógépet.



3-1. ábra. A motorettn fényképe

A villamos forgógépek szigetelési rendszerének ilyen formában való felépítésével először az Amerikai Egyesült Államokban foglalkoztak. Az IEEE No. 117. (régebben AIEE No. 510.) tartalmazza a vizsgálat leírását és a kiértékelés módszerét. Ezt a módszert vette át és tovább tökéletesítette az IEC, és ennek alapján végeztek kísérleteket a Szovjetunióban, a Lengyel Népköztársaságban, Csehszlovákiában stb. Eszerint az élettartamot ciklikus igénybevétel alapján határozták meg. Egy ciklus a következő igénybevételeket foglalja magában:

- hőöregítés;
- rázás;
- nedvesítés;
- feszültségpróba.

### 1.1 Hőöregítés

A szigetelési rendszereket ugyanúgy mint a szigetelőanyagokat, hőállósági osztályokba sorolták. A szigetelési rendszerek élettartamának hőöregítés alapján történő meghatározásához az egyes hőállósági osztályok hőigénybevételének időtartamára vonatkozó IEC ajánlást a 3-1. táblázatban közöljük. Egy hőállósági osztályon belül legalább három különböző hőmérsékleten kell elvégezni a vizsgálatokat az élettartam pontos meghatározása céljából.

A hőöregítésre csak olyan berendezést alkalmazhatunk, amelynek légterében biztosítani lehet a zárt tér levegőjének kényszercirkulációját az egyenletes hőmérséklet-

3-1. táblázat

A szigetelési rendszerek ciklikus öregítésére vonatkozó IEC ajánlás

Igénybevételi hőmérséklet, °C	A szigetelési rendszer hőállósági osztálya					
	A 105°C	E 120 °C	B 130 °C	F 155 °C	H 180 °C	C 180 °C felett
	A hőigénybevétel ciklusideje napokban					
300						1
290						2
280						4
270						7
260						14
250					1	28
240					2	49
230					4	
220				1	7	
210				2	14	
200			1	4	28	
190		1	2	7	49	
180	1	2	4	14		
170	2	4	7	28		
160	4	7	14	49		
150	7	14	28			
140	14	28	49			
130	28	49				
120	49					

elosztás érdekében, és amelyben megvalósítható a névleges hőmérséklettől való minimális eltérés, amelynek értéke maximum  $\pm 2$  °C lehet. A tartós üzemeltetés miatt, és mert a hőmérsékletingadozás igen nagy jelentőségű az élettartam szempontjából, a berendezésnek üzembiztosnak kell lennie.

## 1.2 Rázás

A villamos forgógépek mechanikai igénybevételének utánzására hőöregítés után rázógépre fogtuk fel a motoretteket. A rázás kétszeres amplitúdója 0,1 mm, 50 Hz-es frekvenciával. A mechanikai igénybevétel időtartama 1 h.

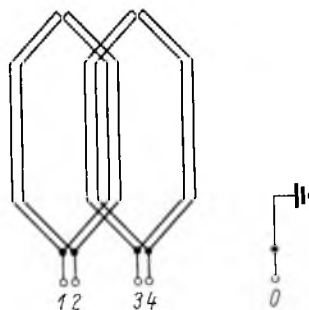
## 1.3 Nedvesítés

Villamos forgógépek esetében főleg a raktározás és az üzemszünet ideje alatt intenzív a levegő nedvességének igénybevételi hatása. A hőöregített motoretteket a rázási igénybevétel után — biológiai termosztátba helyezve — nedvesség hatásának tettük ki. Az igénybevétel paraméterei: 95...100%-os relatív légnedvesség, 30 °C-os hőmérséklet, 48 h-s időtartam. A hőöregítés és a mechanikai igénybevétel során a szigetelési rendszert felépítő komponensek olyan mérvű károsodást is szenvedhetnek, amelyek a nedvesség behatását nagymértékben lehetővé teszik, pl. felületi hajszálrepedések stb.

## 1.4 Feszültségpróba

Nedvesítés után a motoretteken feszültségpróbát végeztünk egy PVC fóliával borított zárt térben. A motorettebe két egymás fölé helyezett vadtekerceslésű tekercs van beépítve. A tekercsnek négy kivezetése van, az ötödik kapocs a motorett vasteste. Az elvi kapcsolás a 3-2. ábrán látható.

Az első feszültségpróbával az 1 és 2, illetve a 3 és 4 kivezetésekre kapcsolt  $120 V_{\text{eff}}$  szinuszos feszültséggel a zománchuzalok jószágát vizsgáltuk. Ezt követően az 1, 2, 3 és 4 rövidrezárt kivezetések és a test közé  $600 V_{\text{eff}}$  szinuszos feszültséget kapcsoltunk a horony-szigetelés próbájaként. Végül a fázisszigetelések ellenőrzésére az 1 és 2 rövidrezárt, valamint a 3 és 4 rövidrezárt kapcsok közé  $600 V_{\text{eff}}$  szinuszos feszültséget kapcsoltunk. A feszültségpróba ideje mindhárom esetben 10—10 percig tartott. A próbatestet meghibásodottnak tekintettük, ha bármelyik feszültségpróba ideje alatt a szivárgási áram elérte vagy meghaladta az 1 A-t. A hibásnak bizonyult motorettek a további vizsgálati ciklusokban már nem szerepeltek, csak a jónak bizonyult motorettekkel folytattuk a kísérleteket. A kísérleteket — két esetet kivéve — az utolsó motorett tönkremenetelig folytattuk.



3-2. ábra. A motorett elvi kapcsolása

1, 2 az alsó tekercs kivezetései; 3, 4 a felső tekercs kivezetései; 0 a vastest

## 2. Az élettartam meghatározásának módszere

A szigetelési rendszerek élettartamának meghatározására vonatkozó IEC ajánlás részletesen ismerteti a vizsgálati eredmények statisztikus feldolgozási módszerét, a regressziós analízist, amelynek segítségével a vizsgált rendszerek élettartamát megállapíthatjuk. A következőkben az elméleti taglalás helyett — amely a szakemberek körében általában ismert — röviden bemutatjuk a számítási módszer gyakorlati alkalmazását.

A szigetelőanyagok élettartama és a hőmérséklet között az

$$y = Ae^{\frac{B}{K}}$$

Arrhenius-féle egyenlet írja le a kapcsolatot, ahol  $y$  a szigetelőanyag (-rendszer) élettartama;  $A$  és  $B$  anyagi állandók;  $K$  az abszolút hőmérséklet;  $e$  a természetes logaritmus alapja.

Ha a fenti összefüggést logaritmikus alakban írjuk fel, lineáris egyenletet kapunk:

$$\lg y = \lg A + \frac{1}{K} B \lg e.$$

Az egyenlet tagjai, ill. tényezői rendre legyenek:

$$\begin{aligned} \lg y &= Y, & \lg A &= a \\ B \lg e &= b, & \frac{1}{K} &= x \end{aligned}$$

( $K = 273 + \tau$ , ahol  $\tau$  a hőmérséklet °C-ban.)

Behelyettesítés után a következő alakban kapjuk Arrhenius egyenletét:

$$Y = a + bx.$$

Ha egy kísérletsorozat eredményeinek értékelése alapján állapítjuk meg a szigetelési rendszer élettartamát, akkor az Arrhenius-egyenlet együtthatóinak ( $a$  és  $b$ ) kiszámításához a matematikai statisztika módszerét alkalmazhatjuk. Ennek segítségével meghatározható a szigetelési rendszer legvalószínűbb élettartam-egyenese, az ún. regressziós egyenes. A regressziós számítási módszerrel meghatározott élettartam azonban a gyakorlat számára közvetlenül nem használható. Lényeges hibája ugyanis az, hogy ez az egyenes adott hőmérséklethez egyetlen élettartam-értéket rendel, az élettartam szórására és jellegére nem utal. Meghatározható azonban az az időintervallum, amelyben a megadott valószínűséggel várható a szigetelési rendszer élettartama. A regressziós egyenes, valamint az ún. konfidencia-intervallum, vagyis az a hőmérséklettől függő időtartomány, amelyen belül adott valószínűséggel várható a szigetelési rendszerek előregedése, koordináta-rendszerben ábrázolható.

Az élettartam grafikus ábrázolásához a lineáris alakban felírt Arrhenius-függvény együtthatóit ( $a$  és  $b$ ) kell meghatározni a következő összefüggések szerint:

$$b = \frac{\sum (x_j - \bar{x})(x_i - \bar{y})n_i}{(x_j - \bar{x})^2 n_i}$$



ahol

$$\bar{x} = \frac{\sum x_j n_i}{N},$$
$$\bar{y} = \frac{\sum y_i n_i}{N},$$
$$x_j = \frac{1}{273 + \tau_j},$$

ahol  $\tau_j$  az igénybevételi hőmérséklet, °C;

$n_i$  az egyes ciklusokban meghibásodott próbatetek száma;

$y_i = \lg T_i$ ;

$T_i$  azoknak a ciklusoknak az ideje, amelyekben meghibásodás történt (a vizsgálat kezdetétől a bekövetkezett meghibásodásig, napokban vagy órákban kifejezve);

$$a = \bar{y} - b\bar{x}.$$

Ajánlatos a kísérleteket három különböző hőmérsékleten végezni, hogy  $x$  három értékének megfelelően a regressziós egyenes három pontját kapjuk eredményül; amelyeken keresztül az egyenes megrajzolható.

Legyenek a regressziós egyenesnek a  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  és  $\tau_3$  hőmérsékletekhez tartozó pontjai  $Y_1$ ,  $Y_2$  és  $Y_3$ . Az  $Y$  pontokhoz tartozó konfidenciaintervallumot a következő módon számítjuk:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (y_i - Y)^2 n_i}{n-1}},$$
$$S_y = \frac{S}{\sqrt{n}},$$
$$\sigma_x^2 = \frac{1}{3} \sum x_j^2 - \left(\frac{1}{3} \sum x_j\right)^2,$$

ahol  $S_y$  a szórás;

$n_i$  az egyes ciklusokban meghibásodott motorettek száma.

$$Y_{\max} = \frac{C_{xy \max}}{\sigma_x^2} \left(x - \frac{1}{3} \sum x_j\right) + \frac{1}{3} \sum y_{\max},$$

$$C_{xy \max} = \frac{1}{3} \sum x_j y_{\max} - \frac{1}{3} \sum x_j \cdot \frac{1}{3} \sum y_{\max},$$

$$y_{\max} = Y + \varepsilon,$$

$$\varepsilon = t S_y,$$

$$Y_{\min} = \frac{C_{xy \min}}{\sigma_x^2} \left(x - \frac{1}{3} \sum x_j\right) + \frac{1}{3} \sum y_{\min},$$

$$C_{xy \min} = \frac{1}{3} \sum x_j y_{\min} - \frac{1}{3} \sum x_j \cdot \frac{1}{3} \sum y_{\min},$$

$$y_{\min} = Y - \varepsilon,$$

ahol  $t$  az adott valószínűséghez és  $k = n - 1$ -hez tartozó, táblázatból leolvasható állandó,

$n$  az egy hőmérsékleten vizsgált próbatestek száma.

### 3. A kísérletek és vizsgálatok ismertetése

Első kísérleteinket az EVIG megbízásából kezdtük el 1966-ban és azóta megszakítás nélkül folytattuk különböző összetételű szigetelési rendszerekkel 1973-ig. A szigetelési rendszerek felépítését, a motorettek elkészítését a gyár végezte, mégpedig a következő hőállósági osztályokban: E, B, BF, F és FH. Időközben az AUTÓVILL Gyár részére is végeztünk vizsgálatokat, minden esetben a B hőosztályban.

A motorettek hőregítésekor a következő hőmérsékleteket, ill. időtartamokat alkalmaztuk az egyes hőosztályokban:

E hőállósági osztály:	130 °C	49 nap
	150 °C	14 nap
	170 °C	4 nap
B hőállósági osztály:	140 °C	49 nap
	160 °C	14 nap
	180 °C	4 nap
	és 160 °C	14 nap
	180 °C	4 nap
	200 °C	1 nap
BF hőállósági osztály:	180 °C	14 nap
	200 °C	4 nap
	220 °C	1 nap
	és 170 °C	14 nap
	190 °C	4 nap
F hőállósági osztály:	180 °C	14 nap
	200 °C	4 nap
	220 °C	1 nap
FH hőállósági osztály:	190 °C	14 nap
	210 °C	4 nap
	230 °C	1 nap

Egyébként a csehszlovák és a német szakemberekkel történt megbeszélés alapján a vizsgálatok gyakorlati lefolytatását túlságosan elnyújtó 49 napos ciklust a későbbiek folyamán már nem alkalmaztuk. Az Insulation című amerikai folyóirat Results of Motoretts on various higher temperature insulation systems című cikke nyomán választottuk a 14, 4 és 1 napos ciklusokat. Ezzel célunk egyrészt az volt, hogy a vizsgálati időt lerövidítsük, másrészt minél jobb lehetőséget akartunk teremteni a vizsgálati eredmények összehasonlítására.

Kísérleteink elején minden hőmérsékleten 15—15 darab, a későbbiek folyamán — a vizsgálatok meggyorsítása végett — már csak 10—10 darab motoretet vizsgáltunk. Érdemes megjegyezni az eddigi tapasztalataink alapján, hogy az alacsonyabb hőosztályokban az 1 napos ciklusokhoz tartozó igénybevételi hőmérsékletek alkalmazásával óvatosan kell bánni. Ilyen nagy hőmérsékleteknek az alacsonyabb hő-

állósági osztályú szigetelési rendszerek — még esetleges meghibásodáskor is — csak ritkán lehetnek kitéve, ill. gazdasági kérdés olyan szigetelőanyagok alkalmazása, amelyek ezt az igénybevételt kibírják. Ha pedig az ilyen szigetelési rendszerekben általánosan alkalmazott anyagokat építenek be, akkor a túlzott igénybevétel az anyagok „robbanásszerű” leromlását okozhatja, ez pedig a motorettek idő előtti tönkremenetele folytán az élettartam hamis értékeléséhez vezethet. Bár igaz, hogy a regresszió ellenőrzésével megállapítható a hőigénybevétel helyessége, de ekkor a nem megfelelően bizonyult igénybevétellel vizsgált rendszer kísérleteit — a hiba kiküszöbölése érdekében — erre alkalmasabb ciklusok kiválasztásával meg kell ismételni. Ez az eljárás tehát szintén a vizsgálatok túlzott elhúzóódásához vezetne.

Igen érdekesek voltak a nem szabványos, BF és FH hőállósági osztályú motorettekkel végzett kísérletek, ugyanis a B és F, valamint az F és hőállósági osztályok között egyaránt meglehetősen nagy, 25 °C a hőmérsékleti különbség. A gyári szakemberekkel tartott konzultáció eredményeképpen a B és az F, ill. az F és a H hőállósági osztályok között is képeztünk egy-egy szigetelési osztályt.

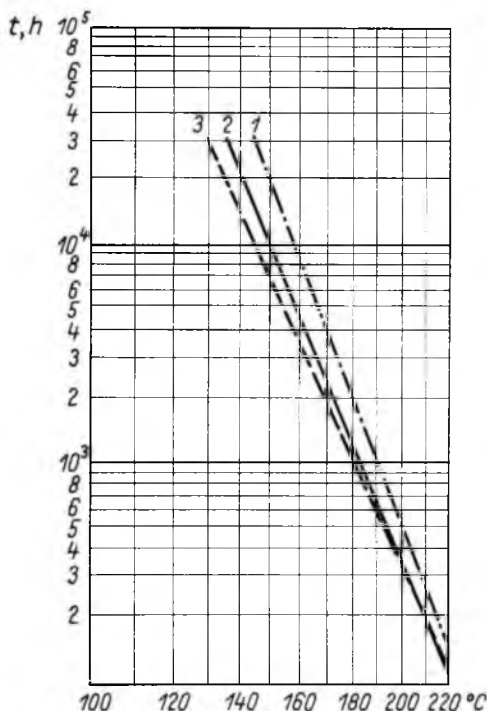
Az átmeneti osztályok kialakításának oka kettős. Az egyik ok azon alapult, hogy az üzemi gyakorlatban olyan szigetelési rendszereknek is létjogosultságuk van, amelyek az igénybevétel szempontjából az említett osztályok között foglalnak helyet. Gazdasági szempontok indokolják, hogy az ilyen esetekben alkalmazott szigetelési rendszerek anyagi összetevőinek milyen legyen a minősége, vagy ami ezzel szorosan összefügg, az ára. A másik ok műszaki és gazdasági szempontot egyaránt érint. Ha ugyanis a B, ill. az F hőállósági osztályú rendszerek összetevői közül néhányat magasabb hőállósági osztályúra cserélünk ki, akkor egy ún. biztosított üzemi B, ill. F hőállósági osztályú szigetelési rendszerhez juthatunk el. Egy ilyen „javított” szigetelési rendszer élettartamának az előírt 20 000 h-t messze meg kell haladnia. Kísérleteink folyamán feltételezéseink igazolódtak. Megegyezés szerint a BF hőállósági osztály hőmérsékletét 143 °C-nak, az FH osztályét pedig 167 °C-nak választottuk.

A vizsgált rendszerek felépítését illetően az E hőállósági osztályban egy, a B és BF hőállósági osztályokban három-három, az F hőállósági osztályban kettő és az FH hőállósági osztályban egy szigetelési rendszer élettartamát határoztuk meg. Az E és B hőállósági osztályú szigetelési rendszerek élettartama nem érte el a 20 000 h-t. Az E osztály esetében a meghibásodás valamennyi motoretten a poliamid bázisú zománchuzaloknál jelentkezett. A B osztályú szigetelési rendszerek közül kettőben a horonyszigetelés volt a rendszer gyenge pontja, függetlenül attól, hogy a szigetelés az egyik esetben üvegvarnisból, míg a másikban prespánra kasírozott tereftalát fóliából (Triflexil) készült. Ugyanakkor fázisszigetlésként az üvegvarnis kifogástalannak bizonyult. Ez a tény is alátámasztja azt az előbbi megállapításunkat, hogy az anyagkomponensek vizsgálata nem pótolhatja a szigetelési rendszerek élettartam-vizsgálatát. A harmadik, B osztályú rendszerben csaknem kivétel nélkül a tereftalát bázisú zománchuzalokon következett be az átütés, ami viszont e huzaltípus változó minőségére utal.

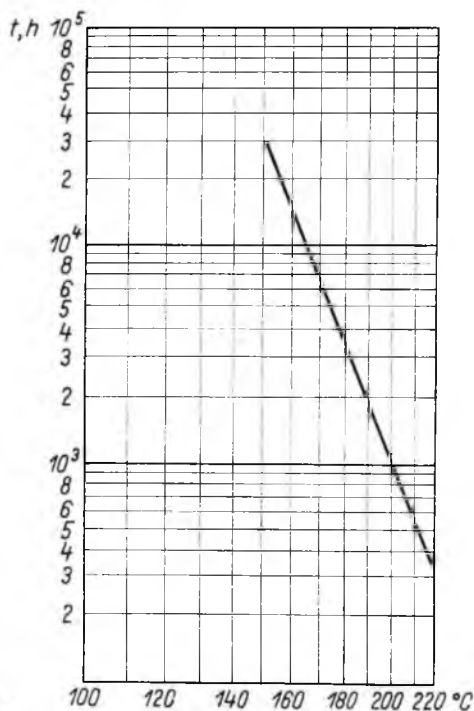
A két F hőállósági osztályú rendszer közül az egyik csak 135 °C-nál, míg a másik 151 °C-nál érte el a 20 000 h élettartamot. Az egyik rendszer csak a biztosított üzemi B osztálynak, míg a másik egy jó minőségű BF osztálynak felelt meg. A rendszerek gyenge pontjának az esetek túlnyomó többségében az észterimid bázisú zománchuzal mutatkozott. A BF, ill. FH hőállósági osztályú szigetelési rendszerek mutatták a legjobb eredményeket. A megvizsgált három BF osztályú rendszer közül kettőt az F hőállósági osztály szerinti igénybevételi hőmérsékleteken vizsgáltunk meg, míg a harmadik esetében a B és az F hőállósági osztályok vonatkozó hőmérsékleteinek számtani középértékét vettük.

A 3-3. ábra a három BF szigetelési rendszer élettartamgörbéjét mutatja. Az 1 és 2 diagram az F hőállósági osztály szerint vizsgált szigetelési rendszerek élettartamát ábrázolja. Az 1 diagram szerint a szigetelési rendszer a 20 000 h-s élettartamot már 150 °C-on eléri, tehát mindenféleképpen megfelel a BF osztállyal szemben támasztott követelményeknek, és messzemenően elegendet tesz a biztosított üzemi B osztálynak, hiszen 130 °C-on az élettartama jóval meghaladja a 20 000 h-t.

Figyelemreméltó, hogy a rendszer tekerceslési anyaga tereftalát zománchuzal volt. Bár ez bizonyult a rendszer gyenge pontjának, a viszonylag nagy hőigénybevétel miatt azonban ez is megfelelt az előírt kívánalmaknak.



3-3. ábra. BF hőállósági osztályú szigetelési rendszerek élettartam-diagramjai



3-4. ábra. FH hőállósági osztályú szigetelési rendszer élettartam-diagramja

A másik szigetelési rendszer a 20 000 h élettartamot 139 °C-on érte el (2 diagram). Ez ugyan nem felel meg teljesen a BF osztálynak, de mindenképpen elegendet tesz a biztosított üzemi B osztály követelményeinek, mivel 130 °C-on az élettartam jóval meghaladja a 20 000 h-t. E rendszerben minden esetben a zománchuzalok hibásodtak meg. Érdekes kísérletként itt az alsó tekerces tereftalát zománchuzalból, míg a felső észterimid zománchuzalból készült. A meghibásodásnak kb. 80%-a az előbbi és 20%-a az utóbbi zománchuzalra esett. A 3 diagram annak a szigetelési rendszernek az élettartamát ábrázolja, amelynek az igénybevételi hőmérséklete a B és az F osztály számtani középértékeinek felelnek meg. A 20 000 h-s időtartamhoz tartozó hőmérséklet ebben az esetben 135 °C, ami a biztosított üzemi B hőállósági osztálynak igen jól megfelel. A tekerceslési anyag tereftalát zománchuzal volt. E szigetelőtípusnál jelentkezett a meghibásodások kb. 45%-a, ami az előző, hasonló felépítésű rendszerekhez

képezt határozott javulást mutat. A meghibásodások 53%-a a prespánra kasírozott műanyagfólia horonyszigetelésen (Melinex) következett be. Elsősorban tehát e helyett kell jobb minőségű szigetelőanyagot alkalmazni, ha az élettartamot tovább akarjuk növelni, ill. ha a BF hőállósági osztálynak megfelelő nagyobb hőmérsékleten is el akarjuk érni a 20 000 h-s élettartamot.

Az FH hőállósági osztályú szigetelési rendszer élettartamegyenese látható a 3-4. ábrán. E rendszer vizsgálatai során nem kaptunk olyan jó eredményeket, mint a BF osztályú rendszerek esetében. A regressziós egyenes extrapolálásával a 20 000 h-s folyamatos üzemhez tartozó hőmérséklet éppen 155 °C-nak adódott. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált rendszer F hőállósági osztályban még alkalmazható, azonban az FH hőállósági osztályra jellemző 168 °C-hoz csak 8000 h-s élettartam tartozik, ami messze alatta marad a követelményeknek. A meghibásodások 97%-a a zománchuzalok között következett be, tehát a rendszer gyenge pontjának az észterimid zománchuzal mutatkozott. Ez egyébként a zománchuzalok élettartamának meghatározásakor is tapasztalható volt. Az impregnálás az egyes öregítési hőmérsékletre tartozó élettartamokat sokszor 50%-kal is lerontotta. Alaposabban vizsgálva, azt tapasztaltuk, hogy az impregnálóakk kikeményedés után igen rideggé vált. Ennek következtében a motorok rázóigénybevételekor az impregnálóakkban hajszálrepedések keletkeztek és a nedvesítés alatt beszívargott víz nagymértékben rontotta a feszültségállóságot.

#### 4. Összefoglalás

Amint azt már említettük, a szigetelési rendszerek élettartamának meghatározása, az ezzel kapcsolatos korszerű vizsgálati módszerek kutatása, kialakítása mind műszaki, mind gazdasági szempontból rendkívül fontos. Ennek jelentőségét világszerte felismerték. A fejlett ipari államok igen nagy erőfeszítéseket tesznek a vonatkozó fejlesztési munkák hatékony meggyorsítására. A problémák természetesen nemcsak az erőáramú ipart és ezen belül nemcsak a kis villamos forgógépeket érintik, hanem jóformán valamennyi iparágat, mert villamos berendezésekkel szinte az élet minden területén találkozunk.

Szeretnénk azt is hangsúlyozni, hogy az élettartam-vizsgálatok nemcsak a rendszert felépítő anyagi komponensek összeférhetőségére, hanem a rendszer gyártástechnológiájának esetleges gyengeségeire is rávilágítanak.

A sokrétű, szerteágazó feladatok, költségkihatásaik és a különböző területeken szerzett tapasztalatok egybevetése komoly nemzetközi összefogást tesznek szükségessé. Ezt támasztja alá az a körülmény is, hogy az IEC keretén belül külön műszaki bizottság alakult a felmerült problémák megoldására. Az IEC TC 63-nak hazánk is tagja. Munkánk azonban csak úgy lehet eredményes — legalábbis az erőáramú ipar vonatkozásában —, ha a kutatások a közép- és nagy gépekre, a transzformátorokra és készülékekre is minél hamarabb kiterjednek. Az érdekelt gyáraknak össze kell fogni az illetékes kutatóintézetekkel, hogy kísérleti munkák végzésével, közös javaslatok kidolgozásával hatékonyan kapcsolódjanak be a nemzetközi munkába.

\*

Végül köszönetünket kell kifejeznünk az Egyesült Villamos Forgógépgyár műszaki vezetőinek és szakembereinek, akik az elmúlt évek alatt és jelenleg is hatékonyan támogatják e problémakörrel kapcsolatos fejlesztési munkánkat.



# 4.

## Tokozott villamos berendezések mikroklímája nedves-meleg környezet esetén

*SULYOK JÓZSEF*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A jelen munkában ismertetett kísérletekkel arra kerestünk választ, hogy a tokozott villamos berendezésben alkalmazott szigetelőanyagra milyen mikroklíma hat, ha a külső környezet nedves-meleg, s a vízgőz diffúzióját a mikrotérbe a tokozás zártági hibája, vagy éppen a tudatosan kiképzett nyílás lehetővé teszi.

Meghatároztuk a zártági hibás tokozás modelljének átviteli függvényét, amely leírja a mikrotérben a vízgőzkoncentráció időbeni alakulását.

A modellekben elhelyezett szigetelőanyagok viselkedése alapján egyrészt megismertük a különböző zártági hibák hatását a szigetelőanyag nedvesedésének mértékére vonatkozóan, másrészt jellemző viszonzyszámok képzésével matematikailag is megfogalmaztuk a különböző zártágú mikroterek klímájának szigorúságát.

A kísérleti görbék a gyakorlatban közvetlen is felhasználhatók.

### МИКРОКЛИМАТ В ФУТЛЯРОВАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ, ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕПЛО ВАЖНОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*И. Шуйок*

#### Резюме

В процессе исследований описанных в настоящей статье мы старались найти ответ на вопрос, какой микроклимат действует на изолирующий материал, используемый в футлярованных электрических устройствах, если внешнее окружение влажное и теплое, а диффузия водяных паров в микропространстве становится возможной в результате негерметичности (дефекта) корпуса или как раз нарочно созданного отверстия.

Была определена «передаточная функция» модели корпуса, имеющей дефект по герметичности, описывающая изменение во времени концентрацию водяных паров в микропространстве.

На основе поведения изолирующих материалов, расположенных в моделях мы с одной стороны ознакомились с влиянием дефектов герметичности относительно степени увлажнения изолирующих материалов, а с другой стороны мы и математически определили строгость герметичной закрытости климата различных микропространств.

Опытные графики могут быть использованы и в непосредственной практике.

### DAS MIKROKLIMA VON ELEKTRISCHEN EINRICHTUNGEN IN GEKAPSELTER AUSFÜHRUNG IN FEUCHTWARMER UMGEBUNG

*J. Sulyok*

#### Zusammenfassung

Man war bestrebt, mit den Versuchen, die in der vorliegenden Arbeit beschrieben werden, eine Antwort darauf zu finden, was für eine Mikroklíma sich auf das Isoliermaterial der gekapselten elektrischen Einrichtungen in feuchtwarmer Umgebung

auswirkt, falls die Diffusion des Wasserdampfes in den Mikroraum infolge von Hermetisierungsfehlern der Kapselung oder eben durch absichtlich hervorgerufene Öffnungen ermöglicht wird.

Es wurde die „Übertragungsfunktion“ des Kapselungsmodells mit dem Hermetisierungsfehler berechnet, die eine Aussage über den zeitlichen Verlauf der Wasserdampfkonzentration im Mikroraum vermittelt.

Aufgrund des Verhaltens der Isoliermaterialien im Modellklima konnte die Wirkung der verschiedenen Hermetisierungsfehler auf die Feuchtigkeit des Isoliermaterials festgestellt werden, und durch die Bildung charakteristischer Verhältniszahlen wurde auch der Schärfegrad der Mikroräume verschiedener Hermetisierung mathematisch erfasst.

Die Versuchskurven können in der Praxis auch unmittelbar angewandt werden.

## MICROCLIMATE OF ENCAPSULATED ELECTRICAL EQUIPMENT UNDER DAMP HEAT AMBIENT CONDITIONS

*By J. Sulyok*

### Summary

The experiments described in the paper have been performed to find an answer to the question of what microclimate is acting on insulation materials used in encapsulated electrical equipment when diffusion of the ambient damp heat atmosphere and water vapour into the micro-space is permitted to take place through leaks of enclosure or through openings deliberately provided.

For an enclosure suffering from such a leak the “transfer function” has been established by which the variation of water – vapour concentration as the function of time taking place within the tested micro-space is described.

On the basis of the behaviour of insulating materials enclosed in the model, the effect of the various kinds of leaks on the degree of wetting of the insulating material could be explored and, moreover, the severity of climates within differently enclosed microspaces has been mathematically formulated by developing characteristic relative figures.

The experimental curves lend themselves to direct application in practice.

### 1. Bevezetés

A villamos berendezések jelentős része tokozott. A tokozás célja a berendezés alkatrészeinek és az egész berendezésnek a védelme külső behatásokkal szemben, ugyanakkor természetesen a környezet védelme is a berendezés működéséből eredő káros hatásoktól.

A tokozott berendezés és környezetének kapcsolata igen összetett. E kapcsolat vizsgálata során vizsgálódásunk központi szereplője a tokozott villamos berendezés belsejében levő, különböző feladatokat ellátó anyag (szigetelő, vezető, szerkezeti anyag) volt. Arra akartunk választ kapni, hogy a tokozott berendezés belső terében mint sajátos „mikrotérben” levő anyagra, a tokozás zársági fokától függően, különböző külső és belső környezeti tényező együttes hatásaként, milyen igénybevétel várható. Kedvezőtlen esetben ugyanis az anyagot ezek az eredő káros hatások teszik alkalmatlanná az alkatrészben betöltendő funkciójára.

A villamos berendezés belső terét, „mikroterét” három alapvető tényező alakítja ki, éspedig:

- a külső környezet agresszív tényezői (külső tényezők, klíma);
- a berendezés belső terében végbemenő fizikai és kémiai folyamatok (belső, üzemi tényezők);



- a környezet és a belső tér között kapcsolatot létesítő tényezők (a tokozás zártsága, a zártsági hibák nagysága).

A villamos berendezések a legkülönbözőbb környezetben dolgoznak, védettségük is különböző, s üzemük, funkciójuk eltérő volta miatt, belső „mikroterükben” is nagyon változatos mikrokörnyezet alakulhat ki.

A speciális esetek sokaságával találkozunk tehát. Ezeket mind megvizsgálni — a lehetőségek korlátozott volta miatt — lehetetlen, de nem is feltétlen szükséges. Először az általánosabb eseteket kell modellezni mind a környezet, mind a berendezés oldaláról. A modellkísérletek lehetőséget teremtenek alapvető törvényszerűségek megismeréséhez, a problémakör modellezésének, vizsgálatának módszeréhez. A feltárt összefüggések mind minőségileg, mind mennyiségileg közvetlen is használhatók.

A mikrotér agresszivitását (mikroklímáját) kialakító, az előbbieken felsorolt tényezők kapcsolatát kísérletsorozattal vizsgáltuk meg. Ebben a cikkben azoknak a kísérleteknek az eredményét foglaltuk össze, amelyeknek során

- a külső környezet a klímavizsgálati gyakorlatban alkalmazott  $40 \pm 2$  °C hőmérsékletű,  $95 \pm 3\%$  relatív légnedvességű, ún. tartós nedves-meleg környezet volt (a villamos berendezések anyagaira oly veszélyes nedves környezet hatásának utánzására szolgáló gyorsított vizsgálati környezetként);
- a környezet és a mikrotér kapcsolatát a tokozás zártsági hibája tette lehetővé, s a két tér közötti kapcsolat lényegét a zártsági hibákon keresztül történő vízgőzdiffúzió jelentette;
- a modellekben a mikroklímát a külső környezet, a zártsági hiba, a belső térben levő, s különböző mértékben nedvesedő anyagok kölcsönösen alakították ki.

Az e munkában megismert kísérletekkel tehát — röviden megfogalmazva — hiányosan zárt tokozású, nedves-meleg környezetben hosszabb ideig nem üzemelő villamos berendezés esetét modelleztük.

## 2. A mikrotér modellezése és az átviteli függvény

Ha a külső és belső tér kapcsolatában elsősorban az anyagátadási problémákat vizsgáljuk (vígőz-, légszennyeződések diffúziója), akkor a mikrotér állapota, valamilyen külső környezet hatására történő megváltozásának leírásához a következő modelljellemzőket használjuk:

- $V$  a berendezés tokozását modellező edény belső terének nagysága (mikrotér nagysága);
- $F$  a tokozás zártsági hibájának nagysága, amely akár állandó, akár változó nyílásként lehetővé teszi a külső környezet behatolását, általában az anyagátadást a külső és belső tér között;
- $L$  az  $F$  felületű és különböző alakú nyílás fajlagos vezetőképessége, valamely adott közeggel történő anyagátadás folyamán, esetünkben vízgőz diffúziója esetén. Az  $L$  fajlagos vezetőképesség azt a diffúziós áramot jelenti, amely egységnyi felületen, a külső és belső tér közötti egységnyi vízgőzkoncentrációkülönbség hatására jön létre.

$$L = \frac{J}{\Delta c} = \frac{q}{Ft \Delta c} \frac{m}{h}, \quad (1)$$

ahol  $J$  a diffúziós áram, g/h m<sup>2</sup>;

$q$  a  $t$  idő alatt az  $F$  felületen átáramló nedvesség, g;

$t$  az idő, h;

$F$  a zártsági hiányosság felülete, melyen a diffúzió történik, m<sup>2</sup>;

$\Delta c$  a külső és belső tér közötti vízgőz-koncentráció különbsége, g/m<sup>3</sup>;

(Kísérleteink szerint a modell falvastagságának szerepe a vizsgált  $F$  tartományban jelentéktelen, ezért csak a zártsági hiba  $F$  felületével számoltunk.)

A mikrotérben a vízgőz-koncentráció átlagos értékének megváltozása  $dt$  idő alatt, ha a külső tér vízgőz-koncentrációja  $c_0$  állandó:

$$dc = \frac{dq}{V} = \frac{JF}{V} dt = \frac{LF \Delta c}{V} dt = \frac{1}{T} \Delta c dt = \frac{1}{T} (c_0 - c) dt,$$

átrendezve a

$$\frac{dc}{c_0 - c} = \frac{1}{T} dt \quad (2)$$

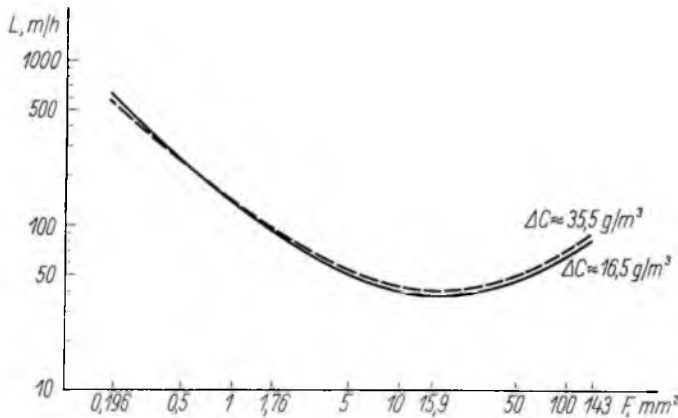
differenciálegyenletet kapjuk. A differenciálegyenlet megoldása, ha  $t = 0$ -nál  $c = c_1$ ,

$$c(t) = c_0 - (c_0 - c_1) e^{-\frac{t}{T}}, \quad (3)$$

ahol  $c(t)$  a vízgőz-koncentráció a  $t$  időpillanatban;

$c_0$  a külső tér vízgőz-koncentrációja (állandó);

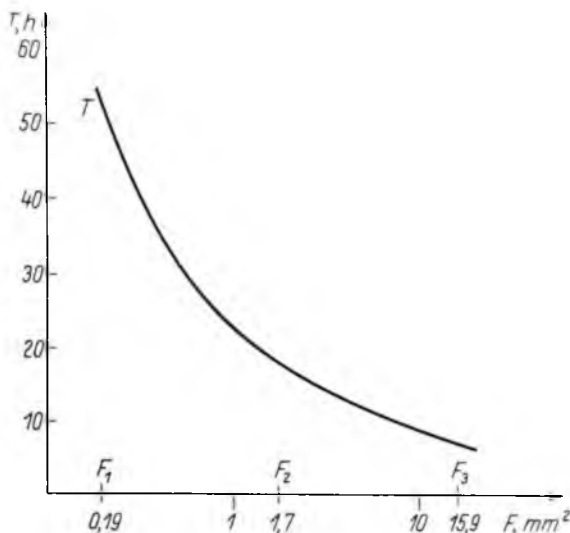
$T = V/LF$  a modell időállandója, a rendszer jellemzője.



4-1. ábra. A zártsági hiba  $L$  fajlagos vezetőképessége az  $F$  zártsági hiba felületének függvényében, ha a  $\Delta c$  vízgőzkoncentráció-különbség a külső környezet és a modellek mikrotérei között állandó

Az  $L$  fajlagos vezetőképességet vízgőz—levegő rendszer esetére a 40 °C vizsgálati hőmérsékleten, diffúziós kísérletekkel állapítottuk meg. A 4-1. ábrán az  $L = f(F)$  összefüggést ábrázoltuk. Látható, hogy  $L$ , fajlagos volta ellenére is, függ  $F$ -től, mégpedig igen jelentős mértékben. A 4-2. ábrán a  $T = V/LF$  időállandót ábrázoltuk a modell zártságának függvényében.

A diffúziós kísérletekre és az  $L(F)$  összefüggés alakulásának elvi magyarázatára itt nem térhetünk ki. A jövőben ezzel foglalkozni kívánunk és javaslatot teszünk olyan módszerre is, amellyel konkrét tokozás időállandójának közelítő értéke meghatározható.



4-2. ábra. A  $V = 6,5 \text{ dm}^3$  térfogatú modellek  $T$  időállandója az  $F$  zártsági hiba felületének függvényében, ha a külső környezetben a vízgőzkoncentráció  $c_0 = 50 \text{ g/m}^3 = \text{áll}$

A vizsgált modell alumíniumból készült  $6,5$ , ill.  $3,3 \text{ dm}^3$  térfogatú, kocka alakú,  $2 \text{ mm}$  falvastagságú edény volt. A zártsági hibát az edény falába koncentrikusan fűrt  $F$  felületű lyuk jelképezte.

### 3. A mikrotér szigorúsága a szigetelőanyagok és a nedvszívó anyag nedvesedése alapján

A mikrotérben a vízgőz koncentrációja adott, állandó hőmérsékleten maximális vízgőz-koncentrációjú külső tér esetén — mint láttuk — a (3) összefüggés szerint alakul. Ez az összefüggés azonban csak akkor érvényes, ha a belső térben nincs nedvességet felvevő vagy leadó anyag. A villamos berendezésekben azonban nedvességre érzékeny szigetelőanyagok vannak, s ezek adszorbeálják, ill. abszorbeálják a nedvességet. Az olyan folyamatokban, amelyeknek során a külső környezet a mikrotérbe behatol (diffúzió), a szigetelőanyagok „nyelőként”, kifelé irányuló anyagátadás esetén „forrásként” szerepelnek. A szigetelőanyag nyelő, ill. forrás szerepe igen különböző: függ az anyag szorpciós tulajdonságától, a fajlagos anyagmennyiségtől stb.

A mikrotér nedvességtartalmának időbeni alakulását, és főleg, a számunkra elsősorban fontos kérdésnek, a mikrotérben levő szigetelőanyagok nedvesedési folyamatának matematikai megfogalmazása csak egy-egy egyszerű gyakorlati esetre lehetséges. Olyan modellkísérletekre van tehát szükség, amelyek segítségével a törvény-

szerűségek minőségi oldalainak megismerése mellett mennyiségi következtetések is lehetővé válnak, azaz a szigetelőanyagok várható viselkedését a legjobb közelítéssel becsülni lehet.

A modell mikroterében, nedvességfelvevő képességgel rendelkező anyagok esetében kialakuló klíma szigorúságának vizsgálatára három egymáshoz kapcsolódó kísérletet végeztünk el:

- először megvizsgáltuk, hogy a szigetelőanyag nedvességre érzékenyen reagáló kapacitásának folyamatos mérésével hogyan követhető a mikrotér nedvességtartalmának időbeni változása, vagy más oldalról nézve, hogy a modellek mikroklimájának szigorúságát a kapacitás változásának mértéke hogyan jellemzi;
- másodsor azt vizsgáltuk meg, hogy a különböző zártságú modellekben hogyan alakul egyrészt a kimondottan nedvszívó anyag, másrészt a különböző nedvességállóságú, ill. nedvességfelvevő képességű szigetelőanyag vízfelvétele, és hogy a vízfelvétel mértékében hogyan tükröződik a modell mikroklimájának szigorúsága;
- végül, közepes ( $F = 1,7 \text{ mm}^2$ ) zártágú hibájú modell esetében, viszonylag gyengébb nedvességállóságú sajtolóanyaggal megvizsgáltuk azt is, hogy a próbatest mennyisége hogyan hat vissza a mikroklima szigorúságára, vagy az anyag oldaláról nézve, hogy a sajtolóanyag fajlagos vízfelvétele hogyan függ a modellben levő próbatestek számától.

### 3.1 A mikroklima változásának követése kapacitásméréssel

A különböző zártságú ( $F_1 = 0,19$ ,  $F_2 = 1,76$ ,  $F_3 = 19,6 \text{ mm}^2$ ),  $V = 6,5 \text{ dm}^3$  térfogatú modellekbe, viszonylag kedvezőtlen (RPB I) és viszonylag kedvezőbb (RPB IV) nedvességállóságú papírvázaz, rétegelt termékekből készített kapacitásmodelleket (a szigetelőlemezből kivágott korongra ezüstkolloid elektródát festettünk fel) helyeztünk el. A kapacitásmérések eredménye a 4-3. és 4-4. ábrán látható. Az ordinátán a kapacitás fajlagos változását ábrázoltuk:

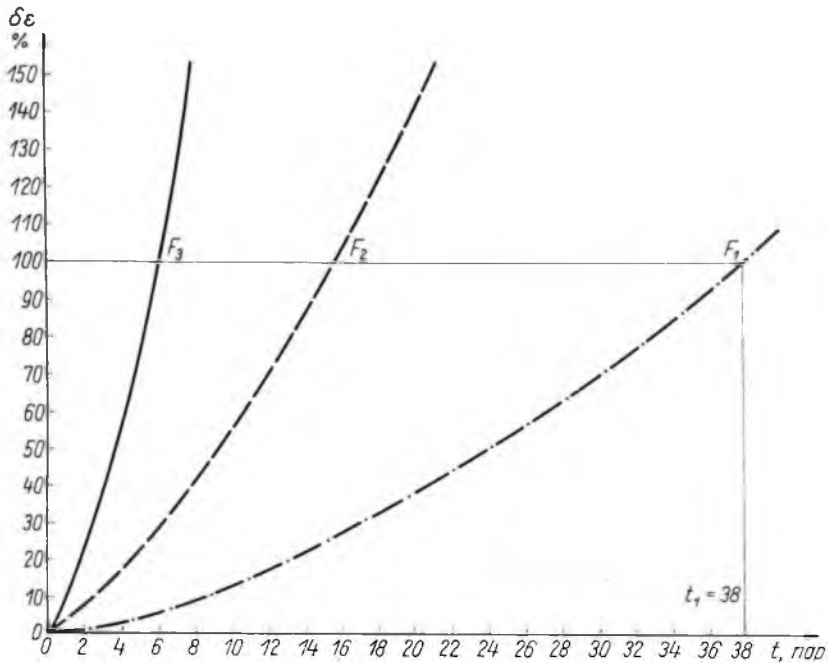
$$\delta\varepsilon = \frac{C - C_0}{C_0}, \quad (4)$$

ahol  $C_0$  a kapacitás kezdeti állapotban ( $55^\circ\text{C}$ -os, 48 h-s kiszáritás után), a modell kb.  $20\%$  relatív légnedvességű terében;

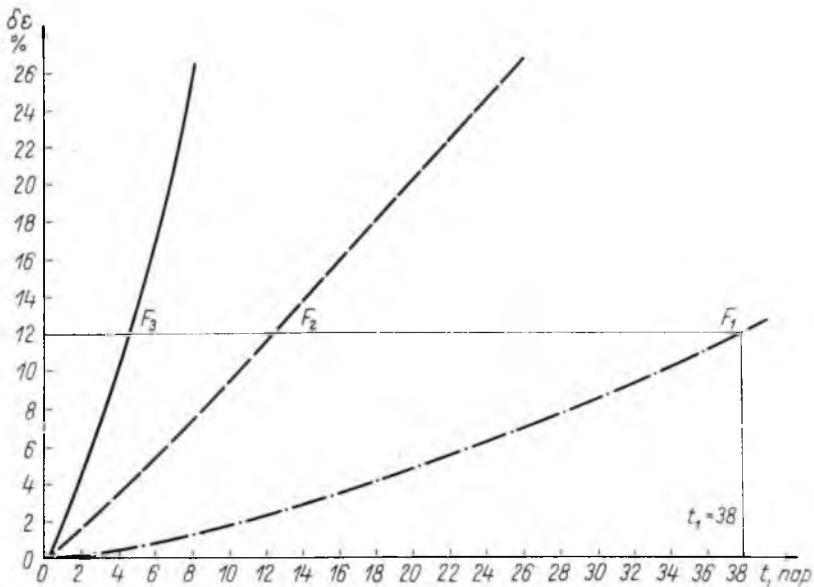
$C$  a kapacitás az igénybevétel alatt, a  $t$  időpontban.

A modellekben kialakult mikroklima szigorúságának jellemzésére

- egyrészt meghatározott  $\delta\varepsilon$  érték esetén összevetettük azokat az időket, amelyek alatt a különböző zártságú modellekben a szigetelőanyagok elérték ezt az értéket,
- másrészt  $t =$  állandó igénybevételi idő után a  $\delta\varepsilon$  értékeket hasonlítottuk össze; továbbá megvizsgáltuk, ugyancsak  $t =$  állandó igénybevételi idő után a  $\delta\varepsilon_x/\delta\varepsilon_0$  viszonyszám függését az  $F$ -től. ( $\delta\varepsilon_x$  a vizsgált modellben mért  $\delta\varepsilon$ ,  $\delta\varepsilon_0$  a modelleken kívül, a  $40^\circ\text{C}$  hőmérsékletű,  $95\%$  rel. légnedvességű térben vizsgált „kapacitásmodell”  $\delta\varepsilon$ -ja.)



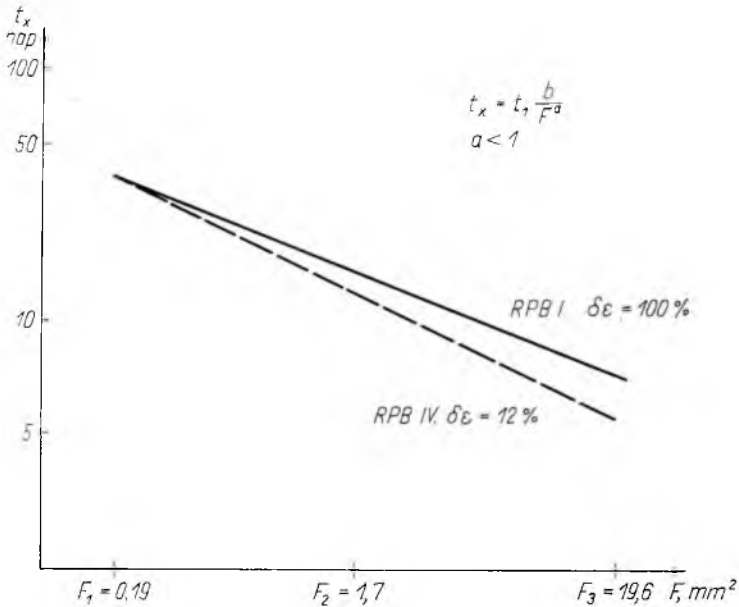
4-3. ábra. Az  $F$  zártsági hibájú modellek mikroterében levő RPB I. típusú rétegelttermék  $\delta\epsilon$  fajlagos kapacitásváltozása a  $t$  idő függvényében  
 $F_1 = 0,196 \text{ mm}^2$ ;  $F_2 = 1,76 \text{ mm}^2$ ;  $F_3 = 19,6 \text{ mm}^2$



4-4. ábra. Az  $F$  zártsági hibájú modellek mikroterében levő RPB IV. típusú rétegelttermék  $\delta\epsilon$  fajlagos kapacitásváltozása a  $t$  idő függvényében  
 $F_1 = 0,196 \text{ mm}^2$ ;  $F_2 = 1,76 \text{ mm}^2$ ;  $F_3 = 19,6 \text{ mm}^2$

A  $\delta\varepsilon = \text{állandóhoz tartozó } t = f(F) \text{ összefüggések}$

$\delta\varepsilon = \text{állandóként}$  az RPB I-nél a  $\delta\varepsilon = 100\%$  értéket választottuk ki. Mínthogy ehhez az értékhez az  $F_1$ -es modellnél  $t_1 = 38$  nap tartozik, az RPB IV-nél a  $t_1 = 38$  naphoz



4-5. ábra. A 4-3. és 4-4. ábra alapján a  $\delta\varepsilon = \text{áll.}-\text{hoz tartozó } t_x \text{ idők és az } F \text{ zártsági hibák közötti összefüggés}$

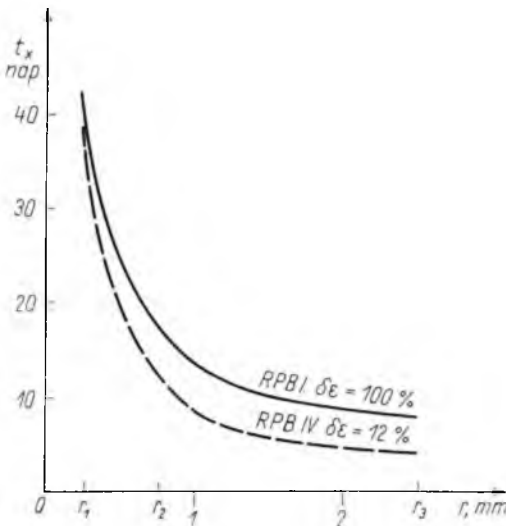
és ugyancsak az  $F_1$ -es modellhez tartozó értéket, a  $\delta\varepsilon = 12\%$ -ot választottuk ki  $\delta\varepsilon = \text{állandóként}$ .

A 4-5. ábrán a  $\delta\varepsilon = 100\%$ , ill. a  $\delta\varepsilon = 12\%$ -hoz tartozó  $t = f(F)$  összefüggést

láthatjuk. A logaritmusos léptékben való ábrázolás, a vizsgált  $F$  tartományban, egyenest ad. Az összefüggés tehát:

$$t_x = t_1 \left( \frac{F_1}{F_x} \right)^a = \frac{b}{F_x^a} \quad (5)$$

A 4-6. ábrán  $t$ -t a zártsági hibát helyettesítő furat  $r$  sugarának függvényében ábrázoltuk. A hiperbolikus jelleg jól megfigyelhető. Az (5) összefüggés kisebb  $\delta\varepsilon$  értékekre is érvényes.



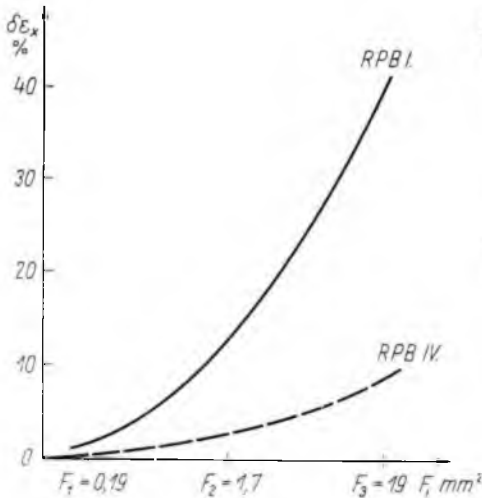
4-6. ábra. A 4-3. és 4-4. ábra alapján a  $\delta\varepsilon = \text{áll.}-\text{hoz tartozó } t_x \text{ idők és az } F \text{ zártsági hibát jelképező lyukak } r \text{ sugarai közötti összefüggés}$

**A  $t = \text{áll. igénybevételi időhöz tartozó } \delta\varepsilon = f(F)$  összefüggések**

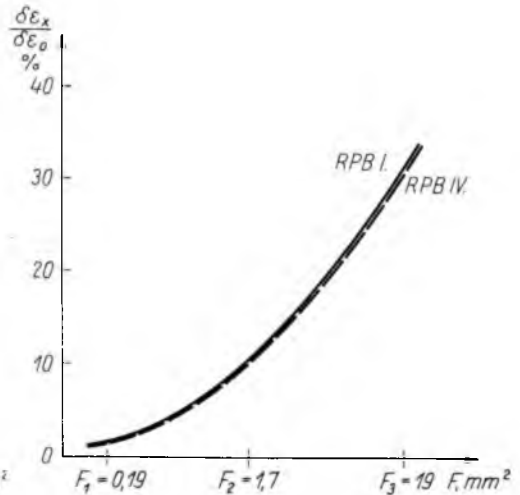
A 4-7. ábrán  $\delta\varepsilon$ -t, a 4-8. ábrán pedig a  $\delta\varepsilon_x/\delta\varepsilon_0$  viszonyszámot ábrázoltuk a modellek  $F$  zártsági hibájának függvényében, 3 nap igénybevételi idő után.

*Megjegyzés:* A modellen kívül vizsgált minták kapacitása nagyon gyorsan változott, és a 3. nap után mérésük már bizonytalanra vált; ezért választottuk  $t = \text{állandó}$ -ként a  $t = 3$  napot.

Érdekes megfigyelni a 4-7. és 4-8. ábrákon, hogy míg a  $\delta\varepsilon = f(F)$  összefüggést ábrázoló görbék a két anyag esetében azonos jellegűek, de eltérően futnak, addig



4-7. ábra. A  $\delta\varepsilon_x$  fajlagos kapacitásváltozás a 3. nap után az  $F$  zártsági hibájú modellekben levő RPB I. és RPB IV. típusú rétegelt termékből készült minták esetében



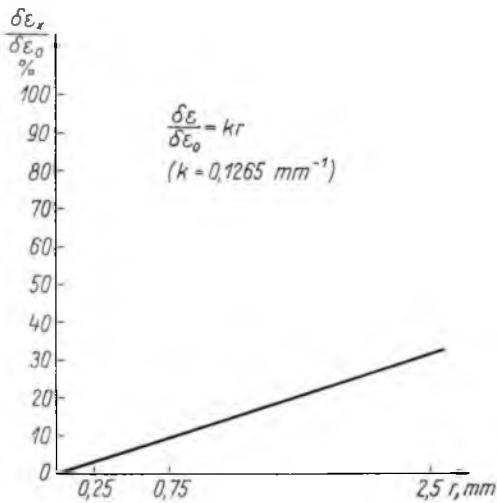
4-8. ábra. A 4-7. ábra  $\delta\varepsilon_x$  értékeinek és a modellek környezetében elhelyezett minták, ugyancsak a 3. nap után mért értékeinek viszonya az  $F$  zártsági hiba függvényében

a  $\delta\varepsilon_x/\delta\varepsilon_0$  viszonyszám  $F$  függvényében a két különböző nedvességállóságú anyag esetén egyformán változik, tehát csak a zártsági hiba nagyságától függ.

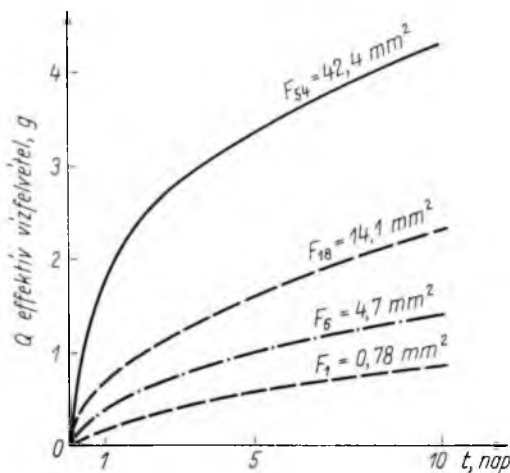
A kapacitásmodellekkel végzett kísérletek alapján összefoglalva megállapíthatjuk, hogy

- szigetelőanyagok kapacitásváltozásának mérésével a mikrotér vízgőzkoncentrációjának alakulása, a vizsgált tartományban jól követhető;
- a  $\delta\varepsilon = \text{állandó}$  értékhez tartozó  $t = f(F)$  összefüggés a vizsgált tartományban, matematikailag, a  $t = b/F^a$  formulával írható le. Az  $a$  törtekitevő a szigetelőanyag minőségétől függ, s értéke csak kísérlettel határozható meg;  $a$  értéke azonban  $\delta\varepsilon < 100\%$ , ill.  $\delta\varepsilon < 12\%$  értékek esetén is ugyanaz;
- a  $t = \text{állandó}$  igénybevételi idő esetén a  $\delta\varepsilon_x/\delta\varepsilon_0 = f(F)$  összefüggést kell vizsgálni, a  $\delta\varepsilon_x/\delta\varepsilon_0$  viszonyszám ugyanis csak a zártsági hiba nagyságától függ, és így a mikroklíma szigorúságát egyértelműen jellemzi.

A  $\delta\varepsilon_x/\delta\varepsilon_0$  viszonyszám és a zártsági hiba nagysága között — az általunk vizsgált tartományban — matematikailag is megfogalmazható a kapcsolat. Ez a kapcsolat,



4-9. ábra. A 4-8. ábra  $\delta \varepsilon_x / \delta \varepsilon_0$  értékeinek az  $F$  zártági hibát jelképező lyukak  $r$  sugarainak függvényében való ábrázolása



4-10. ábra. A különböző  $F$  zártági hibájú modellekben levő 15 g szilikagél  $Q$  vízfelvétele a  $t$  idő függvényében

*Megjegyzés:*  $c_0$  az adott hőmérsékleten telítődési érték,  $c/c_0$  tehát azonos a relatív légnedvességgel. A továbbiakban ezért  $c/c_0$  helyett a  $\varphi$  relatív légnedvességet is használjuk.

A szilikagél adszorpciós görbéjéből (l. 4-12. ábra) azt láthatjuk, hogy a szilikagél  $q/q_0$  fajlagos vízfelvétele függ a  $\varphi$  relatív légnedvességtől. Ugyanakkor tudjuk, hogy  $\varphi =$  állandó esetén az adszorpció sebessége nem végtelen, azaz a szilikagél által felvett vízmennyiség az időnek valamilyen függvénye. A mikrotérben elhelyezett szilikagél  $dq$  vízfelvétele  $dt$  idő alatt tehát a

$$dq = \frac{\partial q}{\partial c} \frac{dc}{dt} dt + \frac{\partial q}{\partial t} dt$$

teljes differenciállal írható le.

ha a  $\delta \varepsilon_x / \delta \varepsilon_0$ -t a zártági hibát jelképező lyuk  $r$  sugarának függvényében ábrázoljuk (4-9. ábra), lineáris összefüggést takar:

$$\frac{\delta \varepsilon_x}{\delta \varepsilon_0} = kr = 0,1265r.$$

Bár ez az összefüggés két, egymástól eléggé eltérő vízfelvételező rétegeltermék-típusra érvényes, mégis célszerű, az összefüggés érvényének tetszőleges szigetelőanyagra való kiterjesztéséhez további — e matematikai összefüggést igazoló — kísérleteket végezni.

### 3.2 Nedvszívó anyag vízfelvétele a különböző zártágú modellekben

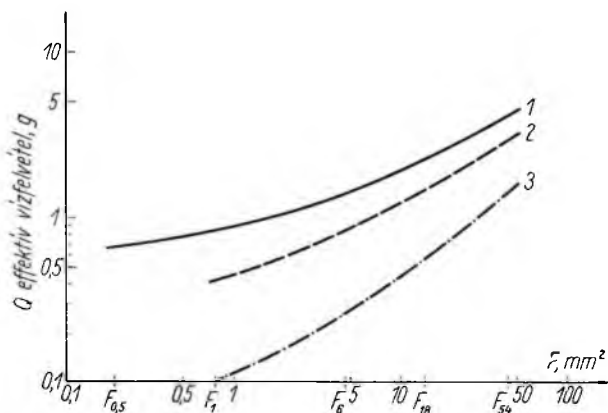
A mikrotérben levő nedvszívó anyagok visszahatása a mikrotér klímájára szélsőséges módon jelentkezik. A „nyelő” szerepet játszó anyag hatását ezért szilikagél segítségével vizsgáltuk meg.

A modell mikroterében elhelyezett szilikagél-töltet (15 g) a modell zártágától függően nedvesedett (4-10. és 4-11. ábra), a nedvesedés időbeni alakulását azonban több tényező dinamikus kölcsönhatása szabta meg.

Minőségi megfontolások céljára érdemes rövid elvi kitérőt tenni. A mikrotér vízgőz-koncentrációjának alakulásában, mint azt a (3) egyenlet is kifejezi, alapvető tényező a zártági hiba  $F$  nagysága,  $L$  fajlagos vezetőképessége és a modell  $V$  térfogata. Ezek értéke független a mikrotérben levő anyagtól.

A vízgőzdifúzió sebességét az  $L$  fajlagos vezetőképesség mellett a mikrotér  $c$  és a külső tér  $c_0$  vízgőz-koncentrációjának különbsége határozza meg,  $c(t)$  alakulásába azonban már beleszól a mikrotérben levő „nyelő”, a szilikagél is.



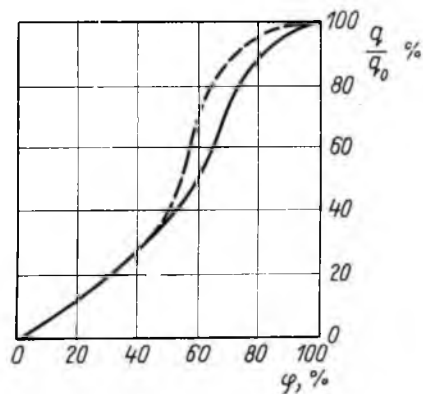


4-11. ábra. A szilikagél,  $Q$  vízfelvétele az  $F$  zártsági hiba függvényében. A görbék a 4-10. ábra alapján készültek

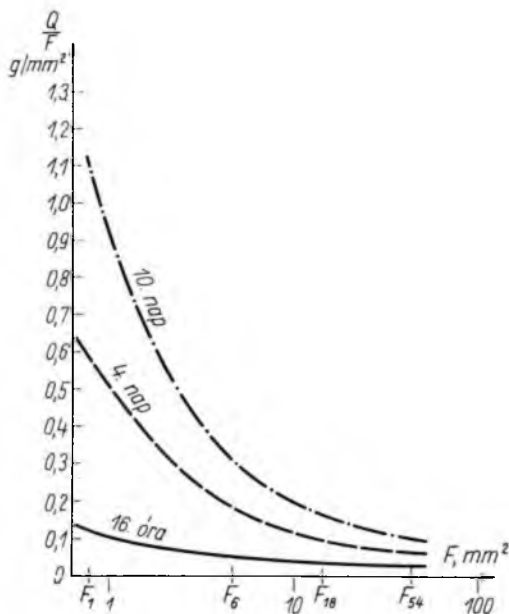
1 a 10. nap után; 2 a 4. nap után; 3 16 óra után

A mikroteret kialakító „külső” tényezők a szilikagél adszorpciójának mechanizmusából adódó „belső” tényezők dinamikus kölcsönhatása alakítja végsősoron mind a szilikagél nedvesedésének, mind a mikroteret vízgőz-koncentrációjának időbeni lefolyását.

Sem a szilikagél tartalmazó mikroterének, sem pedig a szilikagél nedvesedési folyamatának matematikai megfogalmazása itt nem cél. Ezzel az elvi kitérével az egész probléma összetettségét kívántuk csak érzékeltetni, s a modellezés szükségességét újból alátámasztani, a később ismertetett szigetelőanyag-vizsgálatoknál ugyanis a lényeg azonos és szigetelőanyagokra még kevésbé egyértelmű és ismert a  $q = f(c, t)$  összefüggés.



4-12. ábra. A szilikagél adszorpció görbéje  $q$  1 g szilikagél vízfelvétele;  $q_0$  1 g szilikagél vízfelvételenek telítődési értéke;  $\varphi$  a levegő relatív légnedvessége



4-13. ábra. Az  $F$  zártsági hiba egységnyi felületére jutó  $Q$  vízfelvétel alakulása a 4-11. ábrából nyert értékek alapján

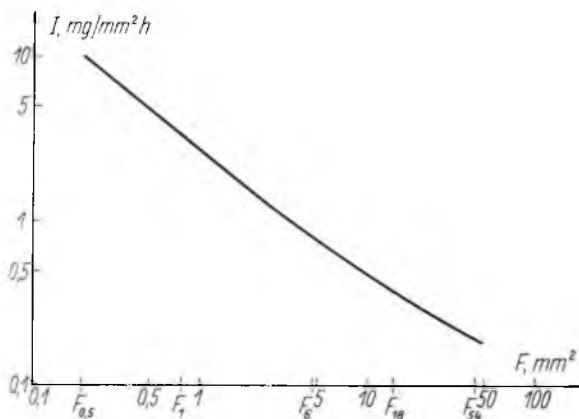
A szilikagélnek mint szélsőséges nedvszívó anyagnak a visszahatása a mikrotér vízgőz-koncentrációjának időbeni alakulására — az előbbieken ismertetett tényezők dinamikus kölcsönhatása folytán — várhatóan a következő:

azonos szilikagéltöltet a kisebb zártági hibával készült modellekben,  
nagyobb szilikagéltöltet azonos zártági hibával készült modellekben

viszonylag tovább tart fenn alacsonyabb légnedvességértéket, tehát nagy  $\Delta c$ -t, növelve ezzel a diffúzió sebességét. A szilikagéllel végzett vizsgálatok eredménye a 4-10. és 4-11. ábrákon látható.

A 4-13. ábrán a zártági hiba egységnyi felületére jutó vízfelvétel alakulását ábrázoltuk  $F$  függvényében. Az ábrából láthatjuk, hogy a modellek mikroterébe diffúzió útján bejutó és a szilikagél által felvett nedvesség mennyisége nem egyenesen arányos a zártági hiba nagyságával.  $Q/F$  kisebb  $F$ -ek irányába növekszik, s változása az igénybevételi idő növekedésével egyre nagyobb.

Ha a 4-10. ábrán látható görbék közelítőleg lineáris szakaszán kiszámítjuk a „vízgőzáramot” és ábrázoljuk  $F$  függvényében (l. 4-14. ábra), akkor ugyancsak azt tapasztaljuk, hogy a vízgőzáram a kis  $F$ -ek irányába haladva növekszik.



4-14. ábra. A modellek  $F$  zártági hibáján keresztül végbe­menő vízgőzdiffúzió  $I$  árama az  $F$  zártági hiba függvényében; a 4-10. ábrán szereplő görbék lineáris szakasza alapján kiszámítva az  $I$  áramot

Ez a tény összhangban van a 4-1. ábrán látható  $L$  fajlagos vezetőképesség alakulásával. Emellett az is magyarázza azt a jelenséget — amint azt már az előzőekben jeleztük —, hogy a kisebb zártású modellekben a szilikagél tovább képes fenntartani kisebb vízgőz-koncentrációt, hosszabb időn át fenntartva ezzel az ahhoz tartozó nagyobb diffúziós áramot.

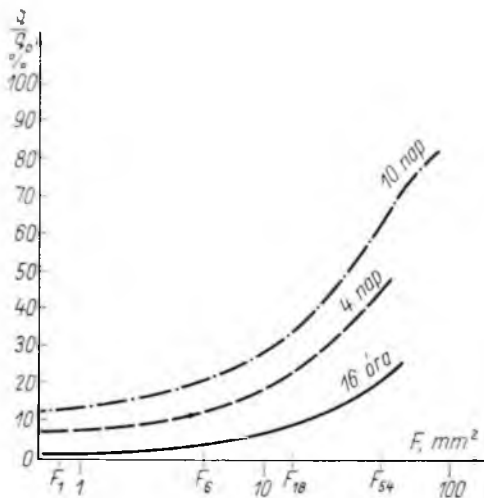
A 4-15. ábrán a  $q/q_0$  viszonyszám változását ábrázoltuk az  $F$  függvényében. ( $q = 1$  g a szilikagél által felvett vízmennyiség valamely modellben,  $q = 1$  g a szilika­gél maximális vízfelvétele, azaz telítődési értéke, a modell környezetében.)

A görbék a szilikagél adszorpciós görbéjéhez hasonlóan futnak (vö. a 4-12. és 4-15. ábrákat). Az adszorpciós görbe minden egyes  $q/q_0$  értékéhez egy-egy egyensúlyi  $\varphi$  relatív légnedvességérték tartozik. Így tehát a 4-15. ábrán a  $q/q_0$  értékek az illető

modellben várható egyensúlyi relatív légnedvesség-értéket is jelzik (konkrét esetre vonatkozóan).

Összefoglalva megállapítottuk, hogy a szilikagéllel végzett kísérletek eredményei

- minőségileg alátámasztották a diffúziós kísérletek során tapasztaltakat, nevezetesen azt, hogy a zártsági hiba  $L$  fajlagos vezetőképessége függ a zártsági hiba  $F$  nagyságától;
- szélsőségesen nedvszívó anyag eseteként bemutatják a nedvszívó anyag „nyelő” szerepét, visszahatását a mikroklímára, emellett lehetővé teszik a különböző zártságú modellek mikroklímája szigorúságának jellemzését is;
- módot nyújtanak ezenkívül olyan számítási módszer további kidolgozására, amellyel a szárítóként használt szilikagél mennyiségét, hatékonyságának idejét stb. meg lehet határozni.



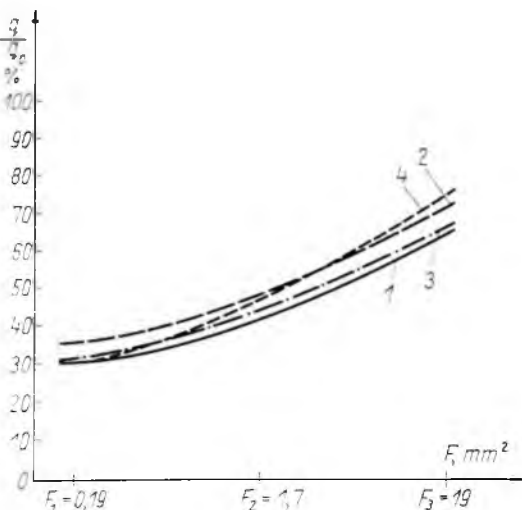
4-15. ábra. Az  $F$  zártsági hibájú modellekben levő 1 g szilikagél  $q$  vízfelvétele a 100%-os relatív légnedvességű külső térben levő 1 g szilikagél  $q_0$  max. vízfelvétele  $\%$ -ában, különböző  $t = \text{áll. időknél}$ , az  $F$  zártsági hiba függvényében

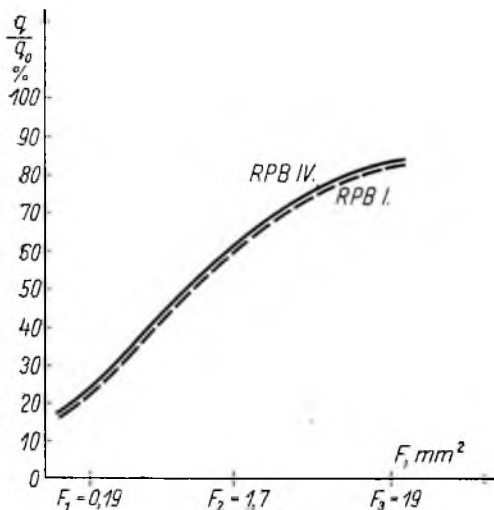
### 3.3 Különböző nedvességállóságú szigetelőanyagok vízfelvétele a modellekben

A 4-16. ábrán különböző nedvességállóságú szigetelőanyagok (Prespán, Prespán impregnálva, RPB I és RPB IV papírvázás rétegelt termék) vizsgálati eredményeit dolgoztuk fel. A különböző zártsági hibával ( $F_1 = 0,19$ ,  $F_2 = 1,76$ ,  $F_3 = 19,6$   $\text{mm}^2$ ) készült  $V = 6,5$   $\text{dm}^3$  térfogatú modellek 56 napig voltak a  $40^\circ\text{C}$  hőmérsékletű, 95% relatív légnedvességű térben. A szigetelőanyagoknál is a  $q/q_0$  alakulását vizsgáltuk meg. ( $q$  a szigetelőanyag fajlagos vízfelvétele valamely modellben,  $\text{mg}/\text{dm}^2$ ;  $q_0$  a modellen kívül, a nedves-meleg környezetben vizsgált próbatestek fajlagos vízfelvétele.)

4-16. ábra. Az  $F$  zártsági hibájú modellekben levő szigetelőanyagok  $q$  vízfelvétele a külső környezetben, 100%-os relatív légnedvesség esetén mért  $q_0$  vízfelvétel  $\%$ -ában, 56 nap igénybevételi idő után

1 prespán, 2 impregnált prespán, 3 RPB I. rétegelt termék, 4 RPB IV. rétegelt termék



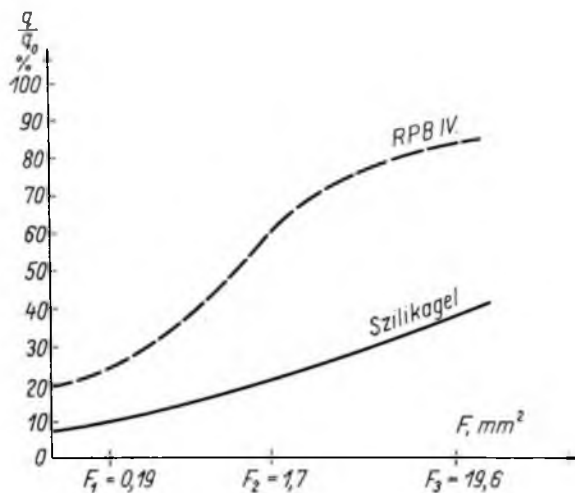


4-17. ábra. Az  $F$  zártági hibájú modellekben levő RPB IV. tip. és RPB I. tip. rétegelt termék  $q$  vízfelvétele a külső környezetben 100%-os relatív légnedvesség esetén mért  $q_0$  vízfelvétel %-ában, 14 nap igénybevételi idő után

Érdekes megfigyelni, hogy a viszonylag hosszú igénybevételi idő esetén, s az igen különböző szigetelőanyagokra kapott  $q/q_0$  értékek nem térnek el lényegesen egymástól, tehát elsősorban a zártági hiba nagyságától függenek. A 4-17. ábrán a  $q/q_0 = f(F)$  összefüggést 14 napos igénybevétel után, két rétegelt termék-típusra vonatkozóan ábrázoltuk. Az RPB IV kedvezőbb, az RPB I gyengébb nedvességállóságú rétegelt termék. A két különböző nedvességállóságú anyaghoz tartozó görbék szinte együtt futnak, még inkább alátámasztva azt az előbbi megállapítást, hogy a  $q/q_0$  viszonyszám adott igénybevételi idő esetén elsősorban a zártági hiba nagyságától függ.

A 4-18. ábrán bemutatjuk, hogyan alakul a  $q/q_0 = f(F)$  görbe egy kedvezőbb nedvességállóságú szigetelőanyag esetében és a kifejezetten nedvszívó szilikagélnél, 10 napos igénybevétel után. A szilikagél görbéje alacsonyabb

$q/q_0$  tartományban helyezkedik el, mint a szigetelőanyagé. Ennek az a magyarázata, hogy a  $q/q_0$  viszonyszám esetében a nevezőben levő  $q_0$  érték csaknem telítődési érték, mert a — vízgőz-koncentrációt illetően — végtelen kapacitású külső térben a szilikagél gyorsan eléri a telítődési értéket. Ugyanakkor a modell belső terének vízgőzkapac-



4-18. ábra. A 4-17. ábrán is bemutatott  $q/q_0 = f(F)$  összefüggés alakulása a jó minőségű RPB. IV. tip. rétegelt termék és a kimondottan nedvszívó szilikagél esetében, 10 nap igénybevételi idő után

citása korlátozott, s hiába nagy a szilikagél nedvességkapacitása, ez a diffúziós áram függvényében csak lassan „töltődik fel”, azaz  $q$  lassabban növekszik.

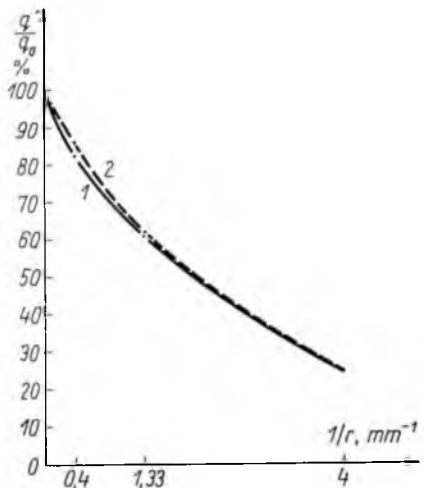
A kis nedvességfelvételű szigetelőanyagnál a „nedvességigény” — különösen a nagyobb zártági hiba esetén — könnyebben kielégíthető, s így a viszonylag kis telítődési érték miatt  $q$  és  $q_0$  közelebb van egymáshoz és viszonyuk az 1-hez. Ezzel magyarázható különböző nedvességállóságú szigetelőanyagok  $q/q_0 = f(F)$  görbéjének eltérése is. Az eltérés azonban két szigetelőanyag esetén lényegesen kisebb, mint valamely szigetelőanyag és a szilikagél esetén. A 4-18. ábra alapján azt az érdekes következtetést is megkockáztathatjuk, hogy a tokozás, nagyobb zártági hiba esetén is, a kisebb nedvességállóságú anyag számára relatíve nagyobb védelmet nyújt.

A szigetelőanyagokkal végzett modellkísérletek eredményét az alábbiak szerint foglalhatjuk össze:

- A szigetelőanyag nedvesedésének folyamata a mikrotérben összetett, bonyolult folyamat, még akkor is, ha azt csak a szigetelőanyag oldaláról vizsgáljuk. A szigetelőanyag  $q$  nedvességfelvétele ugyanis egyrészt a mikrotér  $c$  vízgőz-koncentrációjától, másrészt az anyag komplex vízfelvételi tulajdonságától függ. A  $q = f(c, t)$  függvénykapcsolat azonban a legtöbb szigetelőanyag-típusra ismeretlen. A külső környezetnek, a tokozás zártágának, a mikrotér klímájának és a szigetelőanyag nedvesedésének dinamikus kapcsolata tehát csak modellezéssel vizsgálható meg.
- A mikrotér szigorúságát a  $q/q_0$  viszonyszám jól jellemzi, mivel az elsősorban a zártági hiba  $F$  nagyságától függ.
- A jellegzetes  $q/q_0 = f(F)$  görbéknek a  $q/q_0 = 1$  egyenes aszimptotája, s az általunk vizsgált tartományban inflexiós pontjuk van. A változás ebben az  $F$  tartományban a legintenzívebb.  $q/q_0$  intervalluma a vizsgált  $F$  tartományban, 14 napos igénybevételi idő esetén 20...80%, 56 napos igénybevételi idő esetén 30...70%. A tokozás zártágának jósága tehát hosszabb igénybevételi idő esetén sem elhanyagolható kérdés.
- A  $q/q_0 = f(F)$  kísérleti összefüggés matematikai formulája jó közelítéssel megfogalmazható. Mivel az a képlet csak az adott  $t = \text{áll.}$  igénybevételi időre érvényes, ezért nem ad többet, mint a kísérleti görbe, csak lehetővé teszi az összefüggés minőségi szempontból való jobb megfigyelését.
- Az RPB IV típusú szigetelőanyagra meghatároztuk a kísérleti  $q/q_0 = f(1/r)$  összefüggés tapasztalati formuláját:

$$\frac{q}{q_0} = e^{-\frac{\kappa}{r}} = e^{-\frac{0,36}{r}},$$

ahol  $r$  a zártági hibát jelképező lyuk sugara. A 4-19. ábrán látható mind a kísérleti, mind a matematikai for-



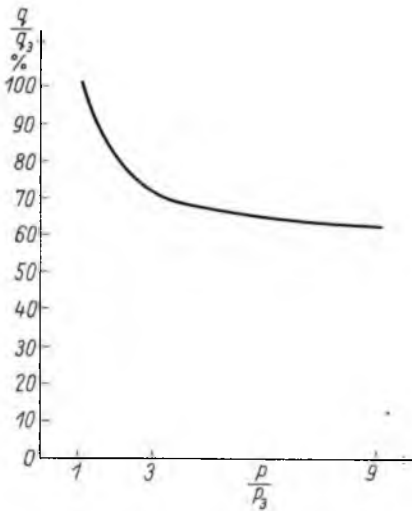
4-19. ábra. A 4-17. ábrán bemutatott görbék alapján a  $q/q_0$  viszonyszám függése az  $F$  zártági hibát jelképező lyuk sugarának reciprokától  
 $1$  a mért értékekből nyert görbe;  $2$  a  $q/q_0 = e^{-\frac{0,36}{r}}$  empirikus összefüggés alapján számított értékekből nyert görbe

mula szerinti görbe. A maximális eltérés, ami az alkalmazott legnagyobb zártsági hibánál lép fel, kb. 5%.

- Ismert zártsági hibával készült tokozás belső terében alkalmazott szigetelőanyagok várható vízfelvétele — a szabványos nedves-meleg vizsgálatok eredménye alapján többnyire rendelkezésre álló  $q_0$  értékek birtokában — a kísérleti  $q/q_0 = f(F)$  görbékből meghatározható.

### 3.4 A szigetelőanyag mennyiségének szerepe

Az  $F_2 = 1,76 \text{ mm}^2$  zártsági hibával készült modellben a mértani sorozat szerint növekvő számú (3, 9, 27 db), viszonylag kis nedvességállóságú sajtolóanyag-próbatestet helyeztünk el. A 14 napos nedves-meleg igénybevétel után megnéztük, hogy a  $q$  fajlagos vízfelvétel ( $\text{mg}/\text{dm}^2$ ) hogyan függ a mikrotérben levő próbatestek számától.



A 4-20. ábrán a  $q/q_3$  viszonyszámot ábrázoltuk a  $p/p_3$  viszonyszám függvényében. ( $q$  a fajlagos vízfelvétel valamely modellben,  $q_3$  a fajlagos vízfelvétel a három próbatestet tartalmazó modellben,  $p$  a próbatestek száma valamely modellben,  $p_3$  3 db próbatest.) Az ábrából láthatjuk, hogy a próbatestszám növekedtével a fajlagos vízfelvétele érték gyorsan csökken, de a változás sebessége nagyobb próbatestszám esetén lelassul. E kísérlet arra hívja fel a figyelmünket, hogy adott tokozott berendezésben elsősorban akkor kell figyelembe venni a szigetelőanyag mennyiségét, ha

- a mikrotér kicsi, azaz légtérének nedvességkapacitása is kicsi;
- a zártsági hiba kicsi;
- a nedves igénybevétel rövid idejű, és ha
- együtt alkalmazunk kedvezőtlen és kedvező nedvességállóságú szigetelőanyagokat.

4-20. ábra. Közepes nedvességállóságú sajtolóanyag  $q$  fajlagos vízfelvételeinek függése a  $p$  próbatestszámtól  $F = 1,76 \text{ mm}^2$  zártsági hibájú modellben, 14 nap igénybevételi idő esetén

$p_3$  3 db próbatest;  $q_3$  fajlagos vízfelvétel a 3 db próbatestet tartalmazó modell esetében

### 4. Főbb kérdések a kísérletek gyakorlati alkalmazásakor

Kísérleteink során nemcsak a tokozást modelleztük, hanem a külső környezetet is. A kísérleti eredmények gyakorlati felhasználásakor a modellkörnyezet és a természetes környezet korrelációjának problémája talán még nagyobb súllyal esik latba, mint a tokozás modellezéséből adódó probléma. A tokozás modellje ugyanis nem „kis-minta”, hiszen a modell térfogata a villamos berendezések tokozásánál gyakorta előforduló térfogatnagyság, s így a valóságos esetet elsősorban a zártsági hiba modellezése egyszerűsíti és talán torzítja.

A vizsgálataink során külső környezetként alkalmazott  $40^\circ \text{C}$  hőmérsékletű és 95% relatív légnedvességű tér a gyorsított laboratóriumi vizsgálatok során alkalma-

zott és a valóságban csak igen ritkán előforduló, magas vízgőz-koncentrációjú tér. A klímavizsgálati gyakorlatban tapasztalati korreláció van a laboratóriumi nedves-meleg igénybevétel szigorúsági foka és az alkalmazási klímaterület között. Pl. *nedves-trópusi alkalmazás* esetén

szabadtéri elhelyezés esetén	56 napos nedves-meleg igénybevétel
fedett téri elhelyezéskor	21 napos nedves-meleg igénybevétel
zárt téri elhelyezés esetén	7 napos nedves-meleg igénybevétel

*mérsékelt égövi alkalmazás* esetén

szabadtéri elhelyezés esetén	21 napos nedves-meleg igénybevétel
fedett téri elhelyezésnél	7 napos nedves-meleg igénybevétel
zárt téri elhelyezés esetén	2 napos nedves-meleg igénybevétel

szükséges a szigetelőanyagok alkalmazhatóságának eldöntéséhez.

A mesterséges nedves-meleg igénybevétel, hatásában — gyakorlati tapasztalatok [1] szerint — 1—1,5 évi természetes klímaigénybevételnek felel meg. A kísérleti eredmények gyakorlati felhasználása során tehát hasonlóan kell eljárunk, mint abban az esetben, amikor adott nedves környezetben vagy klímaterületen alkalmazni kívánt szigetelőanyagok laboratóriumi nedves-meleg klímavizsgálatának eredményét használjuk fel.

Bár e cikkben ismertetett kísérletek elsődleges célja a mikroklíma-kérdéseknek a szigetelőanyagok viselkedésén keresztül bemutatott vizsgálata volt, az alapvető, elvi összefüggések megismerése céljából összefoglaltuk a diffúziós kísérletek eredményét is. Ismertettük azt a diffúziós folyamatot, amelynek révén állandó, magas vízgőz-koncentrációjú térből a légnedvesség a zártsági hibán keresztül bejut a mikrotérbe. A mikrotér vízgőz-koncentrációjának alakulását a (3) összefüggés írja le. Ebben az összefüggésben alapvető jellemző a  $T = V/FL$  időállandó. Az  $L$  fajlagos vezetőképesség nem függ a  $c$  vízgőz-koncentrációtól és a  $V$  térfogattól, de nagymértékben függ a zártsági hiba  $F$  nagyságától (és valószínűleg annak alakjától is).  $L$ -et tehát célszerű kísérlettel meghatározni, közelítő számításokhoz azonban értéke a 4-1. ábrából is kivehető. Mivel  $F$  meghatározása is problémát jelent, célszerű, pl. a [2] munkánkban ismertetett módon, közvetlen a  $T$  időállandó közelítő értékét meghatározni. Mind  $F$ , mind  $T$  meghatározásához alkalmas lehet az IEC 68-2-17 publikációban szereplő valamelyik (pl. [5]) tömítettségvizsgálat is.

Adott tokozás időállandójának ismeretében a (3) összefüggés alapján több fontos minőségi vagy mennyiségi következtetés vonható le. Meghatározható pl., hogy a tokozás mikroterében kialakul-e, és ha igen, mikor, kritikus (70...80%) relatív légnedvesség; vagy pl. hogy adott tokozott berendezés esetén milyen hosszú igénybevételi idő kell a klímavizsgálatok során ahhoz, hogy az alkalmazott szigetelőanyagokon a berendezés funkciója szempontjából megengedett tulajdonságromlás bekövetkezzen stb.

A tokozás  $F$  zártsági hibája ismeretében pedig a  $q/q_0 = f(F)$  összefüggésekből konkrét értékek nyerhetők a szigetelőanyagok várható nedvesedésére vonatkozóan.

A kísérletek alapján megismert törvényszerűségek mindenképpen új ismereteket nyújtanak az e kérdésekkel foglalkozó gyakorlati szakemberek számára a vizsgált folyamatokról, a tokozás védőhatásáról, ill. a zártsági hibák szerepéről, továbbá a kísérleti eredmények segítségét adnak a mikroklímával kapcsolatos kérdések speciális eseteinek további vizsgálatára is.

## 5. Összefoglalás

Az e munkában ismertetett kísérletekkel arra kerestünk választ, hogy milyen mikroklíma hat a tokozott villamos berendezésben alkalmazott szigetelőanyagra, ha a külső környezet tartós nedves-meleg, s a nedvesség behatolását a mikrotérbe a tokozás zártsági hibája vagy éppen a tudatosan kiképzett nyílás lehetővé teszi.

Az anyagokkal végzett kísérletek előtt, az elvi problémák tisztázása céljából, összefoglaltuk a diffúziós kísérletek eredményét, amelyek alapján meghatároztuk a zártsági hibájú tokozás modelljének átviteli függvényét. Az átviteli függvény leírja a vízgőz-koncentráció időbeni alakulását a mikrotérben, állandó vízgőz-koncentrációjú külső környezet esetére.

A modellekben vizsgált szigetelőanyagok viselkedése alapján egyrészt megismertük a különböző hibák hatását a szigetelőanyagok nedvesedésének mértékére, másrészt jellemeztük a különböző zártságú mikroterek klímájának szigorúságát, s végül megvizsgáltuk azt is, hogy adott modell esetében a szigetelőanyag fajlagos vízfelvétele hogyan függ a szigetelőanyag mennyiségétől.

Az elméleti jelentőségű, ill. minőségi következtetésekre alkalmas összefüggések mellett a  $\delta\varepsilon/\delta\varepsilon_0$ , ill. a  $q/q_0$  viszonzyszámok alakulását bemutató görbékből — mint-hogy a 0 indexű értékek mint szabványos értékek többnyire ismeretesek —, adott zártsági hiba esetére a várható konkrét tulajdonságsromlás is meghatározható.

A szilikagéllal mint szélsőségesen nedvszívó anyaggal végzett kísérletek alátámasztották a minőségi összefüggéseket, emellett azonban alkalmasak arra is, hogy segítségükkel kidolgozzuk a villamos berendezések belső terének szárítási módszereit (a szilikagéltöltet szárító hatásának várható ideje stb.), külső nedves környezet esetére.

Kísérleteink során üzemem kívül levő villamos berendezést modelleztünk. Az eredmények tehát egyrészt a berendezés hosszabb üzemem kívüli állapotában (szállítás, raktározás) várható jelenségek megismerésére használhatók fel. Az üzemhatást és egyéb belső tényezők hatását figyelembe vevő kísérleteink eredményeit más munkákban dolgozzuk fel.

### Irodalom

- [1] *Bajew, W. A.—Maslow, W. W.—Orshachowski, M. L.*: Über die Wahl des Verfahrens für die Prüfung von Erzeugnissen in tropengeschützter Ausführung auf Feuchtigkeitsbeständigkeit und über die Faktoren, die das Tempo der Feuchtigkeitsaufnahme der Isolation beeinflussen. INFORMATION Über Probleme des Klimaschutzes. Nr. 1. 1960 März.
- [2] *Sulyok J.*: Fizikai és kémiai kölcsönhatások zárt villamos berendezésekben. VKI zárójelentés, 1972.
- [3] *Sulyok J.—Magyar L.*: Heterogén villamos szigetelő anyagok vízfelvétel—idő függvénye nedves-meleg klímaigénybevételnél. Elektrotechnika 61 (1968) 158.
- [4] *Sulyok J.*: Az alaktényező szerepe papírvázás rétegelt szigetelőanyag vízgőzdiffúziójának folyamatában. Elektrotechnika 62 (1969) 2—3. sz.
- [5] IEC 68—2—17 (1968) Test Qa: Sealing of bushes, spindles and gaskets, normal test.



## 5.

### Vizsgálati módszer a vastagságmenti kötőanyageloszlás meghatározására prepregekben

*H. DR. MAGYAR LAURA—VIZÉR MÁTYÁS*

#### ÖSSZEFOGLALÁS

A villamosipari rétegelt termékek minősége nagymértékben függ attól, hogy az impregnálás során a vázanyag mennyire telítődik műgyantaoldattal.

A telítődés mértékének meghatározására módszert dolgoztunk ki. A módszer lényege az, hogy a lakkkal itatott és ezt követően megszáritott papírt (prepreget) lapjával párhuzamos koptatással — több lépcsőben — elvékonyítjuk és a vékonyított prepreg-égeket acetonnal extraháljuk.

Az extrakciók eredményeiből, a vázanyag, az eredeti és elvékonyított prepreg vastagsági adataiból, valamint a felületegység-súlyokból — a cikkben megadott összefüggések alapján — a gyantatartalom a vastagság függvényében kiszámítható és ábrázolható. A vastagságmenti gyantaeloszlást nátron- és szulfátcellulózpapír—rezolyanta felépítésű prepregekben határoztuk meg.

#### МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ТОЛЩИНЕ СВЯЗЫВАЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА В «ПРЕПРЕГАХ»

*Х. Д-р Л. Мадьяр—М. Визер*

#### Резюме

Качество слоистых изолирующих пластин электрического промышленного назначения в значительной мере зависит от того, насколько насыщается носитель раствором искусственной смолы в процессе импрегнирования.

Мы разработали метод определения насыщенности. Сущность метода заключается в том, что пропитанная лаком и высушенная в последствии бумага (так называемый препрег) путем искусственного изнашивания параллельно плоскости — в нескольких этапах — утончают, и утонченный слой бумаги экстрагируют ацетоном.

По результатам экстракций, из данных по толщине носителя, исходного и утонченного препрега, а также из удельных весов по поверхности — согласно зависимостей приведенных в статье — можно рассчитать и изобразить содержание смол, как функцию от толщины.

Распределение смолы по толщине мы определили для препрегов из натронно- и сульфатно-целлюлозной бумаги с резольной смолой.

#### PRÜFMETHODE FÜR DIE BESTIMMUNG DER BINDEMITTELVERTEILUNG ENTLANG DER DICKE IN PREPREGS

*H. Dr. L. Magyar—M. Vizér*

#### Zusammenfassung

Die Qualität der Schichtpressstoffe der Elektroindustrie hängt in grossem Masse davon ab, wie der Harzträger im Laufe der Impregnierung mit Kunstharzlösung getränkt wird.

Für die Bestimmung des Impregnierungsgrades wurde eine Methode ausgearbeitet. Das Wesentliche der Methode ist, dass das mit Lack impregnierte und danach getrocknete Papier (Prepreg) parallel zur Oberfläche in mehreren Stufen abgerieben wird, und die abgeriebenen Prepregschichten mit Azeton extrahiert werden.

Aus den Extraktionsergebnissen, aus den Dickenwerten des Harzträgers und des Prepregs vor und nach Abreiben sowie aus den Oberflächeneinheitengewichten kann der Harzgehalt in Abhängigkeit von der Dicke – auf Grund der im Aufsatz angegebenen Zusammenhänge – berechnet und dargestellt werden.

Die Harzverteilung entlang der Dicke wurde in Prepregs auf Natron- und Sulfat-Zellulospapier-Resolharz-Basis bestimmt.

## A TEST METHOD FOR THE DETERMINATION OF BINDER-DISTRIBUTION ALONG THE THICKNESS OF PREPREGS

By H. Dr. L. Magyar—M. Vizér

### Summary

The quality of laminated insulations used in electrical industry depends largely on the extent to which the reinforcement is filled with synthetic resin during the impregnation process.

A method has been developed for determining the degree of impregnation. The essence of the method consists of abrading the impregnated and dried paper sample (prepreg) in several steps, parallel to the layers, and extracting the abraded prepreg layers with acetone.

From the results of extractions, from the thicknesses of the reinforcement, initial and abraded prepreg, as well as from the surface unit weights, using the relations given in the paper, the resin content can be calculated and plotted against the thickness.

Resin distributions along the thickness of prepregs consisting of kraft- and sulfate-papers impregnated with resol resin have been determined.

## 1. Bevezetés

A villamosiparban fontos szerepet betöltő papírvázás termékek egyik fő minőségi követelménye az impregnálógyanta egyenletes eloszlása a papírvázanyagban. Ennek biztosítására már az alapanyagokat nagy gonddal választják ki. Különböző ellenőrző vizsgálati előírásokkal kívánják a technológiai körülményeket úgy befolyásolni, hogy az impregnáló gyantaoldat a papír vázanyagba minél jobban behatoljon. Ezek az előírások a papírra vonatkozóan a szívóképesség, a penetrációs idő (l. papíripari házi-szabvány), stb., az impregnáló gyantaoldatra vonatkozóan a tapasztalati úton megállapított viszkozitás, polikondenzációs fok, a  $B$  idő stb. értékeit írják elő.

Mindeddig azonban válaszolatlan maradt az a kérdés, hogy az impregnáló gyantaoldat milyen mélyre hatol be a papírba. Ez esetben nem a hosszmenti szívóképességről van szó, hanem a hossza merőleges irányban az abszorpcióképességről. Ezenkívül eddig ugyancsak nem tudtunk tájékozódni afelől sem, hogy a prepregben a gyanta a vastagság mentén hogyan oszlik el, s végeredményben megfelel-e a követelményeknek.

E két problémakört sikerült az e területen várható pontossággal megoldanunk. Az abszorpcióképességre vonatkozó kísérletek még folyamatban vannak, azért e helyen csak a prepregben való vastagságmenti gyantaeloszlás meghatározását ismertetjük.

## 2. Koncepciók a meghatározáshoz

A meghatározás nyilvánvalóan úgy történhet, hogy a prepreget rétegekre szedjük szét, és ezekben valahogyan megmérjük a gyantatartalmat. A rétegelt termékek területén idevágó, hasznosítható elgondolást nem találtunk. A papíripar foglalkozott hasonló problémával, amikor a papír szerkezetét és az enyvezőanyagoknak a papírban való eloszlását tanulmányozta [1], [2]. Ennek során a papírt ragasztószalagok segítségével vagy nedvesen fémlapok közé fagyasztás útján hasították rétegekre. A papírrétegekből az enyvet extrahálták. Az említett eljárásokkal kapott papírrétegek vastagsága kísérleteink szerint nem jól definiált és nem jól reprodukálható. Ezek az eljárások prepregekre — eltérő fizikai adottságaik miatt — egyébként sem voltak alkalmazhatók. A prepregek rétegekre bontása esetében a következő feltételeknek kell teljesülniük:

- a módszernek reprodukálhatónak kell lennie;
- a rétegek vastagságának meghatározottnak és mérhetőnek kell lenniük;
- a rétegekre bontás során kémiai és (vagy) fizikai változások nem mehetnek végbe a prepregen; ezért pl. hőmérséklet-változásokat kerülni kell és folyadékok alkalmazása sem megengedett.

A prepregek rétegekre bontásának megoldását az segítette elő, hogy a prepreg aránylag könnyen porítható, elég kemény és formatartó anyag, tehát a rétegekre bontást koptatással könnyen megvalósíthatjuk. Az alkalmazható koptatási módszerek a felsorolt feltételeket teljesítették. A rétegekben a gyantatartalmat extrakciós és adszorpciós módszerekkel kívántuk megállapítani. Az adszorpciós eljárásnál a papírra még felhúzzható festékek mennyiségéből közvetve kívántunk a gyantatartalomra következtetni, a prepreges festékkoldatnak az impregnálógyantától eredő sötét színe és zavarossága azonban a mérést megghiúsította. Az extrakciós módszer jó eredményt adott, és ezt a koptatás módszerével együtt a következőkben írjuk le.

## 3. Rétegekre bontás

A rétegekre bontás könnyen megvalósítható a Taber gyártmányú (USA) *Abraser* készülékkel. Ugyanez a készülék az Erichsen GmbH cégnél (NSZK) is beszerezhető. Az egyetlen Magyarországon is működő ilyen berendezés csak külföldről behozható koptatókerékkel lenne használható. Különböző, részben a beszerzést gátló körülmények, de legfőképpen időhiány miatt a módszer konkrét numerikus értékelésére és megelőző tájékozódás céljából a koptatást a következőképpen oldottuk meg:

Az impregnálással gyártott prepregek egy részét sima felületű vashenger palástjára feszesen rögzítettük úgy, hogy a találkozó élek szorosan feküdjenek egymás mellett. Az esztergapadra felfogott henger magassága 240 mm, átmérője a munkafelületen 70 mm volt. A hossz tengelye körül nagy sebességgel forgó henger prepreggel borított palástjára 60 mm széles, gondosan köszörült gyalukést tartottunk egyenletes nyomással és a koptatás mélységétől függő szögben ( $45^\circ \dots 80^\circ$ ). A koptatást két oldalról (*A* és *B*) végeztük.

## 4. Extrakció

A prepregekből és ezek kétoldali koptatással elvékonyított részeiből az MSZ 7252 szerint végrehajtott, 6 órán át tartó extrahálással oldottuk ki a gyantát, és a kapott

eredményekből számítottuk ki a gyantának a lakkal itatott papírban való eloszlását.

Két párhuzamos mérést hajtottunk végre egy-egy azonos vastagságú prepregből. Mértük a vázpapírból kioldható részt is.

### 5. A vizsgálati eredmények értékelése

Először a koptatással és extrakcióval nyert adatokra bevezetett jelöléseket, majd a gyantaeloszlás számítását ismertetjük (a dőlt betűs mennyiségek mérhetőek).

*Jelölések:*

Extrakciók prepregből a prepregsúlyra számított súlysúlyszázalékban:

$e_{epr}$	<i>eredetiből összes</i>
$e_{vpr}$	<i>vékonyítottból összes</i>
$e_e$	eredeti gyantarészből
$e_v$	vékonyított gyantarészből
$e_k$	lekoptatott gyantarészből
$e_p$	eredeti papírrészből
$e_{vp}$	vékonyított papírrészből
$e_{centr.}$	az eredeti prepreg felezősíkja és az utolsó koptatási felület közti prepregréteg gyantarészből

Extrakciók a papírsúlyra számított súlysúlyszázalékban:

$\varepsilon_p$	<i>nem impregnált papírból</i>
-----------------	--------------------------------

Egységnyi felületű anyagok súlyai:

(A „felület” kifejezés használatánál a szokásos „felületegység” megnevezésre hivatkozunk. A „felület” itt és a továbbiakban nem a mértani felületet jelenti, hanem csak az yz síkkal párhuzamos egyik oldallap felületét.)

$g_e$	<i>eredeti prepregé</i>
$g_v$	<i>vékonyított prepregé</i>
$g_k$	lekoptatott prepregé
$g_{centr.}$	az eredeti prepreg felezősíkja és az utolsó koptatási felület közti prepregrétegé
$g_p$	<i>a nem impregnált papíré</i>

Vastagságok:

$h_e$	<i>az eredeti prepregé</i>
$h_v$	<i>a vékonyított prepregé</i>
$h_k$	a lekoptatott prepregé
$h_p$	<i>a papíré</i>
$h_{centr.}$	az eredeti prepreg felezősíkja és az utolsó koptatási felület közti prepregrétegé

Az egységnyi felületű prepregek gyantatartalma:

$G_e$	az eredetié
$G_v$	a vékonyítotté
$G_k$	a lekoptatotté
$G_{centr.}$	az eredeti prepreg felezősíkja és az utolsó koptatási felület közti prepregrétegé

*A gyantaeloszlás számítása és ábrázolása:* A számítás célja az, hogy a gyantatartalmat a vastagság mentén a hely függvényeként a mért adatokból megkapjuk. Az impregnálás jóságától függően a papír belső részeinek gyantakonzentrációja többé-kevésbé eltér a külső részekétől. Továbbá a papír a papíriparban ismeretes, ún. kétoldalúság jelensége miatt feltehetően a felezősíkjára nem szimmetrikusan átítatott. Ezenkívül az is lehetséges, hogy a gyantaeloszlás a papírban a vastagságra merőleges két irányban sem teljesen egyenletes. A jelenlegi feladat megoldásakor ez utóbbitól eltekintünk.

Ha a  $h$  vastagságot az  $x$  tengely irányában vesszük fel, a prepreg síkja az  $y$  és  $z$  koordinátatengelyekkel párhuzamos, akkor a továbbiakban feltételezzük — amennyiben a gyantaeloszlás függvényét  $R$ -rel jelöljük —, hogy

$$R = R(y) = \text{konstans},$$

$$R = R(z) = \text{konstans}.$$

Először tegyük fel, hogy az eredeti és az elvékonyított prepregek  $e_{\text{epr}}$  és  $e_{\text{vpr}}$  extraktumkoncentrációiból  $e_e$  és  $e_v$  (a gyantarészből származók) számíthatók. Ezek segítségével felírható az egységnyi felületű prepregek gyantaextraktuma:

Az eredeti prepregre:

$$\frac{g_e e_e}{100} \quad (1)$$

A vékonyított prepregre:

$$\frac{g_v e_v}{100} \quad (2)$$

A lekoptatott prepregre:

$$\frac{g_{v_{i-1}} e_{v_{i-1}} - g_{v_i} e_{v_i}}{100} \quad (3)$$

Az egységnyi felületű teljes (eredeti) prepreg gyantatartalmára megadható:

$$G_e = g_e - g_p = C g_e e_e / 100. \quad (4)$$

Ennek alapján kiszámítható egy  $c = C/100$  arányossági tényező, amelynek segítségével bármely prepregréteg gyantatartalma megkapható az extrakcióból:

A vékonyított prepregé:

$$G_v = c g_v e_v. \quad (5)$$

A lekoptatott prepregé:

$$G_k = c g_k e_k. \quad (6)$$

A kísérletekben nyert adatokból a lekoptatott prepregrétegek gyantaextraktumát százalékban a következő képlet adja meg:

$$e_{k_i} = \frac{g_{v_{i-1}} e_{v_{i-1}} - g_{v_i} e_{v_i}}{g_{v_{i-1}} - g_{v_i}}. \quad (7)$$

Amint már említettük, a koptatást két oldalról végeztük és nem egészen a prepreg felezősíkjáig. Az adatok lehetővé teszik azt is, hogy az utolsó vékonyított réteg és a prepreg felezősíkja közé eső prepregréteg gyantatartalmát és extraktumkoncentrációját is kiszámítsuk. Ebben az esetben azt a nem nagy hibát jelentő feltételezést fogadjuk el, hogy a prepreg a felezősíkjára minden vonatkozásban szimmetrikus. Így az

egységnyi felületű félprepreg súlya  $g_e/2$  és extrakciójából meghatározható gyanta-koncentrációja  $e_e$ . Így  $i = n$  esetében

$$G_{\text{centr}} = c(g_{v_n}e_{v_n} - \frac{g_e}{2} \cdot e_e), \quad (8)$$

$$e_{\text{centr}} = \frac{g_{v_n}e_{v_n} - \frac{g_e}{2} \cdot e_e}{g_{v_n} - \frac{g_e}{2}}. \quad (9)$$

Ezekkel az egyenletekkel minden adat kiszámítható ahhoz, hogy szemléletes ábrát készíthessünk a gyantaeloszlásról. Az  $R = R(x)$  eloszlásgörbe megszerkesztésekor úgy járunk el, hogy a lekoptatott prepregrétegek vastagsága fölé a gyantatartalmakat mint területeket rajzoljuk fel. A téglalapok oldalai  $h_{k_i}$  és  $G_{k_i}/h_{k_i}$ . Az  $R = R(x)$ -et a hisztogramszerű ábrán (l. az 5-2. és az 5-3. ábrákat) a lekoptatott prepregrétegek felezőpontján áthúzott görbe szemlélteti. Minél vékonyabbak a lekoptatott rétegek, annál inkább megközelíti a kapott görbe a tényleges eloszlást. Nevezhetnénk ezt a görbét differenciális eloszlásgörbének is.

Még hátra van annak ismertetése, hogy a prepreg gyantaextrakciójának koncentrációja,  $e_e$  és  $e_v$ , hogyan számítható ki  $e_{epr}$  és  $e_{vpr}$ , valamint  $e_p$  mérhető adatokból.

Tekintettel arra, hogy a papírextraktumok kicsik, a teljes extrakcióknak előimpregnálás esetén mintegy 30%-át, teljes impregnált rendszer esetén mintegy 6... 10%-át teszik ki, nem követünk el nagy hibát, ha a papíreloszlás függvényére ( $P$ ) elfogadjuk a  $P = P(x) = \text{konstans}$ ,  $P = P(y) = \text{konstans}$  és  $P = P(z) = \text{konstans}$  ideális feltételeket, továbbá a papírban levő levegő súlyát nem vesszük figyelembe. A nem impregnált papír  $g_p$  és  $\varepsilon_p$  adatai segítségével a következő két szélső esetre kiszámíthatjuk a különböző prepregréteg extrakcióknak a papírra eső súlyszázalékát:

a) A papír impregnáláskor egyenletesen duzzad és a prepreg teljes vastagságát egyenletesen tölti ki, ugyanakkor az erre merőleges irányokban méreteit egyelőre változatlanoknak tételezzük fel. (Ezt tételezzük fel akkor is, amikor a papír impregnálásakor a felvett impregnálóanyag mennyiségét az azonos területű prepreg és papír súlykülönbségével adjuk meg.)

b) Impregnáláskor a papír változatlan marad és az impregnálóanyag a papír felületén és üregeiben helyezkedik el.

Az a) esetben az elvékonyított prepregrétegekre kisebb papírextrakciót számítunk a valóságosnál, a b) esetben nagyobbat. E két érték középértékét véve, az eltérés a várható értéktől nem nagyobb, mint az a) és a b) esetben kapott értékek fele. Az eredeti prepregből a papírra eső rész nem más, mint  $\varepsilon_p$  átszámítva a prepreg súlyára vonatkoztatott százalékra:

$$e_p = \frac{g_p}{g_e} \varepsilon_p, \quad (10)$$

és így 
$$e_e = e_{epr} - e_p. \quad (11)$$

Az a) esetben az ide vonatkozó feltételezések alapján az elvékonyított rétegekre  $h_v/h_e$  arányban jut a vázanyagból papír, azaz

$$e_{vp} = \frac{h_v g_p}{h_e g_v} \varepsilon_p, \quad (12)$$

amiből

$$e_v = e_{vpr} - e_{vp}. \quad (13)$$

A *b*) esetre vonatkozó egyenletek könnyen felállíthatók az 5-1. ábra segítségével. Ha  $h_v - h_e/2 \cong h_p/2$ , akkor

$$e_{vp} = \frac{g_p}{g_v} \varepsilon_p. \quad (14)$$

Ha  $h_v - h_e/2 < h_p/2$ , akkor az elvékonyított prepregre eső papír vastagsága

$$\frac{h_p + 2h_v - h_e}{2}. \quad (15)$$

Ennek extraktuma az elvékonyított prepreg súlyszázalékában

$$e_{vp} = \frac{h_p + 2h_v - h_e}{2h_p} \cdot \frac{g_p}{g_v} \varepsilon_p. \quad (16)$$

Mivel legtöbb esetben  $h_v - h_e/2 < h_p/2$ -nél,  $e_v$  számítására a (16) összefüggést használjuk fel; tehát

$$e_v = e_{vpr} - e_{vp}. \quad (17)$$

Fordított egyenlőtlenség esetén (16) helyett a (14) összefüggést analóg módon alkalmazhatjuk. Emlékeztetünk itt arra, hogy az elvékonyított prepreg gyantatartalma az (5) egyenlet szerint:

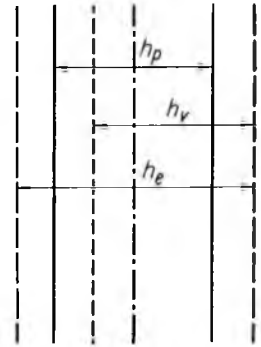
$$G_v = c g_v e_v.$$

Ha a (13) és (17) egyenletekből adódó nagyobb, ill. kisebb gyantatartalmak középértékét fogadjuk el a valódi érték közelítésének, az ettől való eltérés ( $\delta$ ) kisebb, mint (13) és (17) segítségével felírható gyantatartalmak különbségének a fele.

$$\delta < c g_p \varepsilon_p \left( \frac{h_p + 2h_v - h_e}{4h_p} - \frac{h_v}{2h_e} \right) \quad (18)$$

Ez a képlet *c*-nek (4)-ből kifejezett értékével behelyettesítve számításra alkalmas alakra hozható.  $\delta$  az általában szokásos adatokkal számolva a vékonyított prepreg gyantatartalmának meghatározásakor előimpregnálás esetében nem nagyobb, mint  $\pm 8\%$  és főimpregnálás esetében  $\pm 1\%$ . Végül még megbecsüljük azt a hibát, amit akkor követünk el, ha *a*) esetben a papírvázanyag esetleges hossz- és keresztirányú kiterjedését impregnáláskor nem vesszük figyelembe.

Papíripari tapasztalatok azt mutatják, hogy víz hatására, duzzadáskor a papír hosszirányú mérete  $1\%$ -kal, a keresztirányú  $4\%$ -kal növekedik (jóval kevésbé, mint a vastagságmenti méret). Tehát impregnáláskor legfeljebb ilyen nagyságú papírméret-növekedést várhatunk. Az impregnálást követő szárítás közben azonban a papír méretei feltehetően legkevesebb  $0,5$ , ill.  $2\%$ -kal csökkennek. Ha a maradék méretváltozás felét, azaz a papírnak a prepregben feltételezett méretváltozásának felét, vesszük csak figyelembe a prepregretek gyantatartalmának kiszámításánál, akkor a számított gyantatartalom a tényleges gyantatartalomtól kevésbé tér el, mint a feltételezett maximális méretváltozás figyelembevételével és annak teljes elhanyagolásával számított értékek különbségének a fele. Az esetleges maximális hosszirányú méretváltozás oly kicsi, hogy azzal nem kell törődnünk. Az előbbi megfontolások alapján



5-1. ábra. A prepreg jelképes keresztmetszete és a számításhoz szükséges vastagságok

## 5-1. táblázat

## A gyantatartalom meghatározásához szükséges mérési adatok

A jellemzők		Szulfátpapír	Nátronpapír	Szulfátpapír	Nátronpapír
jele	mértékegysége	előimpregnáló lakkal	előimpregnáló lakkal	elő- + fő-impregnáló lakkal	elő- + fő-impregnáló lakkal
$g_e$	$g/1000\text{ cm}^2$	10,0	10,3	17,4	20,0
$g_p$		7,6	8,7	7,6	8,7
$g_{v1} A$		8,2	8,4	14,2	14,0
$g_{v2} A$		—	—	10,2	11,9
$g_{v1} B$		8,0	8,5	14,2	13,9
$g_{v2} B$		—	—	10,4	11,7
$h_e$	mm	0,170	0,150	0,220	0,220
$h_p$		0,150	0,130	0,150	0,130
$h_{v1} A$		0,140	0,125	0,180	0,145
$h_{v2} A$		—	—	0,130	0,125
$h_{v1} B$		0,140	0,125	0,180	0,145
$h_{v2} B$		—	—	0,135	0,125
$e_{epr}$	súly %	6,45	11,32	21,81	35,80
$\varepsilon_p$		1,80	2,80	1,80	2,80
$e_{v1} A$		5,73	9,46	21,25	32,60
$e_{v2} A$		—	—	21,05	32,20
$e_{v1} B$		6,38	9,45	21,65	32,80
$e_{v2} B$		—	—	21,00	32,15

viszont keresztirányban 1% kiterjedést vehetünk számításba. Ez a gyantatartalmat megadó (19) összefüggésben mindössze annyit jelentene, hogy benne a papírvázanyag felületegységnyi súlyának  $0,99g_p$  értékkel kell szerepelnie. Ha ugyanis impregnálás következtében a papír keresztirányban 1%-kal egyenletesen kiterjedt, a felületegységnyi prepregre az impregnálatlan papír felületegységnyi súlyának 99%-a esik.

Itt szeretnénk kiemelni azt a különbséget, amelyet a papír vastagságmenti és keresztirányú duzzadásának figyelembevételi módjai között tettünk. A vastagságmenti méretek impregnálás előtt és után is a papír, ill. a prepreg felületegységnyi darabján lemérhetők, tehát a papír impregnálás utáni, a prepreg vastagsága által megszabott



5-2. táblázat

A lekoptatott rétegek gyantatartalma és a rétegvastagsággal képzett hányadosok

Gyantatartalom g		Szulfát- papír	Nátron- papír	Szulfátpapír		Nátronpapír	
		előimpregnáló lakkal		elő- + főimpregnáló lakkal			
Hányados g/mm		1,00 g <sub>p</sub> -vel számítva		1,00 g <sub>p</sub>	0,99 g <sub>p</sub>	1,00 g <sub>p</sub>	0,99 g <sub>p</sub>
		értékkel számítva					
G <sub>k1</sub>	A	0,82	0,64	2,07	2,08	4,19	4,23
G <sub>k2</sub>	A	—	—	2,31	2,33	1,18	1,19
G <sub>centr</sub>	A	0,68	0,36	0,66	0,67	0,40	0,41
G <sub>k1</sub>	B	0,63	0,63	1,92	1,93	4,20	4,23
G <sub>k2</sub>	B	—	—	2,37	2,39	1,29	1,30
G <sub>centr</sub>	B	0,87	0,37	0,76	0,76	0,29	0,29
G <sub>k1</sub> /h <sub>k1</sub>	A	27,33	25,60	51,75	—	55,87	—
G <sub>k2</sub> /h <sub>v2</sub>	A	—	—	46,20	—	59,00	—
G <sub>centr</sub> /h <sub>centr</sub>	A	12,36	7,20	33,00	—	26,67	—
G <sub>k1</sub> /h <sub>k1</sub>	B	21,00	25,20	48,00	—	56,00	—
G <sub>k2</sub> /h <sub>k2</sub>	B	—	—	47,40	—	64,50	—
G <sub>centr</sub> /h <sub>centr</sub>	B	15,82	7,40	38,00	—	19,33	—

maximálisan feltételezhető kiterjedése is. Értelemszerűen belátható, hogy a keresztirányú méretek esetében gyakorlatilag nem ez a helyzet. A prepregméretek csak a teljes gyártási szélességek ismeretében szolgáltatathatnának alapot amazéhoz analóg megfontolásokra. Ez esetben azonban technikai nehézségek miatt a számítások pontatlanabbá válnának, mintha az adott megfontolást követjük. Ezenkívül, amint majd látjuk, a megadott módok számítási hibái sokkal kisebbek, mint a mérési hibák.

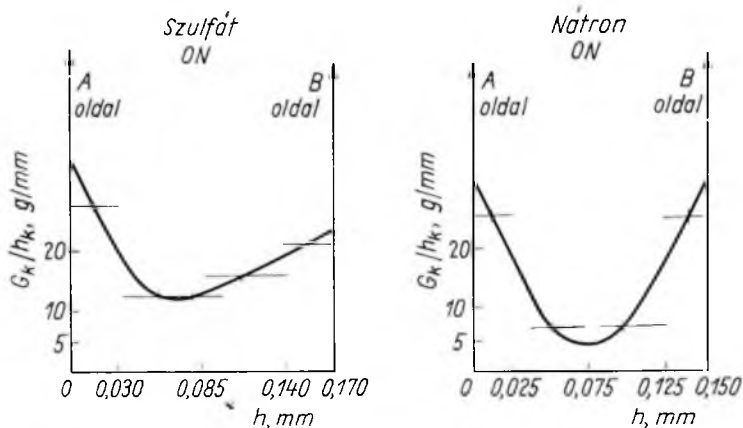
Az elmondott szempontok összevetése után a (3)—6, (10)—(13), (16) és (17) egyenletekből a gyantatartalom kiszámítására, a következő, mérhető adatokra visszavezetett és számítógépre alkalmazható egyenlet adódik:

$$G_{ki} = \frac{g_e - g_p}{g_e \epsilon_{ep} - g_p \epsilon_p} \left[ (g_{\tau_{i-1}} e_{\tau_{i-1}} - g_{\tau_i} e_{\tau_i}) - \frac{1}{2} g_p \epsilon_p \left( \frac{1}{h_p} + \frac{1}{h_c} \right) (h_{\tau_{i-1}} - h_{\tau_i}) \right] \quad (19)$$

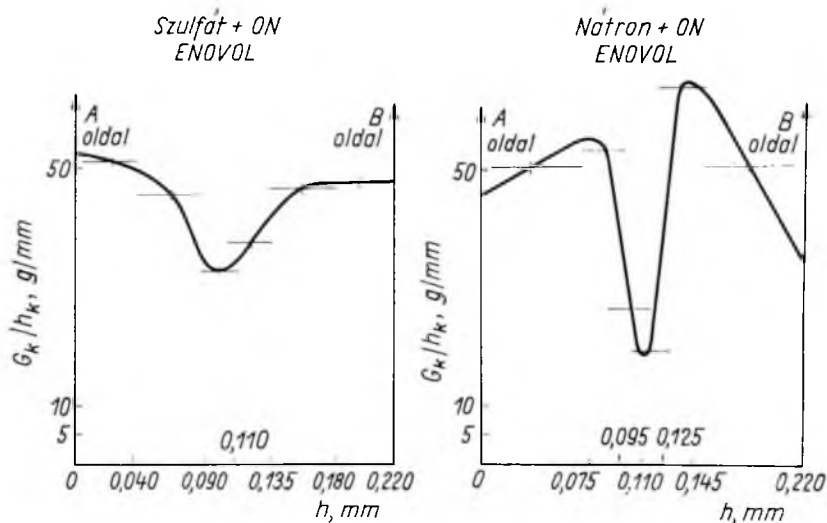
Ebben az összefüggésben — amint látható — a papír esetleges keresztirányú 1%-os méretnövekedését nem vettük tekintetbe.

## 6. Kísérleti eredmények

Az ismertetett kiértékelési mód segítségével feldolgoztuk a koptatással és extrakcióval nyert adatokat. Az eredményeket az 5-1. és 5-2. táblázat tartalmazza, és az 5-2. és 5-3. ábra szemlélteti. Az 5-1. táblázatban a prepregrétegek gyantatartalmának



5-2. ábra. Az előimpregnáló gyanta eloszlása a prepregekben



5-3. ábra. Az elő- + főimpregnáló gyanta eloszlása a prepregekben

meghatározásához szükséges mérési adatokat gyűjtöttük össze. Az 5-2. táblázatban a prepregrétegek gyantatartalma és az ábrák elkészítéséhez szükséges  $G/h$  hányadosok vannak feltüntetve. A gyantatartalmakat a (19) egyenletből számítottuk, azonban az 5. és 7. oszlopban a  $0,99g_p$ -vel számított értékeket is megadtuk. Így jól érzékelhető, hogy mekkora hibát követünk el akkor, amikor a papír impregnálásakor bekövetkező hosszirányú kiterjedést nem vesszük figyelembe.

Az 5-2. táblázatban szereplő adatok pontosságát kellő számú párhuzamos mérés hiányában statisztikai módszerekkel becsülni nem lehet. Tájékozódásra azonban kiszámíthatjuk a teljes prepreg gyantatartalmát egyrészt a prepreg és a papír súlyának különbségéből, másrészt a lekoptatott méretek gyantatartalmának összegéből. A két eredmény százalékos eltérése a prepreg és a papír súlykülönbségére számítva a következő:

előimpregnált szulfátpapír	25%
előimpregnált nátronpapír	25%
elő + főimpregnált szulfátpapír	3%
elő + főimpregnált nátronpapír	2%

A mérési hibák az említett koptatóberendezés alkalmazása esetén becsülhetők és az eloszlásgörbe is jobban megközelítheti a valóságot, mert tetszés szerinti vékony prepregrétegek koptathatók le.

### 7. A koptatási vizsgálat jelentősége

Ez az új prepregvizsgálati módszer a prepreg eddig nem mérhető lényeges tulajdonságáról ad felvilágosítást. Már többször hangsúlyoztuk, hogy a rétegelt termék minőségében milyen nagy szerepet játszik az, hogy a kötőanyag hogyan itatja át a vázanyagot. A különbözőképpen átítatott prepregekből készült rétegelt termékek tulajdonságainak mélyreható vizsgálata, a prepregek e módszer szerinti vizsgálata és a kapott vizsgálati eredmények egymásra vonatkoztatása nyilvánvalóan lehetőséget ad majd konkrét követelmény előírására a prepregek kötőanyageloszlását illetően.

Ennek a jövőbeni, tapasztalati úton kialakított követelménynek az lesz az előnye, hogy a gyantaeloszlás alapján a rétegelt termékek olyan tulajdonságaira is előre következtethetünk, amelyekről csak esetleg hosszú időn át tartó vizsgálatokkal tájékozódhatnánk. Ez az észrevételünk természetesen impliciten azt is tartalmazza, hogy a vázanyag—kötőanyag rendszer egymáshoz képest impregnálhatóság szempontjából minősíthető és relatív jóságú sorrendjük megadható.

Végül még megjegyezzük, hogy a módszer nemcsak a fenolgyanta kötőanyagból és papírvázanyagból készült prepregek értékelésére alkalmas, hanem bármely kötőanyag—vázanyagból előállított prepregre vagy más hasonló rendszerre is — esetleg a módszert némiképp módosítva — alkalmazható.

### Köszönetnyilvánítás

Ezúton fejezzük ki köszönetünket a Villamosszigetelő- és Műanyaggyár Fejlesztési Osztályának támogatásáért és a jó együttműködésért, amellyel a kutatómunkát lehetővé tette.

### Irodalom

- [1] Brecht, W.—Hoberg, H.: Untersuchungen über die Struktur der Papiere. Wochenblatt für Papierfabrikation, 92. Nr. 19. 1964. S. 567—73.  
 [2] Brecht, W.—Heyn, D.: Verteilung der Leimungsstoffe bei der Harz-Mattenleimung in Papieren. Das Papier, 19. H. 12. 1965. S. 842—46.



# 6.

## **Külsőtéri öntőgyanta-rendszerek alkalmazási és technológiai sajátosságainak kutatása**

*LEYRER RICHÁRD—SZAPLONCZAY PÁL—PIKA IMRE*

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

Az epoxigyanták megjelenése nagymértékben kihatott a villamoskészülék-gyártásra olyannyira, hogy azok a tokozott berendezések legfontosabb szigetelőanyagává váltak. A kedvező eredmények hatására az utóbbi években komoly erőfeszítések történtek olyan epoxibázisú öntőgyanták kifejlesztésére, melyek a külsőtéri behatásoknak is ellenállnak. Az igénybevételek rendkívül összetettek, így a gyantarendszerek kiválasztása csak körülményes vizsgálatok alapján történhet.

A cikk keretében ismertetjük néhány gyantarendszer stabilitásváltozását különböző mesterséges klímaigénybevételi hatásra. Utalunk a külsőtéri kiöntőgyanták feldolgozástechnológiájára, és beszámolunk a kiválasztott gyantarendszerekkel készült szabadtéri átvezetőszigetelők és áramváltók gyártásával és vizsgálatával kapcsolatos eddigi eredményekről és tapasztalatokról.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ И ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ЗАЛИВНЫХ СМОЛ ДЛЯ НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК**

*Р. Лейрер—П. Саплонцаи—И. Пика*

#### **Резюме**

Появление эпоксидных смол значительно повлияло на производство электрических устройств, в той мере, что они стали важнейшими изолирующими материалами футлярованных устройств. Под влиянием благоприятных результатов применения эпоксидных смол в последние годы были сделаны значительные усилия с целью разработки заливных смол для наружных установок на эпоксидной базе, которые стойки и к климатическим воздействиям. Воздействия в свободном пространстве очень многосторонние, в результате чего выбор соответствующих систем смол может быть осуществлен только в результате предусмотрительных исследований.

В рамках статьи мы опишем изменение стабильности нескольких систем смол при различных искусственных климатических воздействиях. Мы ссылаемся на технологию обработки заливных смол для наружных установок и отчитываемся о результатах и приобретенном опыте, связанных с изготовлением и испытанием проходных изоляторов и трансформаторов тока, заполненных выбранной системой смол.

### **FORSCHUNG DER TECHNOLOGISCHEN EIGENSCHAFTEN VON FREILUFT – GIESSHARZSYSTEMEN HINSICHTLICH DER TECHNOLOGIE UND DER ANWENDUNG**

*R. Leyrer—P. Szaploncay—I. Pika*

#### **Zusammenfassung**

Die Einführung der Epoxidharze hat sich auf die Herstellung elektrischer Geräte dermassen ausgewirkt, dass diese die wichtigsten Isoliermaterialien der vorgessenen

Geräte geworden sind. Die bisherigen günstigen Ergebnisse haben dazu beigetragen, dass in den letzten Jahren zahlreiche Anstrengungen gemacht wurden zwecks Entwicklung solcher Epoxidharze, die auch den Freilufteinflüssen widerstehen. Die Beanspruchungen sind ausserordentlich kompliziert, deshalb kann die Auswahl der entsprechenden Harzsysteme erst nach gründlichen Überlegungen erfolgen.

Im Aufsatz wird die Stabilität einiger Harzsysteme bei verschiedenen künstlichen und natürlichen Klimabeanspruchungen diskutiert. Es wird hier auf die Verarbeitungstechnologie der Freiluft-Giessharze verwiesen, und über die bisherigen Ergebnisse und Erfahrungen der Fertigung und Prüfung der unter Anwendung der ausgewählten Harzsysteme hergestellten Freiluft-Durchführungen und Stromwandler berichtet.

## RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF OUTDOOR CASTING-RESIN SYSTEMS AND THEIR APPLICATIONS

By R. Leyrer—P. Szaploucaj—I. Pika

### Summary

The advent of epoxy-resins has had a great impact on the manufacture of electrical apparatus so much that they have become the most important insulants in the encapsulated equipments. Inspired by the favourable results, efforts have been directed to the development of epoxy-resins, which are capable of with-standing outdoor climatic conditions. The influences being highly complex, suitable resin systems can be selected only on the basis of carefully performed tests.

In the paper the variation of a few resin systems under the effect of different artificial and natural climates is described. Reference is made to the processing technology of outdoor casting resins, and account is given of the results achieved and experience gained in the construction and testing of outdoor bushing insulators and current transformers cast with the resin system selected for such applications.

### 1. Epoxi öntőgyanták a villamosiparban

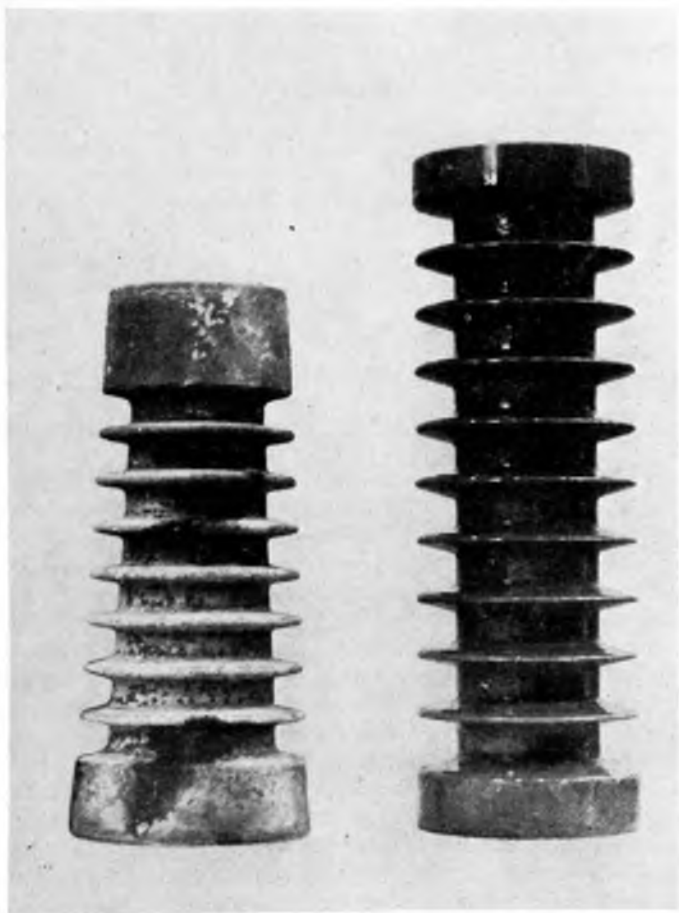
Az epoxi öntőgyanták kb. 20 évvel ezelőtt jelentek meg a piacon, és az elmúlt évek alatt forradalmi változást hoztak a villamoskészülék-gyártásban. Ennek oka elsősorban az, hogy teljesen izotróp szigetelőként, a villamos tér igényeinek megfelelően, szinte tetszőleges vastagságokban előállíthatók, feldolgozási technológiájuk viszonylag egyszerű, villamos és mechanikai tulajdonságaik, hőállóságuk kiváló. A szilárd szigetelőanyagok között csak nagyon kevés anyag van, amely a tulajdonságokat ilyen kedvező formában egyesíti magában. Így érthető, hogy az epoxi öntőgyanták olyan új konstrukciós megoldásokat tettek lehetővé, amely a villamoskészülék-gyártásban új utakat nyitott.

Külön ki kell emelni, hogy feldolgozási technológiájuk lehetővé teszi az áramvezető fémalkatrészek közvetlen szigetelését. Így elkerülhetővé válik, mint pl. a porcelán átvezetőkön, különböző dielektrikumok sorba kapcsolása, és mód nyílik a kiváló villamos szigetelési tulajdonságok teljes kihasználására. További előny, hogy a felfogáshoz szükséges szerelvényeket közvetlenül be lehet önteni, tehát a készülékek vagy egyes elemek, pl. támszigetelők felerősítése a cellákban egyszerűsödik, nem kellenek költséges fémarmatúrák és nincs szükség időtrábló kittelésre sem.

Maga a feldolgozási technológia is viszonylag egyszerű, a kiöntőgyanták az öntés hőmérsékletén — amely 150 °C alatt van — kis viszkozitásúak, a rendkívül tagolt szerszámokat is jól kitöltik, és egyaránt alkalmasak atmoszferikus, vákuum vagy túlnyomással történő feldolgozásra.

A térhálósító hatására kikeményedő gyanták jó mechanikai szilárdságúak, hőstabilitásuk megfelelő, vízfelvételük csekély. E kedvező tulajdonságok eredményeként a transzformátorgyártásból, különösképpen a mérőváltók közül teljesen kiszorultak a hagyományos olaj—porcelán konstrukciójú típusok, és szinte teljesen áttértek az epoxigyanta szigetelésű gyártmányokra. Hasonló fejlődés ment végbe a támszigetelők gyártásában is. Az epoxigyantából készült támszigetelők könnyebbek, nagyobb a mechanikai szilárdságuk, szerelésük egyszerűbb és annak ellenére, hogy az epoxigyanta drágább, mint a porcelán, a járulékos költségek megtakarítása révén oly kereettek, hogy egyes országokban maguk a porcelángyárak tértek rá a gyártásukra.

A rendkívül kedvező tapasztalatok alapján szinte magától merült fel a gondolat, hogy az epoxigyanta szigetelőket ne csak belsőtéri villamos berendezésekben alkalmazzuk, hanem a szabadtéren is. Már az első kísérletek során kiderült azonban, hogy a szabadtéri készülékeken alkalmazott epoxigyanták rövid idő alatt elváltoztak, és a villamos készülékek tönkrementek. A meghibásodás okait vizsgálva megállapítható volt, hogy a műgyanta felülete feldurvult — különösen azon a részen, ahol a nap-



6-1. ábra. Belsőtéri (baloldalt) és külsőtéri kiöntőgyantából készült támszigetelők állapota ködporlasztásos tracking igénybevétel után

fény közvetlenül érte —, repedések keletkeztek, és ezen keresztül villamos ív alakult ki a vezető és a földelt pont között (6-1. ábra). A hibajelenségek beható vizsgálata kimutatta, hogy a villamos feszültség mellett a napfény, a páralecsapódás, esetenként a sósköd és az ipari atmoszféra, valamint hőmérsékletváltozások (legtöbbször együttesen) a szigetelések gyantában dús felületét megbontják. Először mikrorepedések keletkeznek a felületen, amelyben a nedvesség kondenzál, és a felületen levő porral elegyedik. A villamos tér hatására e helyeken kúszóáramok alakulnak ki, ezek a felületet tovább bontják, és hamarosan vezető kúszónyom alakul ki, ami végső soron a készülék tönkremenetelét idézi elő.

A vizsgálatok azt mutatták, hogy a meghibásodások okai a felületen kialakult gyantadús rétegekből indulnak ki, és ennek következtében elsősorban a gyanták kémiai felépítésében, ill. az abban rejlő instabil csoportokban keresendők. Lényegében olyan fotooxidatív bomlásokról van szó, amelyek a napfény hatására iniciálódnak és a különböző behatásokra (nedvesség, villamos tér stb.) folytatódnak. Mint ismeretes, a napfény hullámhossztartománya  $10^{-3} \dots 10^{-5}$  cm, energiája  $0,1 \dots 10$  eV,  $3500 \text{ \AA}$ -nél  $82 \text{ cal/mól}$ , amely elegendő arra, hogy bizonyos kémiai gyököket megbonthasson

#### 6-1. táblázat

#### Néhány kémiai gyök disszociációs energiája

Gyök	Kötési energia cal/mól
C=O	174
C=C	145
C—C (aromás)	124
O—H	110
C—O	87
C—C (alifás)	80
C—O (éter)	79
O—O (peroxid)	64

(6-1. táblázat) [1], [2]. A helyzet még annyival komplikálódik, hogy a sugárzási energiának csak az a frekvenciája hatásos, amelyet az illető gyökcsoporthoz elnyel. Ebből a szempontból a legveszélyesebbek a C=O csoportok, amelyek  $2800 \dots 3200 \text{ \AA}$ -nál, és az OH-csoportok, amelyek  $2300 \text{ \AA}$  körüli frekvenciákon — tehát az ultraviola sugárzás viszonylag nagy energiájú spektrumtartományaiiban — mutatják a legnagyobb elnyelést [3]. A fotooxidáció hatására sokkal kisebb stabilitású kémiai gyökök alakulnak ki, ami végső fokon az epoxigyanta-szénláncok széteséséhez vezet.

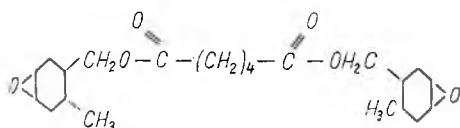
E hatás mellett a nedvességnek is döntő szerepe van, mert a megbontott láncok vagy töredékeik vízben könnyebben oldódnak és a felületről eltávoznak. Az irodalmi adatokból [4] úgy látszik, hogy az állandó villamos igénybevétel egymagában nem jelent döntő változást, csak a már említett igénybevételekkel együtt, azok hatását meggyorsítva játszik szerepet. E felismerések képezték az alapját annak a kutatómunkának, amelyet az 1960-as évek elején a különböző epoxigyanta-gyártó cégek, elsősorban a svájci CIBA, az UNION Carbide (USA), majd később a Bayer (NSZK) megindítottak. A munka célja az volt, hogy a jól bevált epoxigyanták szerkezetét úgy módosítsák és felépítésükben olyan vázszerkezetet alakítsanak ki, amelynek a napfényrel szemben nagy ellenállóképessége van. Az aromás bázisú polimerek szerkezetét a kísérletek során úgy változtatták meg, hogy bennük a szabadgyökképződési mecha-



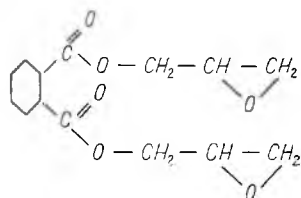
nizmus lényegesen kisebb lett, és így az igénybevételek hatására nem keletkeznek jól vezető gyökök [5]. E felismerésből kiinduló kutatások alapján születtek meg az ún. cikloalifás epoxigyanták, amelyeket kémiai felépítésük alapján két fő csoportba lehet sorolni:

- epoxidált cikloolefinek és
- cikloalifás poliglicidilészterek.

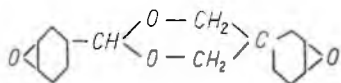
Szerkezetük a következő:



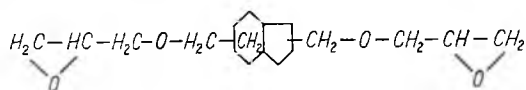
ERL 4289



LEKUTHERM X 100



ARALDIT CY 185



CY 153 (Rütag)

Tulajdonságaikat az aromás, dián bázisú epoxigyanták tulajdonságaival összehasonlítva a 6-2. táblázatban foglaljuk össze.

A legnagyobb — előbb említett — epoxigyártó cégek kísérleteibe, amelyek nemcsak a különböző gyanták szintézisére, hanem felhasználására is kiterjedtek, hamarosan bekapcsolódtak a nagy villamosipari cégek, mint pl. a Brown-Boveri, Siemens, AEG stb. A legkülönbözőbb mesterséges igénybevételekkel igyekeztek mind megbízhatóbb képet kialakítani a különböző gyantákból készült készülékelemek viselkedéséről. Ezzel párhuzamosan megkezdődtek a szabadtéri kitéti vizsgálatok is, hiszen ezek csak több éves tapasztalatok alapján értékelhetők [7], [8].

A fejlett ipari országokban folyó kísérletekbe a Szigeteléstechnikai Főosztály 1968-ban kapcsolódott be a VBKM Fejlesztési Intézetének és Transzvill gyárnak közreműködésével. Mivel az irodalmi adatok alapján úgy látszott, hogy csupán mesterséges klímavizsgálatok laboratóriumi mérései alapján nem lehet eldönteni a különböző gyantafajták szabadtéri megfelelőségét, lehetőséget kellett teremtenünk a szabadtéri igénybevételek vizsgálatára is. Kutatómunkánk során ezért elsősorban vizsgáltuk a legkülönbözőbb — részben dián bázisú, részben cikloalifás szerkezetű — öntőgyanták öntőtechnikai tulajdonságát. Ezután a következőkben ismertetendő mesterséges klímavizsgálati program keretében vizsgáltuk a legfontosabb jellemzők

## 6-2. táblázat

## Cikloalfás gyanták fizikai jellemzői

Osztálytípus	Epoxidált-karboxilát	Cikloolefin-acetát	Cikloalfás glicidiléster	Poliglicidiléster glicidiléster	Aromás glicidiléster
Gyanta jele és előállítója	ERL 4289 UCC Anglia	Araldit CY 185 CIBA-Geigy Svájc	Lekutherm X 100 Bayer NSZK	Cy 153 Rutag NSZK	Araldit B CIBA-Geigy Svájc
Hálósító	HHPSA*	HHPSA	HHPSA	HHPSA	PSA**
Töltőanyag SiO <sub>2</sub> súly %	33	33	33	33	61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O súly %	33	33	33	33	—
Keményítési idő/hőmérséklet	15 h/120 °C	6 h/140 °C	15 h/120 °C	15 h/120 °C	14 h/120 °C
Martens szerinti formaállóság, °C	95	125	100	55	110
Hajlítózilárdság, kp/cm <sup>2</sup>	770	670	900	830	1000
Behajlás, mm	1,5	1,6	1,5	1,5	3
Ütőhajlító szilárdság, kp/cm <sup>2</sup>	7	6	7	7	7
Kúszóáramszilárdság	Ka 3 C	Ka 3 C	Ka 3 C	Ka 3 C	Ka 1
Ívállóság	L 4	L 4	L 4	L 4	L 4

\* = HHPSA : hexahidro-ftálsavanhidrid

\*\* = PSA : ftálsavanhidrid

változását, végül az optimális tulajdonságú típusok szelektálásával az orgoványi kitéti állomáson feszültség alatti szabadtéri vizsgálatokat folytattunk. A laboratóriumi vizsgálatokat viszonylag hamar el lehetett végezni, a természetes vizsgálatok viszont a cikk megírásakor már 3. éve folynak.

## 2. Cikloalifás gyantarendszer kiválasztása

Kutatómunkánk során a megfelelő alapgyanta kiválasztása céljából — figyelembe véve az irodalmi utalásokat [7], [8] és a CIBA gyár epoxigyantaival kapcsolatos eddigi tapasztalatainkat — az epoxidált cikloolefinek közül az Araldit CY 175, Araldit CY 180 és az Araldit CY 185, míg a cikloalifás diglicilészterek közül az Araldit 183 jelű gyantákat vizsgáltuk. Összehasonlítás céljából a cikloalifás gyantákkal egyidejűleg Araldit B, diánbázisú gyantából készült próbatestek is vizsgálatra kerültek.

A gyanták térhálósítására — az előzetes hálósítási kísérletek alapján — a leginkább bevált hexahidroftálsavanhidridet (HT 907), a hálósodás meggyorsítására pedig aromás diamin típusú katalizátort (DY 065) használtunk. Az Araldit B típusú gyantát ftálsavanhidriddel, ugyancsak a legáltalánosabban használt hálósítóval (HT 901) keményítettük.

A töltőanyagok variációi tekintetében az általánosan elterjedt kvarcliszt mellett hidrált  $Al_2O_3$  alkalmazásával is javítani kívántuk az öntvények tulajdonságait. A kvarcliszt ugyanis, bár javítja az öntőgyantarendszerek mechanikai szilárdságát és növeli az erózióval szembeni ellenállóképességét, ugyanakkor növeli a villamos vezetőcsatorna kialakulásának hajlamát is. A hidrált  $Al_2O_3$  viszont e hajlamot előnyösen csökkenti, ezzel szemben rontja a mechanikai szilárdságot, és nagyobb ülepedése következtében a feldolgozótechnológia szempontjából sem bizonyult kedvezőnek. Kísérleteink szerint a legkedvezőbb hatást e két töltőanyag kombinációjával lehetett elérni.

Mindezek figyelembevételével a vizsgálatok céljára nyolc jellegzetes kombinációt választottunk ki. Ezek összetételeinek variálásával nemcsak a gyanták szerkezete

6-3. táblázat

Vizsgálati gyantarendszerek összetétele súlyrészben

Jelzés	1	2	3	4	5	6	7	8
Araldit CY 175 Araldit CY 180 Araldit CY 183 Araldit CY 185 Araldit B	100	100	100	100	100	100	100	100
Härter HT 907 Härter HT 901 Gyorsító DY 065 Flexibilizátor DY 040 Kvarcliszt Füller DT 079	95 95 20 330	95 20 330	75 6 160 160	100 6 100 280	70 6 300	100 6 400	70 6 40 280	70 70 200

közötti differenciákat igyekeztünk vizsgálni, de utalást kívántunk kapni töltőanyagok hatásmechanizmusára, sőt ezen túlmenően a gyantarendszerek feldolgozástechnikai paramétereire is. A kísérleteinkhez kiválasztott gyantarendszerek összetételeit a 6-3. táblázatban foglaljuk össze.

### 3. Mesterséges és természetes vizsgálatok próbatesteken

A vizsgálatok során olyan kombinált klímaigénybevételeket alkalmaztunk, amelyek leginkább megközelítik a természetes igénybevételeket, és olyan elváltozásokat hoznak létre a felületen, amelyek végső soron a meghibásodások kiinduló forrásává válnak. A felületi részekben a színváltozás, a fényerősség-csökkenés, a feldurvulás, mikrorepedések keletkezése felvilágosítást adnak a vizsgált anyagok erózióállóságára és a villamos vezetősatornák képződésével szembeni ellenállóképességre vonatkozóan. Az ilyen célokat szolgáló kombinált igénybevételek röviden a következőkkel jellemezhetők:

napfény—eső  
gyors hőmérsékletváltozás—vízbeáztatás—fagyasztás  
gyakori páralecsapódás—egyidejű villamos igénybevétellel.

Meg kell azonban jegyezni, hogy a mesterséges igénybevételek sohasem tudják a természetes igénybevételek hatásait összességükben leképezni, korreláció csak fenn tartással fogadható el. A mesterséges vizsgálatok mégis jó szelektáló módszerek az egyes gyantakompozíciók közötti minőségi változások regisztrálására és a természetes vizsgálatokkal ellentétben gyors eredményeket szolgáltatnak.

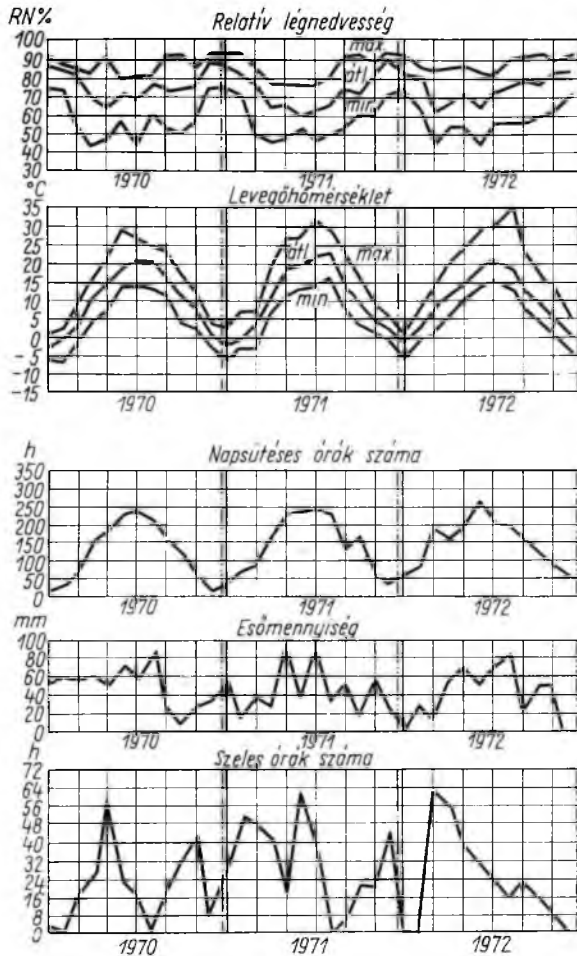
#### 3.1 A mesterséges igénybevételek

A vizsgálatok során alkalmazott mesterséges igénybevételek a következők voltak:

- Mesterséges *napfényállósági* vizsgálat Xenotest 450 típusú berendezésben 1500 h-s besugárzással, amelyet 90 percenként 15 perces esőztetéssel kombináltunk.
- Gyors *hőmérsékletváltozással* szembeni ellenállóképesség vizsgálata, amely +80 °C hőntartás utáni –50 °C-os hűtésből állt. Ezt a vizsgálatot 15 ciklusban végeztük.
- Gyorsított *nedves-melegállósági* vizsgálat +25 °C és 55 °C között, a légnedvesség 80%, ill. 95% volt. E vizsgálatokat villamos igénybevétellel kombináltuk: a felületen mintegy 1,2 m hosszban labirint vonalban kialakított 3 mm széles elektródok közé kapcsolt 300 V feszültségigénybevétellel.

#### 3.2 Természetes igénybevétel

A természetes igénybevételt az orgoványi szabadtéri kitéti állomáson végeztük két évig (1970 decembertől 1972 decemberig). Az állomás legfontosabb meteorológiai jellemzőit a 6-2. ábra mutatja. A mintákat az állomáson déli irányba, 45°-os szögbe beállított állványokon helyeztük el.



6-2. ábra. Orgoványi kitéti állomás meteorológiai adatai

### 3.3 Mérési módszerek

A mintákon a mesterséges napfényállóság, gyors hőmérsékletváltozás és a természetes igénybevételek előtt, alatt és után a következő jellemzők mérésével állapítottuk meg a bekövetkezett változásokat:

fajlagos térfogati ellenállás	MSZ 4854
fajlagos felületi ellenállás	MSZ 4854
dielektromos veszteségi tényező	MSZ 4857
villamos szilárdság	MSZ 20880
kúszóáram-szilárdság	DIN 53480
ívállóság	VDE 0303/5
vízfelvétel vizsgálata	MSZ 7085 figyelembevételével
felületi fényesség vizsgálata	Lange-féle műszerrel
repedésvizsgálat	szemrevételezés mikroszkóppal

6-4. táblázat

Villamos jellemzők változása az igénybevételek hatására és a vízfelvétel

Gyantarendszer	Igenybevetel														Vízfelvétel
	napfényállóság				gyors hőmérséklet-változás				természetes						
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	A	B	
Araldit CY 185	0,95	2,71	949	1,4	0,43	3,0	28	1,1	1,86	4,9	534	0,2	1500	8	0,14
Araldit CY 183	0,88	2,55	629	3,2	0,27	1,8	178*	1,1	1,88	3,9	372	1,0	1500	17	0,18
Araldit CY 175	0,51	2,14	219	1,1	0,02	1,9	177*	0,1	1,19	3,8	254	0,7	1500	8	0,12
Araldit CY 180	0,85	1,97	606	1,2	0,04	1,5	109*	0,1	0,77	3,9	330	0,8	1750	8	0,18
Araldit B	0,40	1,91	1413	1,2	0,25	1,7	71*	0,5	0,33	3,6	497	0,2	2250	103	0,06

Jelölések:

- 1 falgazos térfogati ellenállás nagyságrendi változása (Ωcm<sup>2</sup>/cm),
- 2 falgazos felületi ellenállás nagyságrendi változása (Ωcm/cm),
- 3 a dióktromos veszteségi tényező igénybevétel után és előtti mért értéke különbségének 10<sup>-4</sup>-szereese,
- 4 a villamos szállítás igénybevétel után és előtti mért értékeinek különbsége (KV),
- A az áttűrési feszültség igénybevétel után és előtti mért értékeinek különbsége (V),
- B vezetécatornák száma,
- V vízfelvétel kezdeti állapotban (%),
- \* a kezdeti értékekhez képest javulás mutatkozott.

A gyorsított nedves-meleg és egyidejű feszültségigénybevétel hatását az átívelési feszültség és a kúszónyomok számának meghatározásával követtük. A méréseket 24 h állandósítás után hajtottuk végre.

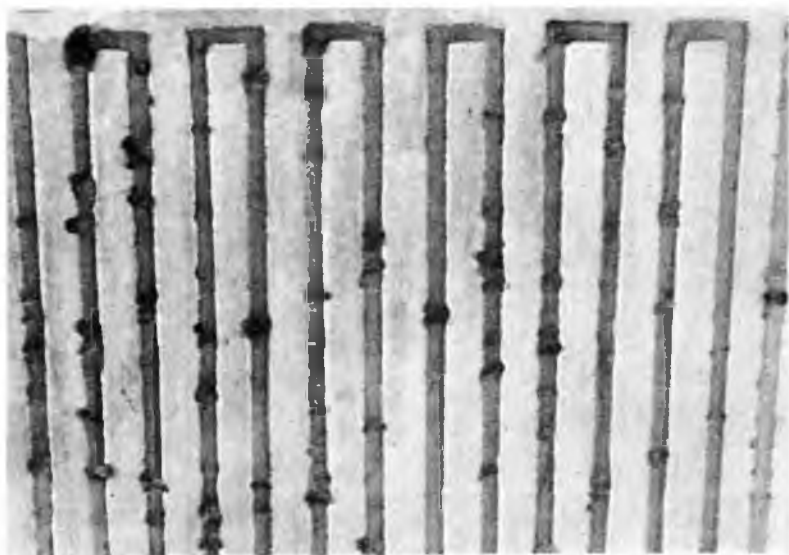
### 3.4 Az igénybevételek értékelése

Az igénybevételek hatására bekövetkezett jellemzőváltozásokat a 6-4. táblázat mutatja.

A táblázatban megadott adatok alapján a következőket állapíthatjuk meg:

A szokásos villamos jellemzők változása alapján a külsőtéren használható átvezető szigetelők nem ítélték jobbakká, mint a belsőtéren használható, hagyományos összetételű gyantával készült átvezetőszigetelő. Az azonos villamos jellemzők szerinti összehasonlítás inkább az egyes igénybevételek szigorúságára ad felvilágosítást. Ennek alapján a természetes igénybevétel károsító hatása mutatkozik meg elsősorban, mivel a szigetelőanyag felületi roncsolódásán túlmenően a légszennyeződések befolyása is jelentkezik. Második helyen említendő a mesterséges napfény-igénybevétel, amelynek hatása a felületi gyantaréteg folytonosságának megszakításában mutatkozik meg. Legkevésbé érzékenyek az alapgyanták a gyors hőmérsékletváltozással kapcsolatos igénybevételre.

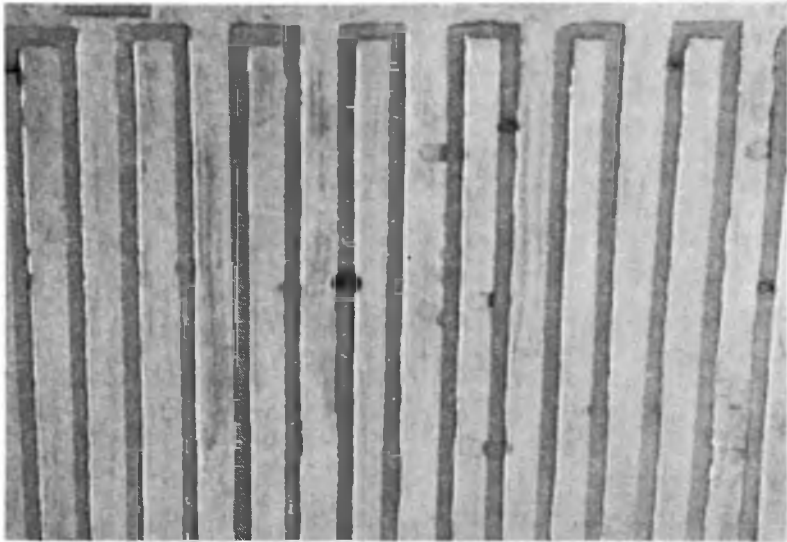
A táblázatból kitűnik az is, hogy az egyes igénybevételeken belül a különböző alapgyanták villamos jellemzőiben tapasztalható változások egymás között nem nagy értékek, általában 0,5 nagyságrenden belül maradnak. Így a szokásosan mért villamos jellemzők változása alapján egyik gyantarendszer sem emelhető ki. Különösen nehéz az értékelhetőség azért, mert figyelembe kell vennünk egyrészt a nedvességállóságot (l. a 6-4. táblázat vízfelvételekre vonatkozó oszlopát) és a magasabb hőmérsékleten



6-3. ábra. A gyorsított nedves-meleg igénybevétel folyamán kialakult vezetősatornák sűrűsége a belsőtéri kiöntőgyantával készült próbalapokon

végbement utólagos térhálósodást is (l. a 6-4. táblázat gyors hőmérsékletváltozás 3. oszlopában a dielektromos veszteségi tényezők javulását).

A nagyobb vízfelvételű alapgyanták esetében valamennyi igénybevétel alatt a nedvesítés hatására felvett víz a jellemzőket nagyobb mértékben rontja, mint az egyéb károsító tényezők, és így e gyanták az összehasonlításban megtevesztően rosszabbul szerepelhetnek. A hőkezelést, ill. magasabb hőmérsékletet tartalmazó igénybevételek hatására — a CY 185 kivételével — valamennyi alapgyantában többé-kevésbé végbement térhálósodás a villamos tulajdonságok javulását okozhatta. Ez a javulás nyilvánvalóan kompenzálhatta a rövid idejű hőhatás okozta kismértékű degradációs romlást.



6-4. ábra. A gyorsított nedves-meleg igénybevétel folyamán kialakult vezetősatornák sűrűsége külsőtéri kiöntógyantával készült próbalapokon

A leginkább egyértelmű eredményre a gyorsított nedves-meleg igénybevétellel (páralecsapódás) kombinált villamos igénybevétel vezetett, jóllehet a módszer jelenleg csak minőségi összehasonlításra alkalmas (6-3. és 6-4. ábra). Az itt kapott eredmények szerint kialakult külsőtéri használhatóság szempontjai szerint felállítható minőségi sorrend megközelíti a közvetlenebb jellemzők vizsgálatával meghatározható sorrendet. E vizsgálat szerint a CY 185, majd kis különbséggel a CY 175 jelű alapgyanták bizonyultak a legjobbnak.

#### **4. 20 kV-os szabadtéri átvezetők elkészítése, tartampróbája és vizsgálata az orgványi szabadtéri állomáson**

Mint már az előzőekben is hangsúlyoztuk, a mesterséges vizsgálatok, bármennyire is sokoldalúak, nem helyettesíthetik a szabadtéri villamos feszültség alatti tartampróbákat, mert csak ez utóbbi próbák során lépnek fel mindazon igénybevételi hatások együttesen, amelyek végső soron a szigetelések romlását előidézik. Sajnos ezek a vizs-



6-5. táblázat

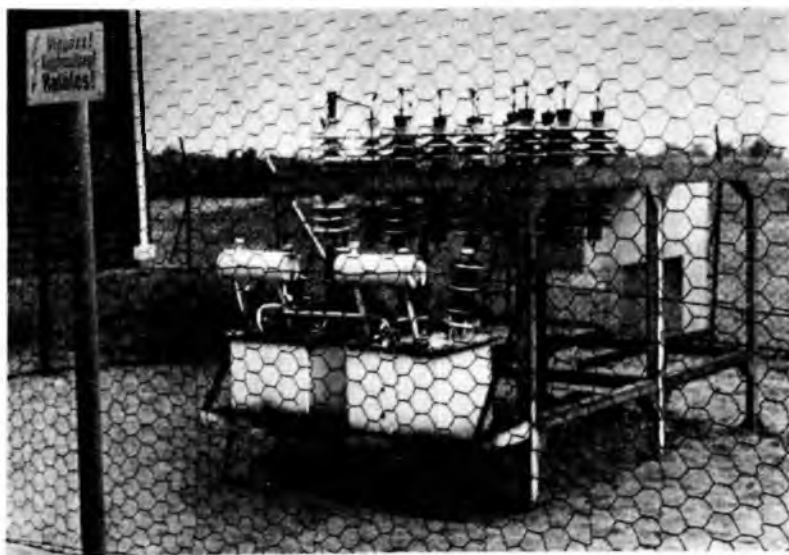
Átvezetőszigetelők anyagösszetétele súlyrészben

Jelzés	A	B	C	D
Araldit CY 175	100	100		100
Araldit CY 185			100	
Härter HT 907	95	95	70	95
Flexibilizátor DY 040	20	20		20
Gyorsító DY 065			2	
Kvarcliszt	330	170	40	
Füller DT 079	—	170	280	330

gálatok igen hosszadalmasak — hiszen jó anyagokat vizsgálunk — és csak 4—5 éves kitétel után jelentkeznek számottevő különbségek.

Az átvezető szigetelők konstrukcióját a VBKM-FI készítette el. A vizsgálatok lefolytatásához négy összetételben 3—3 db-ot készítettünk. Az összetételek meghatározásakor figyelembe vettük az időközben megindított mesterséges vizsgálatok eredményeit is. A gyantakompozíciókat a 6-5. táblázat foglalja össze.

1971. márciusában történt a kihelyezés Orgoványban és azóta 6 havonként állandóan ellenőrizzük a próbadarabokat. A névleges feszültségen történő vizsgálathoz az állomás déli részén külön erre a célra elkészített nagyfeszültségű vizsgálati helyet építettünk ki. A szigetelőket négy csoportban (3—3 db párhuzamos szigetelővel) oly módon helyeztük ki, hogy a felületet károsító napfény, csapadék, por és homok hatása egyidejűleg szabadon érvényesülhessen (6-5. ábra). A bekövetkezett változá-



6-5. ábra. Az orgoványi kitéti állomáson kialakított nagyfeszültségű vizsgalórész, szigetelőtartó állvánnyal és nagyfeszültségű transzformátorral

sokat a típusvizsgálati szabványok egyes részleteinek, módszerekre és követelményekre vonatkozó előírásainak figyelembevételével állapítottuk meg:

A kihelyezett szigetelőknél a mérési időszakokban a következő vizsgálatokat folytattuk le:

- dielektromos veszteségi tényező mérése a hőmérséklet függvényében 25, 50, 75, 100 és 130 °C-n,
- dielektromos veszteségi tényező mérése MSZ 263/2 szerint a feszültség függvényében a  $0,2 \dots 0,8 U_n$  között hat feszültséglépcsőben,
- ipari frekvenciájú próbafeszültség MSZ 9250—66 szerint száraz állapotban, 65 kV-on 1 percig,
- felület állapotának ellenőrzése MSZ 263/1 szerint fényesség, színváltozás, érdesség szempontjából.

## 5. A vizsgálatok eredményei és értékelése

### *Dielektromos veszteségi tényező mérése a hőmérséklet függvényében*

A hőmérséklet függvényében mért veszteségi tényező szempontjából, a kihelyezési idő függvényében a *C* jelű szigetelők mutatták a legnagyobb állandóságot. A *D* és *B* jelű szigetelőknél közepes, míg az *A* jelűeknél már a kiindulási állapottól kezdve erős romlás tapasztalható (l. 6-6. ábra).

### *Dielektromos veszteségi tényező mérése a feszültség függvényében*

A legkisebb és legnagyobb feszültségértéken mért  $\tan \delta$  értékek különbsége a kihelyezés folyamán valamennyi mérési időszakban egy nagyságrenddel a szabványban megengedett 0,02 érték alatt maradt.

Az egymáshoz képest összehasonlítás céljából ábrázolt  $U^2 \tan \delta$  és  $U^2 \tan \delta_0$  értékei ugyancsak az *A* jelű szigetelők erős romlását mutatják. A jósági sorrend *A, C, D, B* — bár kevésbé szelektív módon — az előbbi pontban bemutatott eredményeket igazolja.

### *Ipari frekvenciájú próbafeszültség*

A szigetelők száraz állapotban 65 kV-on 1 percig végzett feszültségpróbát átütés és átívelés nélkül kibírták. A vizsgálat folytatásaként 100 kV-ig növeltük a feszültséget, de átívelés egyetlen szigetelőn sem következett be.

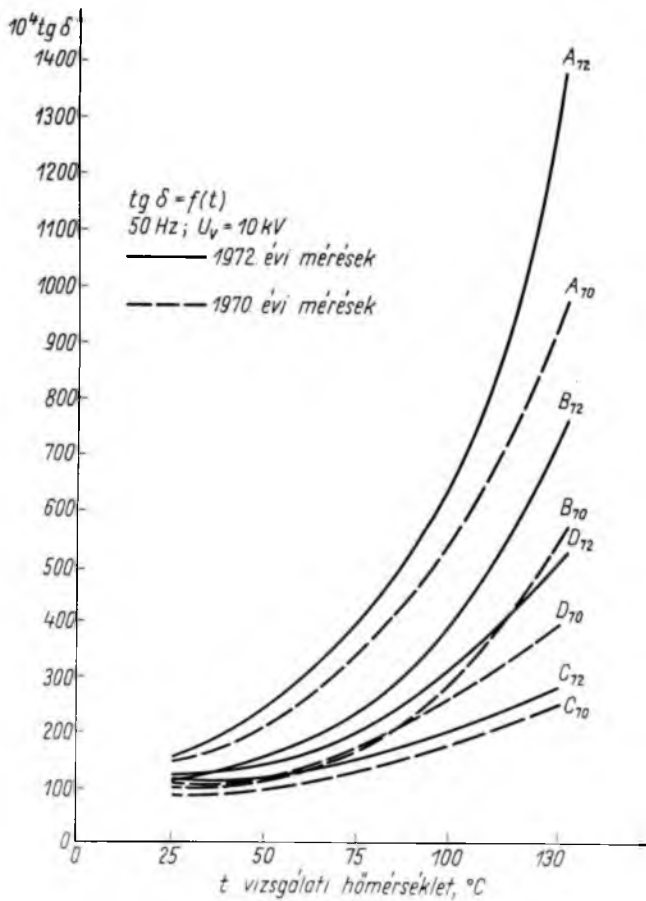
### *A felület állapotának ellenőrzése*

Az *A, B, C* jelű szigetelők felületén vékony, jól törölhető porréteg alakult ki, amelyen kívül semmiféle maradandó elváltozást nem tapasztaltunk. A *D* jelű szigetelők felső tányérján, valamint az alatta levő tányérok szélén az utolsó két hónap folyamán erős kifehéredés, mattulás lépett fel. Az elváltozás mérési eredményekben nem volt kimutatható.

### *Az átvezetőszigetelők vizsgálatával kapcsolatos eredmények összefoglalása*

A négyféle összetételben (kétféle alapgyanta és kétféle töltőanyag-variáció) elkészített 20 kV-os szabadtéri átvezetők orgoványi természetes vizsgálata alapján a következőket állapíthatjuk meg:

A gyantarendszerek villamos szigetelőképességének stabilitása az elmúlt kitéti időszakban nem változott meg, és megfelelnek a szabvány követelményeknek.



6-6. ábra. Változások a 20 kV-os átvezetők veszteségi tényezőjében az orgoványi kihelyezés alatt

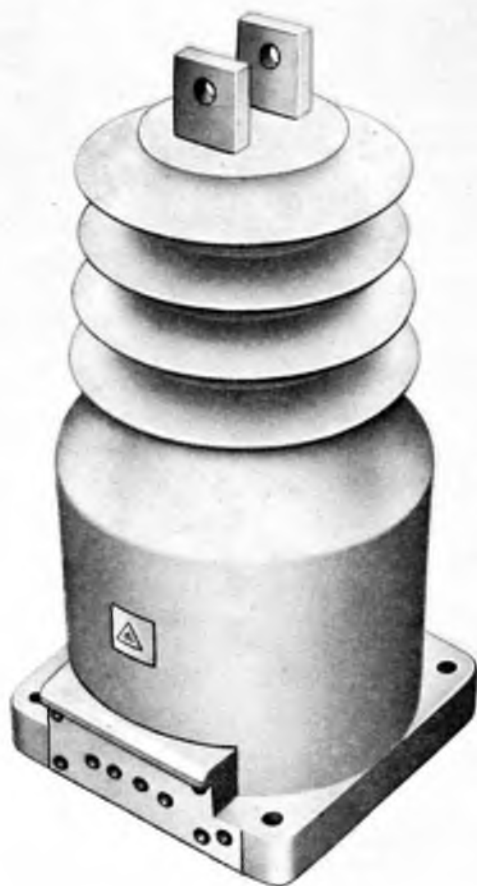
Az ellenőrző mérésenként végrehajtott  $tg \delta$ -vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a C kompozícióból készült átvezetők mutatják a legkedvezőbb tulajdonságokat, az A összetétel változása a legnagyobb, de a 2 éves vizsgálati idő alatt nem befolyásolta a szigetelők üzemképességét.

Az átvezetők felületi tulajdonságai — a D gyantarendszer kifehéredésétől eltekintve — nem változtak a kihelyezés folyamán.

## 6. További alkalmazástechnikai kísérletek és eredményei

Az eddigi tapasztalatok alapján a Transzvill megbízásából elkészítettük a 20 kV-os szabadtéri áramváltók konstrukcióját. A konstrukció kialakításakor figyelembe vettük mindazon körülményeket és igényeket, amelyek a szabadtéri mérőváltókkal kapcsolatban felmerültek. Így természetesen lényegesen megváltoztak a méretek, a kúszóutak megnövekedtek stb. Az áramváltóöntéshez az Araldit CY 185 jelű cikloalifás gyantát

alkalmaztuk kvarcliszt és hidratált alumíniumoxid töltőanyag keverékével. Az áramváltót, amelynek belső felépítése lényegében változatlan maradt, csupán egy kb.  $1 \dots 1 \frac{1}{2}$  cm vastag külső, cikloalifás burkolattal láttuk el (6-7. ábra). A kísérletek folyamán összesen 8 db készült el, különböző 20...800/5 áttételekkel. Az áramváltó-



6-7. ábra. ATM-20 típusú, szabadtéri kivitelűvé átalakított áramváltó, CY 185-ös gyantából kiöntve

kon lefolytattuk a szabványos típusvizsgálatokat, majd 1972. tavasza óta Orgoványban üzemeltetjük. Az eddigi szabadtéri igénybevétel — az igénybevételi idő rövid volta miatt — semmiféle elváltozást nem mutatott. Ezzel párhuzamosan az egyik áramváltót a VEIKI-ben ún. tracking vizsgálatnak vetettük alá. A névleges feszültségen üzemelő áramváltóra  $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  vezetőképességű oldatot  $45^\circ$ -ban permeteznek. A már több mint 2000 órája folyó rendkívül erőteljes igénybevétel ellenére a készüléken semmiféle elváltozás nem mutatkozott. Mindkét helyen tovább folynak a vizsgálatok a meghibásodásig.

## 7. Összefoglalás

A cikloalifás gyantákon végzett eddigi mesterséges vizsgálataink arra mutatnak, hogy az egyes mesterséges igénybevételek önállóan alkalmazva, az eddig ismert szigetelőanyagok hasonló igénybevételeitől eltérően nem hoznak lényeges változásokat, vagyis a gyanták, ill. gyantakompozíciók igen stabilak. A kombinált igénybevételek hatásossága már az eddigi kísérletek során is megmutatkozott, és jó kiindulási alapul szolgál a további mesterséges igénybevételei programok kidolgozásához.

Mindezek mellett természetesen nem hanyagolható el a természetes vizsgálatok, ill. kitétek végrehajtása sem, noha részben az igénybevételek (pl. időjárás) fajtája, hatása erősen változó. Sok bizonytalansági faktort tartalmaz és hosszadalmas. Az általunk eddig végzett természetes igénybevételeket folytatni kell, ezek eredményeiről további beszámolóinkban adunk majd ismertetést. Az eddigi vizsgálatok mindenesetre biztosítottak annyi tapasztalatot, hogy a VEIKI-MŰKI-VKI-teamben megkezdhetjük a 120 kV-os tám- és függőszigetelők kifejlesztését.

### Irodalom

- [1] *Dr. Rexer, E.*: Chemische Veränderungen von Stoffen. Deutscher Verlag, Leipzig 1965.
- [2] *Behr*: Hochtemperaturbeständige. Kunststoffe, Hauser Verlag, München 1969.
- [3] *Achhammer*: Beziehung zwischen chemischer Struktur und Beständigkeit Polymer. Kunststoffe, **49** (1959) 600.
- [4] *Norman*: Nontracking Organic Insulation AIEE Transactions Vol 75. 1956. 257—261.
- [5] *Ernst*: Neuentwicklungen auf dem Epoxidharzgebiet. VDI-Berichte Nr. **65** (1962) 79—82.
- [6] *Sauere*: Giessharze für elektrotechnische Anwendungen. Kunststoffe **62** (1972) 342—347.
- [7] *Richon*: Freiluftbeständige elektrische Isolatoren aus cykloalifatischen Araldit-Epoxidharzen. CIBA kiadvány 1968. július.
- [8] *Richon*: Freiluftbeständige elektrische Isolierteile. CIBA-Geigy kiadvány. 1971 január.



# 7.

## Epoxigyanta alapú villamosipari sajtolóanyagok fejlesztése és alkalmazástechnológiai problémái

DR. FAZEKAS GÁBORNÉ—TALPAI JÓZSEF

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az epoxigyantás sajtolóanyagok lényeges területet hódítottak meg az erős- és gyengeáramú termékek gyártásában. Ezeknek a speciális sajtolóanyagoknak kiválóak a villamos, a mechanikai, a termikus és a kémiai tulajdonságaik. A sajtolóanyagok kutatása megkövetelte, hogy gyártástechnológiájukat, tulajdonságaikat és feldolgozási technológiájukat együtt tanulmányozzuk.

Az igen nagy intervallumon belül beállítható folyóképeség alkalmassá teszi az epoxigyantás sajtolóanyagok egy részét olyan műszaki feladatok megoldására is, amelyek az eddigi hagyományosnak nevezhető sajtolóanyagokkal nem oldhatók meg. Ilyen alkalmazási terület pl. a különböző villamos alkatrészek tokozása. Egy másik fontos terület a fém:pcr töltésű sajtolóanyagok előállítása és alkalmazástechnológiai problémáinak kutatása.

Az Intézetünkben megvalósított félüzemi gyártással, az alkalmazási lehetőségek kiterjesztésének módszeres vizsgálatával, valamint a tokozási technológiák állandó fejlesztésével a hazai szigetelés technika lényeges hiányait kívántuk pótolni.

### РАЗРАБОТКА И ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕССМАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА БАЗЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

*Д-р Г. Фазекаш—И. Талпай*

#### Резюме

Прессматериалы на базе эпоксидных смол нашли очень широкую область применения в производстве силовых и слаботочных изделий.

Эти специальные прессматериалы обладают отличными электрическими, механическими, термическими и химическими свойствами.

Исследование прессматериалов потребовало совместное изучение технологии их изготовления, свойств и технологии обработки.

Текущая устанавливаемая в очень широком диапазоне делает пригодной часть прессматериалов на эпоксидных смолах для решения задач, которые являлись нерешимыми с помощью являющихся уже традиционных прессматериалов. Такой областью применения является, например, футляровка различных электрических деталей. Другой областью применения, например, является изготовление и исследование проблем техники их применения прессматериалов с копаундом (заполнителем) из металлических порошков.

Работами, проведенными в Институте по полужавовскому производству, исследованию по расширению области применения, а также в области постоянного усовершенствования технологии герметизации мы стараемся заполнить пробелы, имеющиеся в отечественной изоляционной технике.

# ENTWICKLUNG UND ANWENDUNGSTECHNOLOGISCHE PROBLEME VON FORMMASSEN DER ELEKTROINDUSTRIE AUF EPOXIDHARZBASIS

*Frau Dr. Fazekas—J. Talpai*

## Zusammenfassung

Die Epoxidharz-Pressmassen eroberten ein grosses Gebiet in der Herstellung der Produkte der Stark- und Schwachstromtechnik. Diese speziellen Pressmassen besitzen ausgezeichnete, elektrische, mechanische, thermische und chemische Eigenschaften.

Die Forschung der Pressmassen erforderte die gemeinsame Studierung ihrer Herstellungstechnologie, ihrer Eigenschaften und ihrer Verarbeitungstechnologie.

Durch das in sehr grossem Bereich einstellbare FlieBverm6gen ist ein Teil der Epoxidharz-Pressmassen f6r die L6sung auch solcher technischen Aufgaben geeignet, welche mit den bisherigen traditionellen Pressmassen nicht gel6st werden konnten. Ein solches Anwendungsgebiet ist zum Beispiel die Einkapselung der verschiedenen elektrischen Bauelemente. Ein anderes Anwendungsgebiet ist die Fertigung und die Forschung der anwendungstechnologischen Probleme der Pressmassen, die mit Metallpulver gef6llt sind.

Durch die in unserem Institut realisierte kleinbetriebliche Produktion, die methodische Pr6fung der Ausbreitung des Anwendungsgebietes, sowie die st6ndige Entwicklung der Einkapselungstechnologien w6nschten wir die wesentlichen M6ngel der einheimischen Isoliertechnik zu ersetzen.

## DEVELOPMENT AND APPLICATION TECHNOLOGY OF EPOXY-RESIN-BASED MOULDING MATERIALS USED IN ELECTRICAL INDUSTRY

*By Mrs. G. Fazekas—J. Talpai*

### Summary

Epoxy-resin moulding materials have conquered important fields in the manufacture of power-current and low-current products. These special moulding materials exhibit outstanding electrical, mechanical, thermal and chemical properties.

The research of moulding materials has imposed the requirement of studying their production technology, properties and processing technology together.

The fluidity of epoxy-resin moulding materials being adjustable within wide temperature limits, some of these materials are suitable for solving engineering problems that could not be accomplished with conventional moulding materials used so far. A typical application of this kind is the encapsulation of various electrical components. Another field is the preparation of metal-powder-filled moulding materials and the research of problems associated with their application.

The activities of the Institute include the introduction of production on a pilot-plant scale, systematic test of further potential applications and continuous development of encapsulating technologies, aimed at eliminating major short-comings in the field of insulation techniques applied in Hungary.

### 1. Bevezet6s

A villamosiparban alkalmazott m6anyagok elterjedts6g6t vizsgálva nyugodtan meg6llap6thatjuk, hogy — j6llehet a h6re l6gyul6 anyagok alkalmaz6sa 6ltal6nos — a h6re kem6nyed6 sajtol6anyagok jelent6s6ge az ut6bbi 6vekben ugr6sszer6en n6tt. Felhaszn6l6suk kiterjed a villamosipar szinte valamennyi 6g6ra. Az er6s6ram6 berendez6sek sajtolt alkatr6szzeit6l eg6szen az elektronikus elemek fr6ccsajtol6l6ssal t6rt6n6 tokoz6s6ig a h6re kem6nyed6 sajtol6anyagok legk6l6nb6z6bb fajt6it alkalmazz6k.



A hőre keményedő sajtolóanyagok első képviselői a villamosiparban az ún. bakelit sajtolóanyagok voltak (fenol-formaldehid alapú, faliszt töltőanyagú sajtolóanyagok). A villamosipari konstrukciók további fejlődése idővel szükségessé tette újabb sajtolóanyagok kifejlesztését. A kúszóáram-szilárdság iránti igény fokozódása követelte meg a különböző karbamid-, ill. melamin-formaldehid gyanta alapú aminoplaszt sajtolóanyagok kifejlesztését. További fejlődést jelentett az epoxigyanta alapú sajtolóanyagok megjelenése, amelyeknek számos előnyös tulajdonsága van. Ezek közül a legfontosabbak a kiváló villamos, mechanikai és termikus tulajdonságaik, valamint nagyfokú ellenállóképességük nedvességgel és különböző kemikáliákkal szemben. A típusok egy része e mellett igen jó kúszóáram-szilárdsággal is rendelkezik [1], [2], [3], [4]. További előnyt jelent a feldolgozási körülmények, elsősorban a sajtolási hőmérséklet iránti kis érzékenység [1], [2], ellentétben pl. a legtöbb aminoplasztféleséggel. A feldolgozás és alkalmazás szempontjából ugyancsak fontos folyóképesség és vele a feldolgozáshoz szükséges nyomás széles intervallumon belül változtatható.

Az új típusú sajtolóanyagok kutatása és előállítása szoros összefüggésben áll egyrészt a feldolgozástechnológia kutatásával, másrészt az újszerű alkalmazási területek felkutatásával, a lehetőségek feltárásával. Ennek oka az, hogy az új, jobb tulajdonságú anyagok megjelenése újszerű feldolgozási módokat tesz lehetővé, másrészt a korszerű feldolgozási módok visszahatnak a sajtolóanyaggal szemben támasztott minőségi követelményekre is. A feldolgozástechnológiai paraméterek pontos ismerete szükséges a legtöbb korszerű, automatikus feldolgozáshoz, pl. az újabban egyre jobban elterjedő fröccsöntő eljárásokhoz, ami újdonság a hőre keményedő sajtolóanyagoknál. Ez az eljárás a hagyományos feldolgozáshoz képest sokkal termelékenyebb, továbbá olyan technológiai megoldásokat is lehetővé tesz, amelyek eddig nem jöhettek számításba. (Pl. nagy, bonyolult alakú műanyag alkatrészek készítése.) Egy automata feldolgozógépen viszont nem lehet mindig alkalmazkodni a sajtolóanyag minőség-ingadozásához, tehát elengedhetetlen, hogy a sajtolóanyag minősége egyenletes legyen. Az epoxigyantás sajtolóanyagok folyóképességének fentebb említett variációs lehetősége teszi alkalmassá ezeknek az anyagoknak egy részét (főleg a szemcsés ásványi töltőanyagot tartalmazó típusokat) olyan műszaki feladatok megoldására is, amelyek a hagyományosnak nevezhető sajtolóanyagokkal nem lehetségesek. Ilyen alkalmazási terület pl. a különböző villamos alkatrészek, tekercsek, kistranszformátorok, tranzisztorok, síkellenállások stb. fröccssajtólással történő tokozása.

A tokozás az alkatrészt tökéletesen védi a környezeti hatásokkal szemben, ugyanakkor a rögzítés is igen egyszerűen megoldható [5, 6, 7, 8, 9]. Ezáltal az új típusú sajtolóanyagok, továbbá a korszerű feldolgozási módok és alkalmazások a villamosipar számos területén igen komoly előrelépést tesznek lehetővé [10], [11], [12], [13], [14], [15].

Magyarországon a villamosipari igényeket kielégítő sajtolóanyagok fejlesztésével 1960 óta a VKI és a MŰKI összehangolt és szervezett kutatást folytat. Egy fenoplaszt és két aminoplaszt típusú sajtolóanyag kifejlesztése és ipari bevezetése után az igények növekedése szükségessé tette az epoxigyanta alapú termékek kifejlesztését is. Ezeket a sajtolóanyagokat az ipar korábban kizárólag importból szerezte be. Felhasználásuk egyre inkább terjed. A két Intézet 1968-ban kezdett hozzá a kutatási feladat megoldásához. Célunk volt a sokféle lehetséges típus közül azoknak a kifejlesztése, amelyekre a villamosiparnak előreláthatólag leginkább szüksége lesz, továbbá, amelyek megoldására a műszaki és pénzügyi adottságok leginkább biztosítottak látszottak. A kutatási munka során három fő típust alakítottunk ki. 1972-ben beindítottuk mindhárom sajtolóanyag folyamatos gyártását az időközben létrehozott kísérleti

félüzemünkben. Összesen mintegy 5 t sajtolóanyagot állítottunk elő, ennek nagy részét a felhasználó vállalatok megrendelésére. Az üzemi szakemberekkel együtt részt vettünk a feldolgozási technológiák kialakításában és az alkalmazási területek felkutatásában, ill. kiszélesítésében.

## 2. Laboratóriumi kísérletek

Számos külföldi szabadalmi leírás [16], [17], [18], [19] tanulmányozása és az import sajtolóanyagok vizsgálata után tapasztalatainkat saját elképzeléseinkkel összevetve, munkánkat a legmegfelelőbb alapanyagok kiválasztásával kezdtük.

### 2.1 Epoxigyanta komponens

A gyantakomponenst a MŰKI által kifejlesztett és hazánkban gyártott epoxigyanták közül választottuk, de az alapvető méréseket import (CIBA gyártmányú) gyantákon is elvégeztük. Különböző gyanta—hálósító kombinációk reakciókészségét vizsgáltuk meg a gélesedési idő mérésének segítségével.

A megvizsgált alapgyanták:

szilárd epoxigyanták:     Araldit B (CIBA),  
                                  Eporesit K4 (hazai);  
folyékony epoxigyanták: Araldit F (CIBA),  
                                  Eporesit F 17,  
                                  Eporesit F 22 (hazai).

Ha szilárd, kb. 400-as epoxi-ekvivalensű epoxigyantával dolgoztunk, akkor ez még a legaktívabb hálósítókkal sem volt képes olyan elegyet alkotni, amely a szokásos sajtolási hőmérsékleten (150...180 °C) a sajtolószerszámban néhány perc alatt kikeményedne. A szilárd epoxigyantáknak viszont az az előnyük, hogy technológiailag könnyebben kezelhetők a legelterjedtebb, ún. hengerszékes technológiával.

Folyékony, 180...200-as epoxi ekvivalensű gyantákból kiindulva a reakcióképesség jóval kedvezőbb, de az anyag nehezebben kezelhető. Az ezirányban végzett számos kísérletre nem térünk ki. A kapott eredmények alapján arra a megállapításra jutottunk, hogy helyesebb folyékony epoxigyantát használni, ezért alapgyantaként a Villamosszigetelő- és Műanyaggyárban gyártott folyékony Eporesit F 17 gyantát választottuk. A gyanta epoxi ekvivalense 190...195, viszkozitása 20 °C-on kb. 20 000 cP.

### 2.2 Hálósító

A megfelelő hálósító kiválasztásakor szintén több dologra kell tekintettel lenni:

- a hálósító legyen kellő reakcióképességű (gyors), hogy lehetővé tegye a vele készült sajtolóanyag gyors kikeményedését a szerszámban;
- a fokozott reakcióképesség ne rontsa túlságosan az anyag tárolhatóságát, azaz a tárolás hőmérsékletén a hálósodás ne haladjon előre, különben az anyag rövid időn belül elveszti feldolgozhatóságát;
- a hálósító biztosítsa a sajtolóanyag jó tulajdonságait.

A vizsgált hálósítók:

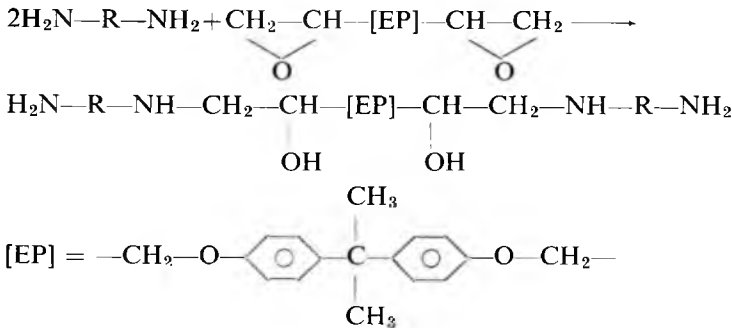
meta-fenilén-diamin (MFD),  
 diamino-definil-szulfon (DDS),  
 diamino-difenil-metán (DDM),  
 dician-diamid (DDA),  
 ftálsavanhidrid és származékai stb.

A vizsgált gyorsítók:

bórt trifluorid-monoetilamin-komplex,  
 hexametilén-tetramin.

Savanhidridekkel végzett kísérleteink nem vezettek eredményre. A sajtolóanyagok feldolgozás közben túl lassan térhálósodtak. A végtermék nem volt megfelelő mechanikai szilárdságú, viszonylag képlékeny maradt, és a gyorsítók sem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket.

A megfelelő reakciósebesség érdekében kevert amin hálósítókkal dolgoztunk. A kémiai kötés az epoxigyanta és a többértékű aminok között az aminok aktív hidrogénjeinek közvetítésével jön létre. A reakció feltehetően a következő reakciómechanizmus szerint játszódik le:



Az aminhálósítók legmegfelelőbb keverési arányát a már említett módon, a géleledési idő mérésével, másrészt a MÜKI Brabender-plasztográfjának 70 cm<sup>3</sup>-es keverőberendezésében készült kompaundok vizsgálatával határoztuk meg. A hálósítók keverésével elértük a lehetséges optimális tulajdonságokat: gyártáskor a massa viszonylag gyors megszilárdulását, a megfelelő apríthatóságot, elfogadható tárolási időt és feldolgozáskor a megfelelő rövid sajtolási időt.

### 2.3 Töltőanyagok

A sajtolóanyagok kifejlesztése során a legtöbb munkát a megfelelő töltőanyagrendszer kialakítására kellett fordítanunk, ugyanis az egyes tulajdonságokat más-más töltőanyag alkalmazásával biztosíthatjuk.

A mechanikai szilárdságot különböző hosszúságú üvegszálak bevitelével érhetjük el. Az üvegszál természetesen önmagában nem alkalmazható. Az ásványi töltőanyagrendszerekben a leggyakrabban alkalmazott töltőanyag a kaolin. Csupán kaolin-nal viszont nem biztosítható a megfelelő kúszóáram-szilárdság. Igen jó eredményeket adott az alumíniumoxid-trihidrát, ennek azonban olyan nagy a fajlagos felülete, hogy a megfelelő mechanikai szilárdság és a feldolgozásnál leginkább megfelelő viszkozitás érdekében csak más töltőanyagokkal keverve jöhet szóba. Ezenkívül a gazdaságossági

szempontok szem előtt tartásával arra kellett törekedni, hogy lehetőleg minden anyag hazai termék legyen.

Komoly problémát jelentett a sajtolóanyagok előállításakor, hogy Magyarországon sajnálatosan nincs megoldva a töltőanyagok megfelelő specifikálása. Altlában a névmegjelölés mellett teljesen hiányzik a szemcseméret megjelölése; ugyanígy a tisztasági fok és nedvességtartalom is ingadozik.

## 2.4 Csúsztatóanyagok

A sajtolóanyagokhoz adagolt klasszikus csúsztatók a szerszámba való betapadás megakadályozására, a jobb sajtolhatóság biztosítására hivatottak. A kísérleti fázisban kipróbáltuk a sztearinsavat, a cinksztearátot, a Hoechst cég Wachs E és Wachs OP nevű csúsztatóanyagát. Legjobb hatást sztearinsav-cinksztearát keverésével kaptunk. Az üzemi gyártásban azonban a sztearinsav helyett sztearint alkalmazunk, mivel az előbbi anyag beszerzése nehézségeket jelentett, továbbá magas ára, kis mennyisége ellenére is, kedvezőtlenül hatott sajtolóanyagunk előállításának gazdaságosságára.

## 2.5 Színezékek

Különböző, présporokhoz ajánlott, főleg import festékanyagokat próbáltunk ki. Néhány színezék kedvezőtlenül befolyásolta a sajtolóanyag tulajdonságait; pl. a korom túladagolása a kúszóáram-szilárdság romlását okozhatja. Nehézséget okozott az állandóan változó beszerzési forrás problémája is. Új színezék beszerzése mindig új színbeállítási próbákkal járt.

# 3. A gyártástechnológia kidolgozása

## 3.1 Gyártástechnológiai variációk

Az alapanyagok vizsgálatával egyidejűleg végeztük a sajtolóanyag készítési módjára vonatkozó kísérleteinket, amelyek négy probléma köré csoportosultak:

- a hálósítók beoldása a gyantába;
- a töltőanyagok homogenizálása;
- a töltőanyag és a hálósított gyanta intenzív összekeverése;
- megfelelő szemcseméretű anyag készítése.

A MŰKI Brabender-plasztográfjának keverés céljára való alkalmazása lehetővé tette, hogy az igen sok összetevőt tartalmazó különböző variációkat kis mennyiségben állítsuk elő és csak a megfelelőnek látszó keverékeket készítsük el nagyobb mennyiségben. A méretek növelésében a következő lépést egy 10 l-es Z-karú keverőberendezés alkalmazása jelentette. Ez azonban nem biztosította a kellő homogenitást. A töltőanyagok és a hálósítókat tartalmazó epoxigyanta intenzív összekeverése hengerszékes technológiát követel meg az olvadék nagy viszkozitása miatt.

Egy sajtolóanyag-család kifejlesztéséhez feltétlenül szükséges a kikísérletezett típusoknak legalább a félüzemi gyártás szintjéig való nyomonkövetése, ezért a munka során a VKI berendezkedett az epoxigyantás sajtolóanyagok kisüzemi gyártására, és a technológiát is ilyen szinten dolgoztuk ki. A munka egyes fázisainak részletes tárgyalása meghaladja e cikk kereteit.

### 3.2 A VKI félüzemében gyártott típusok

Epoxigyantás sajtolóanyagainkat Epoform márkánévvel jelöltük, típusjelzésként pedig bevezettük a DIN 16912 (Kunststoff-Formmassetypen. Epoxidharz-Pressmassen) számú szabvány szerinti jelölést. A márka- és típusjelzésen kívül a sajtolóanyagok neve *C* vagy *T* betűjelzést is tartalmaz, ami a feldolgozási technológiára utal. Jelenleg a következő három típust gyártjuk kísérleti félüzemünkben:

- Epoform 870 C: ásványi töltőanyagot tartalmaz, direktsajtolással és fröccsajtolással feldolgozható típus;
- Epoform 870 T: ásványi töltőanyagot és 5% vágott üvegszálat tartalmaz, csak fröccsajtolással feldolgozható típus;
- Epoform 871 T: 25% vágott üvegszál mellett ásványi töltőanyagot tartalmaz, direktsajtolással és fröccsajtolással feldolgozható típus.

A sajtolóanyagok műszaki paramétereit a 7-1. táblázat tartalmazza.

7 – 1. táblázat

Epoform sajtolóanyagok három típusának műszaki paramétereit

Tulajdonság	Vizsgálati módszer	Epoform típusok		
		870 C	870 T	871 T
DIN pohárzárási idő, s	DIN 53465	10...12	8...10	12
Formazsugorodás, %	DIN 53464	0,6	0,8	0,4
Utózsugorodás, %	DIN 53464	0,1	0,1	0,1
Hajlítószilárdság, kp/cm <sup>2</sup>	MSZ 1422	500	500	650
Ütőhajlítószilárdság, cmkp/cm <sup>2</sup>	MSZ 7751	4...5	4...5	6...7
Hőalaktartósság Martens szerint, °C	MSZ 1426	100	100	120
Fajlagos ellenállás, Ωcm	MSZ 4854	10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup>
Dielektromos veszteségi tényező, tg δ · 10 <sup>4</sup> 20 V, 800 Hz esetén	MSZ 4757	300...500	300...500	300...500
Permittivitás, ε 20 V, 800 Hz esetén	MSZ 4757	4...6	4...6	4...6
Átütési szilárdság 2 mm-es lemezen, kV/mm	1 kV/s feszültség-emeléssel ∅ 50 mm gömb—sík elektródák között	14	14	14

## 4. Feldolgozhatóság vizsgálata

A présporok feldolgozhatóságának, az új technológiai eljárások alkalmazhatóságának eldöntésére különböző feldolgozási paraméterek ismerete és vizsgálata szükséges. Ilyen jellemzők a reológiai tulajdonságok (folyóképesség és hálósodási sebesség), a hálósodási idő, a feldolgozási nyomás és hőmérséklet, a tárolhatóság, a tablettázhatóság és a nagyfrekvenciás előmelegítés alkalmazhatósága.

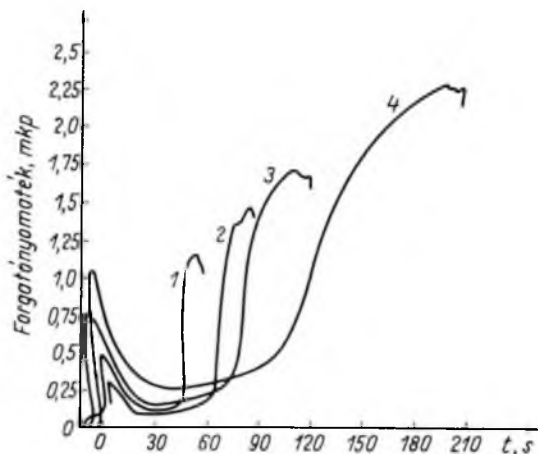
### 4.1 Reológiai tulajdonságok

Az epoxigyantás sajtolóanyagok feldolgozása során egymással ellentétes folyamatok játszódnak le. A sajtolóanyag először megömlik, viszkozusan folyós állapotba kerül, majd a hálósodási reakció előrehaladásával a viszkozitás növekedik, végül a massa szilárd állapotba megy át. Az anyag megömlés utáni kezdeti viszkozitását és ennek időbeli változását az anyag összetétele, előállítási módja, továbbá a nyomás és hőmérséklet együttesen szabják meg. Ezek a jelenségek csak együttesen tanulmányozhatók és az említett folyamatok ismerete jellemzi igazán az anyag feldolgozhatóságát.

A hőre keményedő sajtolóanyagok vizsgálatának régebben elterjedt módszerei, amikor valamilyen meghatározott módon sajtolási próbákat végeznek és a kapott próbatestek tulajdonságai alapján vonják le a következtetéseket, epoxigyantás sajtolóanyagok esetében nem kielégítőek (Krahl-módszer, vízszintes folyóképesség mérése). A DIN pohárzárási idő sem követi elég érzékenyen a folyóképesség változását. Ezt a vizsgálatot mégis elvégeztük, mivel első tájékoztatásként hasznos, és a kapott próbatestek felületi minősége is jellemző a feldolgozhatóságra.

Jól használható módszernek találtuk a folyóképesség meghatározására az ún. EMMI (Epoxy Molding Materials Institute) spirál módszert [20, 21]. A rendszeres gyártás beindításakor ezt a vizsgálatot használtuk az egyes sarzsok folyási viszonyainak összehasonlítására.

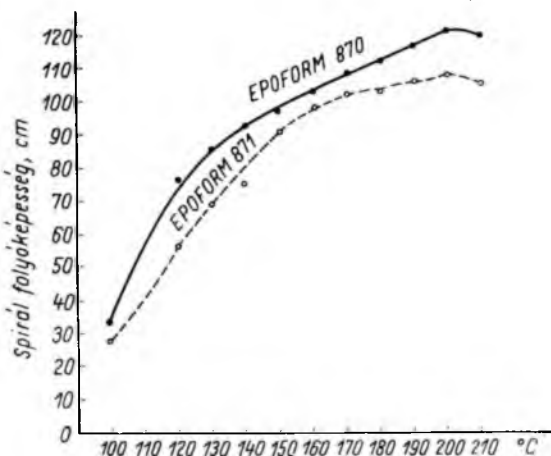
A reológiai vizsgálatok közül legjellemzőbbek azok a módszerek, amelyek a viszkozitás időbeli változását követik nyomon. Ezek közül legjobban elterjedt a Brabender-plasztográfval való forgatónyomaték mérés [22], [23], [24]. A méréseket a MÜKI-ben végeztük [25]. A görbék értékelésére ezen a helyen nem térünk ki, csupán néhány jellemző ábrát mutatunk be (7-1. ábra).



7-1. ábra. Epoform 871 T sajtolóanyag négy különböző hőmérsékleten felvett Brabender-görbéi  
1 180 °C; 2 160 °C; 3 150 °C; 4 130 °C

#### 4.2 Sajtolási nyomás, hőmérséklet és érési idő

A sajtolási műveletek egyik legfontosabb paramétere a nyomás nagysága, valamint a nyomás kialakulásának sebessége, ami az anyag folyását okozza; a hőmérséklet, amelyen ez bekövetkezik, azaz pontosabban a hőmérséklet hatása a folyási sebességre; végül az eltelt idő, ameddig a nyomást és a hőmérsékletet tartani kell a kikeményedés biztosításához. Szükség van a folyamat pontos elemzésére, a nyomást, a hőmérsékletet és a folyóképességet pontosan az optimális határok között kell tartani. Ezeket a vizsgálatokat részben el lehet végezni a már említett EMMI-spirál szerszámmal. A 7-2.



7-2. ábra. Az EMMI-spirál folyóképességfüggése a hőmérséklettől

ábrán az EMMI-spirál próbával kapott jellemző értékek láthatók állandó nyomás és különböző hőmérsékletek esetében. Természetesen ezeket a vizsgálatokat konstans hőmérsékleten, a nyomás függésében is elvégeztük.

A kapott eredmények alapján a feldolgozási tulajdonságokat véve figyelembe, az Epoform sajtolóanyagok két alapvető kategóriába sorolhatók. Egyik csoportba tartoznak a hagyományos direktsajtolással és fröccsajtolással feldolgozható Epoform 870 C és 871 T típusok, míg a másik csoportba a csak fröccsajtolással, ezen belül is a kisnyomású technológiával feldolgozható Epoform 870 T típus.

A feldolgozási fröccsnyomás:

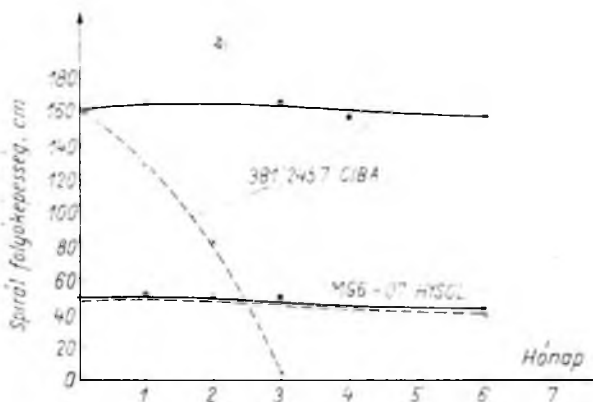
Epoform 870 C	} 50...250 kp/cm <sup>2</sup> ,
Epoform 871 T	
Epoform 870 T	5...50 kp/cm <sup>2</sup> .

A feldolgozási hőmérséklet 150...180 °C között változtatható igen kedvezően; ez lehetőséget nyújt a megfelelő folyóképesség beállítására. Az érési idők mintegy 30%-kal hosszabbak, mint a fenoplaszt vagy aminoplaszt sajtolóanyagoknál, ami egyébként a hasonló típusú import sajtolóanyagok esetében is fennáll.

#### 4.3 Tárolhatósági vizsgálatok

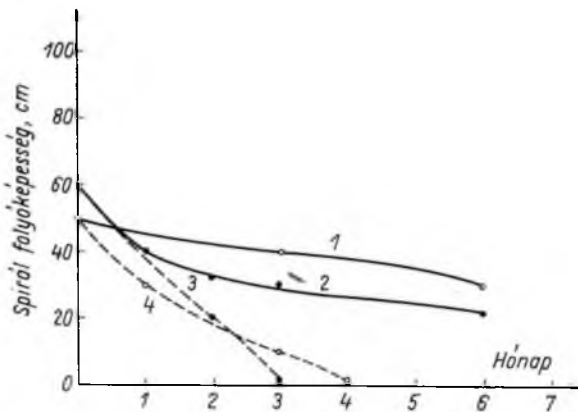
Az epoxigyanta alapú sajtolóanyagok tárolhatósága igen lényeges probléma. Korábban már utaltunk arra, hogy a sajtolóanyagban a hálósító bekeverésével megindul a kémiai reakció, amelyet egy adott szakaszban „befagyaszttunk”. Ezzel a folyamat

sebessége erősen lecsökken, mégpedig annál inkább, minél kisebb hőmérsékleten tároljuk a sajtolóanyagot. Az Epoform sajtolóanyagok tárolhatóságát szobahőmérsékleten és  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on az idő függvényében követtük nyomon, elsősorban EMMI-spirál szerinti folyóképességének változását mérve. A tárolásra vonatkozó adatokat — két import anyaggal összehasonlítva — a 7-3. és 7-4. ábra mutatja.



7-3. ábra. Import sajtolóanyagok EMMI-spirál folyóképességének változása a tárolási idő függvényében

———— + 5 °C-on tárolva; ..... szobahőmérsékleten tárolva



7-4. ábra. Epoform sajtolóanyagok EMMI-spirál folyóképességének változása a tárolási idő függvényében

1 871 T + 5 °C-on tárolva; 2 870 T + 5 °C-on tárolva; 3 870 T szobahőmérsékleten tárolva; 4 871 T szobahőmérsékleten tárolva

#### 4.4 Tablettázhatóság és nagyfrekvenciás előmelegítés hatása

A sajtolt formadarabok gazdaságos előállítása bizonyos előkészítő munkákat is igényel. A sajtolás technológiájában igen fontos előkészítő műveletet jelent a tablettázás. A tablettázott sajtolóanyagoknak a következő előnyei vannak:



- pormentes üzemelés;
- a légzárványok keletkezésének csökkenése;
- gazdaságos anyagmozgatás;
- a szerszámok töltőterének csökkentése;
- a tablettá alakjának igazodása a sajtolt darab alakjához;
- az adagsúlyok nagyfokú egyenletessége.

Míndezek az előnyök a nagyfrekvenciás előmelegítés hatékonyságát is nagymértékben fokozzák. Az Epoform sajtolóanyagok 300...600 kp/cm<sup>2</sup> nyomáson tablettázhatók. Az őrlést követően a laza szerkezetű késztermék egyébként meg is követeli a jó tablettázhatóságot, mert a meglévő szerszámok töltőterébe megfelelő mennyiségben csak tablettázott sajtolóanyagot lehet adagolni.

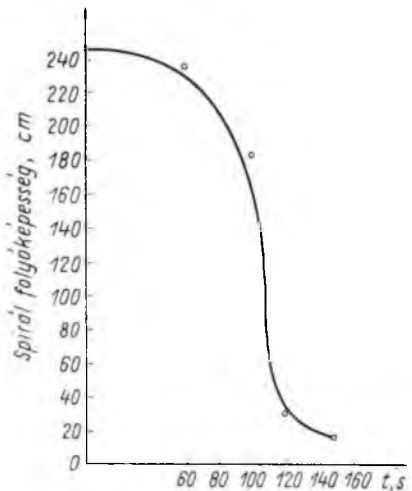
7-2. táblázat

Összefüggés a DIN pohárzás ideje és a nagyfrekvenciás előmelegítés között

Anyag neve	DIN pohárzás ideje, s		Előmelegítés időtartama, s
	előmelegítés nélkül	előmelegítve	
870 C	12,0	4,4	20,0
870 T	8,4	3,2	15,0
871 T	12,0	2,5	17,5

Sajtolási próbáink során a por alakú sajtolóanyagot is fel tudtuk dolgozni, de az optimális technológiát a tablettázás és a nagyfrekvenciás előmelegítés jelentette. DIN pohárzási idők mérésével vizsgáltuk a nagyfrekvenciás előmelegítés hatását a folyóképességre. Az eredményeket a 7-2. táblázat tartalmazza. A táblázatból látható, hogy a 80 MHz-es nagyfrekvenciás előmelegítéssel a zárási idők az eredeti értéknek egyharmadára, vagy még kisebb értékre csökkennek. Ez azt jelenti, hogy a feldolgozás-kor a ciklusidőt már a szerszámzárás idejének lecsökkenése miatt is kisebbre lehet venni. A nagyfrekvenciás előmelegítésnek természetesen nem ez az elsőrendű hatása. Az anyag felmelegítéséhez szükséges idő megtakarítása még nagyobb mértékben csökkenti a ciklusidőt.

Sajtolásnál a jó áramlás rendkívül fontos, de a nagy folyóképesség is problémákat okozhat. Nagyfrekvenciás előmelegítéssel a folyóképesség beállítása jól szabályozható. A 7-5. ábrából látható, hogy esetünkben az optimális előmelegítés ideje 100 s körül van. Természetesen az optimális előmelegítés idő-



7-5. ábra. A nagyfrekvenciás előmelegítés időtartamának hatása a folyóképességre

tartamát a mindenkori feldolgozó géphez, a szerszámhoz és az anyag folyóképességéhez kell beállítani. A folyóképességméréseket itt  $180 \text{ kp/cm}^2$  fröccsnyomással végeztük a reológiai tulajdonságok mérésekor alkalmazott  $70 \text{ kp/cm}^2$  helyett, mert ez a nagyobb nyomás közelebb áll a feldolgozási körülményekhez.

## 5. Alkalmazhatóság vizsgálata

### 5.1 Nagy nyomással feldolgozható sajtolóanyag alkalmazhatósága

Már az Epoform sajtolóanyagok előállításának kísérleti fázisában kapcsolatot kerestünk azokkal a vállalatokkal, amelyek epoxigyantás sajtolóanyagokat alkalmaztak. A laboratóriumi vizsgálatok során megfelelőnek látszó anyagokból sajtolópróbákat végeztünk a gyárak szakembereinek bevonásával. A 7-6. ábrán direktsajtolással vagy fröccsajtolással készült, a villamosiparban használt alkatrészeket mutatunk be. Az Epoform 871 típusú sajtolóanyagból sajtolási próbákat végeztünk a Kontakta Alkatrészgyár műanyagfeldolgozó üzemében és a Villamosszigetelő és Műanyaggyár kiskunfélegyházi műanyagfeldolgozó üzemében. A sajtolási próbákat por alakú sajtolóanyaggal, valamint tablettázott sajtolóanyaggal végeztük. Az anyag sajtolhatósága jó, a bonyolult szerszámokat is jól tölti ki és a kikeményedés után a szerszámtérből könnyen eltávolítható. Az egyik legkritikusabb alkatrészt — a mágneskapcsolóhidat — összeszerelt készüléken is vizsgáltuk mechanikai élettartam szempontjából. A vizsgálat során a 871-es típus megfelelt a követelménynek. Különösen kiemelkedő értékeket mutattak a különleges csúsztatóadalékkal ellátott kísérleti termékek.

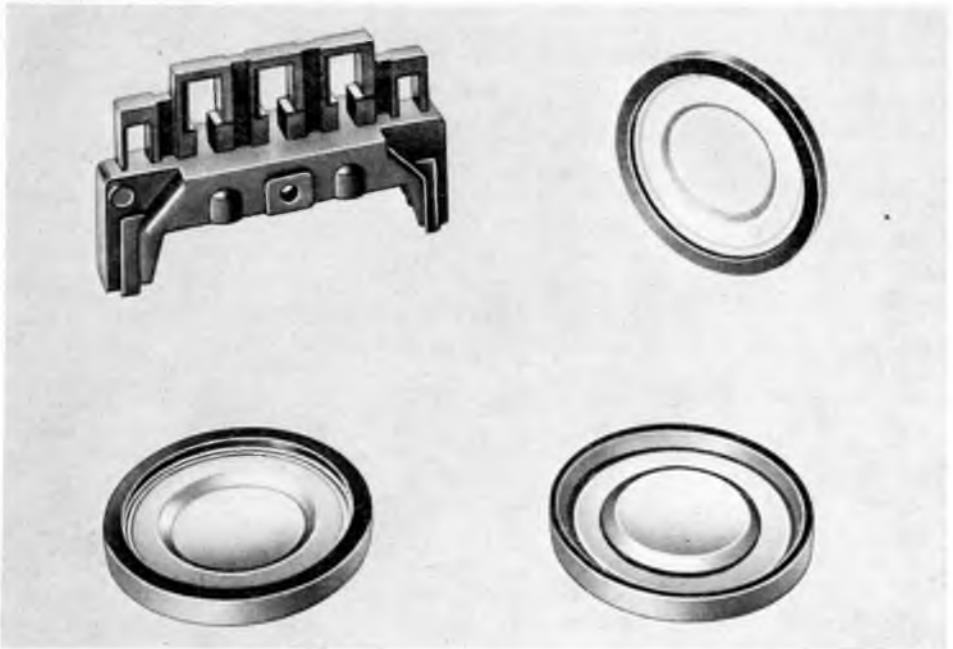
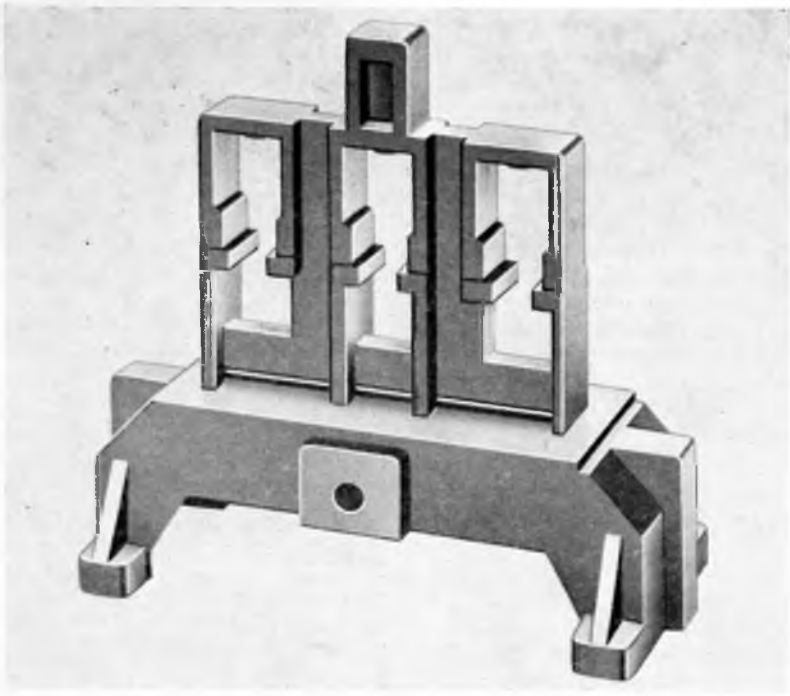
Döntő lépést jelentett az Epoform 871-es típus feldolgozástechnológiai kísérletei esetében az, hogy a Finommechanikai Vállalat részére 1972-ben  $1,3 \text{ t}$  sajtolóanyagot szállítottunk. A feldolgozási paramétereket a meglévő szerszámokhoz kellett beállítani. Ez lényegében azt jelentette, hogy a kis töltőterű szerszámokhoz tablettázott sajtolóanyagot alkalmaztunk, valamint a fröccsölés sebességét és a fröccsnyomást az egyes szerszámoknak megfelelően állítottuk be.

### 5.2 Kis nyomáson feldolgozható sajtolóanyag alkalmazása

A hazai sajtolóanyagok kifejlesztésével egyidőben — a kutatások helyes összehangolásával — megindítottuk intézetünkben a kisnyomású sajtolóanyagokkal történő tokozási technológiák kidolgozását. Meg kellett ugyanis ismerkednünk ezzel a hazánkban eddig teljesen ismeretlen, de még fejlett ipari országokban is újszerűnek számító technológiával, hogy a célnak megfelelő sajtolóanyagot elő tudjuk állítani.

Intézetünkben a VBKM Világítástechnikai Gyár, a Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyára, a VIDEOTON, a REMIX, a Mechanikai Mérőműszerek Gyára és a Ganz MM Árammérőgyára megbízásából konkrét kutatási feladatok megoldásában sikerrel alkalmaztuk az Epoform 870 T típusú sajtolóanyagot.

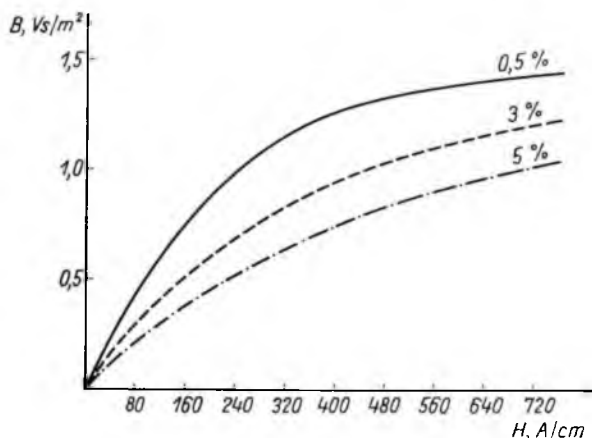
A konkrét tokozási technológiák ismertetése helyett itt csak utalunk a VKI Közlemények 4. kötetében 1973-ban, e tárgykörben megjelent cikkekre [26]. Ugyancsak megemlítjük, hogy a VBKM Világítástechnikai Gyár a TVR-110 típusú tirisztorgyűjtő transzformátorának tokozását jelenleg sorozatgyártásban az általunk kifejlesztett kisnyomású sajtolóanyaggal végzi.



7-6. *abra.* Epoform 871 T típusú sajtolóanyagból készült, bonyolult alakú villamosipari alkatrészek

### 5.3 Fémpor töltésű sajtolóanyagok

Az epoxigyanta alapú sajtolóanyagok különleges alkalmazási területeként megemlítjük a vasport tartalmazó sajtolóanyagokkal folytatott kísérleteinket. Ezek egyrészt kis gyantatartalmú, nagy nyomással feldolgozható, másrészt nagyobb gyantatartalmú, a szokásos sajtolási nyomással feldolgozható keverékek. Vizsgáltuk egyrészt a gyantatartalom, másrészt a feldolgozási nyomás hatását a késztermék mágneses tulajdonságaira. Azt tapasztaltuk, hogy a mágneses permeabilitás szempontjából a gyantatartalom döntő. Növekvő gyantatartalom esetén (0,5...5%-ig) a mágnesezési görbe ( $B-H$  görbe) alacsonyabban fut. (7-7. ábra). Legjobb eredményt kaptunk a 0,5% gyantatartalmú keverékekből, 6 t/cm<sup>2</sup> nyomás alkalmazásával.



7-7. ábra. A mágnesezési görbe változása a különböző gyantatartalom esetén

A 15%-nál nagyobb gyantatartalmú keverékek felhasználhatók pl. mágneses horonyzáró lécek készítésére. A fogpulzációs veszteségek csökkentése, továbbá az indukciós motorok légrésindukció görbéjének javítása mágnesezhető anyagból készült horonyzáró léccel megoldható. Ehhez nem szükséges túl nagy mágneses permeabilitás érték, de egyéb tulajdonságokban (mechanikai szilárdság, tartós hőállóság) nagyok a követelmények. A probléma vasport tartalmazó epoxigyantás sajtolóanyagokkal megoldható. Ezt a munkát az EVIG megbízásából végeztük.

## 6. Összefoglalás

Intézetünk a Műanyagipari Kutató Intézettel szoros együttműködésben kezdett hozzá és végezte el a korszerű, új típusú hőre keményedő epoxigyantás sajtolóanyagok kutatását. A termékek hazai előállítását azért is fontosnak tartottuk, mert ezeket jelenleg is magánimportáron szerezzük be.

A sajtolóanyagok kifejlesztésekor alapvető szempont volt a kémiai struktúra hazai epoxigyanta alapon való felépítése, a stabilitás biztosítása, valamint olyan típus, ill. típusok kidolgozása, amelyek kisnyomáson (5...50 kp/cm<sup>2</sup>) is feldolgozhatók. Eddigi munkánk során ezeket a feladatokat sikeresen oldottuk meg és reméljük, hogy ezzel igen fontos hiányt pótolunk a hazai szigeteléstechikában.

A VKI-ban létrehozott félüzem azzal az előnyei járt, hogy egy-egy eljárást lehetőségünk volt üzemi körülmények között is kipróbálni. Így elkerülhetők azok a buktatók, amelyek a laboratóriumi szintről közvetlenül nagyüzemi szintű gyártásra való áttérés során várnak a bevezetőkre.

Itt szeretnénk megemlékezni †Kopniczky Szaniszló (1933—1970) tudományos főmunkatársról, aki Intézetünknel az epoxigyantás sajtolóanyagok kutatását elindította.

### Irodalom

- [1] Epoxydharz-Pressmassen. *Kunststoffe*. **53** 10. (1963) p. 690—696.
- [2] *Melzer, W.*: Epoxydharz-Pressmassen. *Kunststoffe*. **55** 2. (1965) p. 99—100.
- [3] *Tochtermann, W.*: Glasfaserverstärkte Kunstharz-Pressmassen. *Der Plasteverarbeiter*. **15** 9. (1964) p. 535.
- [4] *Walhäuser, H.*: Duroplastische Formstoffe als Isolierstoffe in der Elektrotechnik. *Plaste und Kautschuk*. **14** 7. (1967) p. 467.
- [5] Molding Epoxies Ups. *Modern Plastics*. **10** (1965) p. 178.
- [6] *Delmonte, J.*: Epoxy Encapsulation of Electronic Components. *SPE Journal*. **11**. (1964) p. 1223.
- [7] *Engel, G.—Lewis, D.*: Processing and Economic Factors in Epoxy Transfer Molding of Large Magnet Coils. *Insulation*. **1** 3. (1966) p. 37.
- [8] Sajtolóanyagok laboratóriumi klimavizsgálata. VKI Kiadvány. (1966)
- [9] Low pressure presses for encapsulation moulding. *SPE-Journal*. **1**. (1966) p. 19.
- [10] *Ulbricht, K.—Thater, R.*: Vergleichsuntersuchungen über das Fließverhalten von Melaminharz-pressmassen. *Plaste und Kautschuk*. **12** 4. (1965) p. 224.
- [11] *Bauer, W.*: Entwicklungslinien auf dem Gebiet der Pressmassen-Verarbeitung. *Kunststoffe*. **55** 4. (1965) p. 273.
- [12] *Wallhäuser, H.—Loss, W.*: Einfluss von Verarbeitung und Klima auf die elektrischen Eigenschaften von Presstoffen. *Kunststoffe*. **55** 10. (1965) p. 785.
- [13] *Sulima, T.*: Własności dielektryczne jako kryterium doboru parametrow pretwaretwa elektrozolacyjnych tworzyw termoutwardzalnych. *Polimery-Tworziwa Wielkocząsteczkowe*. (1963)
- [14] *Wallhäuser, H.*: Verarbeitungsfehler bei Formteilen aus härtbaren Formmassen. *Kunststoffe*. **54** 5. (1964) p. 313.
- [15] *Ehrentraut, P.*: Untersuchungen zum Fließ-Härtungsverhalten von Phenoplast-Pressmassen mit dem Plastometer nach Kanavec. *Kunststoffe*. **56** 10. (1966) p. 695.
- [16] 13781/1963. számú japán szabadalom.
- [17] 15237/1962. számú japán szabadalom.
- [18] 920470/1963. számú angol szabadalom.
- [19] 3047537/1962. számú amerikai szabadalom.
- [20] Method of Test for Spiral Flow. EMMI 1—66. (Epoxy Molding Materials Institute, 250. Park Avenue, New York 10017).
- [21] New standard spiral flow test. *Modern Plastics*, 1968. február.
- [22] *Schreiber, B.*: Das Fließ-Härtungsverhalten von Duroplast-Formmassen im Plastographen. *Kunststoffe*. **59** 6. (1969) p. 362—367.
- [23] *Sternagel, H. G.*: Auswertung von Versuchen mit dem Brabender Plastographen. *Kunststofftechnik*. **9** 11. (1970) p. 502—504.
- [24] *Rothenpieler, A.—Hess, R.*: Die Prüfung der Fließ/Härtungs-Charakteristik von duroplastischen Formmassen. *Kunststoffe*. **62** 4. (1972) p. 215—218.
- [25] *Pál K.-né—Brezányi F.-né*: Hőre keményedő sajtolóanyagok reológiai tulajdonságainak vizsgálata. *Műanyag és Gumi*. **9** 5. (1972) p. 136—139.
- [26] *Dr. Miszlivetz J.*: Korszerű technológia áramkört elemek tokozására kisnyomású sajtolóanyagokkal. VKI Közlemények. 4. kötet (1973)



VILLAMOS  
BERENDEZÉS  
FŐOSZTÁLY





# 8.

## A VKI Villamos Berendezés Főosztályának 25 éves munkássága

*KISS MIKLÓS*

### 1. A Villamos Berendezés Főosztály kialakulása

A VKI 25 éves fennállása alkalmából nem beszélhetünk egyúttal a Villamos Berendezés Főosztály 25 éves munkásságáról, mert a jelenlegi szervezeti felépítés csak fokozatosan alakult ki és az első évtized alatt a Főosztály jelenlegi tématerületére eső feladatokkal más módon szervezett osztályok és csoportok foglalkoztak. Így a Főosztály munkásságának áttekintése alkalmából a kezdeti időszak tevékenységéből — a szervezeti keretektől függetlenül — azokat a szakterületeket fogjuk említeni, amelyek a Főosztály jelenlegi munkaterületéhez tartoznak.

A kezdeti években három olyan osztály tevékenykedett, amelyek — ha szervezetenként nem is teljesen, de a szellemi örökség tekintetében feltétlenül — a Villamos Berendezés Főosztály előfutáiraiként tekinthetők. Ezek voltak: A Villamos Forgógép Osztály, az Automatika Osztály, az Áramirányító Osztály. E két utóbbi, más néven ugyan, de ma is az eredeti munkaterület szerves folytatását és kibővítését jelentő tématerülettel foglalkozik. A Villamos Forgógép osztályt 1955-ben megszüntették, de a Főosztály a villamos forgógépek és hajtások területén összegyűjtött szakmai tapasztalatokat és részben a megszűnt osztály személyi állományát is átvette.

### 2. A Főosztály működésének irányelvei

Az 1955-ben végrehajtott létszámcsökkentés és a későbbi átszervezések ellenére a Főosztály tevékenységét a mai napig változatlanul két alapvető sajátosság jellemzi. Az egyik: mindig igyekezett szakterületének legújabb vívmányaival lépést tartani és azokat — legalább hazai viszonylatban — úttörőként az iparban meghonosítani. A másik: mindig arra törekedett, hogy a legszorosabb kapcsolatokat tartsa fenn az erősáramú gyártó iparral és a felhasználókkal, akkor is, amikor — 1968 előtt — a régi központi finanszírozási rendszerben ehhez semmi közvetlen anyagi érdeke nem fűződött.

### 3. Úttörő munka az új területeken

Az Intézet megalakulásakor, ill. fennállásának első egy-két évében a szabályozástechnika, az áramirányító technika, az elektronika erősáramú alkalmazása hazánkban gyakorlatilag ismeretlen volt, a műszaki egyetemi oktatás is csak az első próbálkozásoknál tartott. A VKI-ba bekerült kezdő mérnökök, akik ezzel a területtel próbáltak foglalkozni, inkább csak erkölcsi támogatást, mint gyakorlati útmutatást kaptak idősebb vezetőiktől, a szabályozástechnika és áramirányító-technika, sőt pl. a forgó erősítőgépek területén megkezdett tevékenységük amolyan „mély vízbe ugrás” volt. Hogy ezt az ugrást végrehajtották, és mint a későbbi eredmények megmutatták,

eredményesen, azt egyebek között az tette lehetővé, hogy a költségeket központilag finanszírozták, a tématervet pedig gyakorlatilag az Intézet munkatársai állították össze aszerint, hogy a külföldi fejlődést és a belföldi ipar helyzetét figyelembe véve, mit tartottak hazai alkalmazásra megérettnek. Az Intézet tevékenységét az irányító főhatóság a kiválasztott kutatási témák és az ipari bevezetések eredményessége alapján ítélte meg. Ez a korszak a tanulás és a lelkes úttörő munka korszaka volt. Mindenesre eredményesen dolgozott az Intézet a higanykatódú áramirányítók, a szabályozástechnika és ezen belül az elektroncsövek erősáramú berendezésekben történő alkalmazása, továbbá az amplitudinek fejlesztése területén, és ezeknek a munkáknak hazai előzménye gyakorlatilag nem volt. A későbbi években a Főosztály a hazai iparban elsőként, vagy az első között kezdett foglalkozni a germánium-, majd a szilíciumdiódák, a tranzistorok, a tirisztorok erősáramú alkalmazásával és ezek között számos olyan feladattal, amelyekről a későbbiekben részletesebben fogunk szólni. A VKI kezdett el az országban először kényszerkommütációs problémákkal foglalkozni 1962-ben.

#### **4. Kapcsolatok a gyártó iparral és a felhasználókkal**

Az erősáramú gyártó iparral és a felhasználókkal fenntartott szoros kapcsolat jellemzéseket megemlíthetjük az első hazai elektrohidraulikus ívkemence-szabályozót, amelyet 1952-ben helyeztek üzembe az Acéllöntő- és Csőgyárban és ott több mint tíz évig — a kemenceüzem rekonstrukciójáig — igen jól működött, s amelynek nyomán már 1954-ben gyártási dokumentációt adtunk át a Villamos Vezérlőberendezések Gyárának. Nem a VKI-n múlt, hogy akkor ennek a gyártásnak a megindítása nem járt sikerrel. Az RMNV típusú vasedényes higanykatódú egyenirányítók 1952-ben megindított gyártását a VKI előkészítő munkája előzte meg. Az amplitudinek hazai gyártásának bevezetése ugyancsak a VKI előzetes kutató- és kísérleti munkájára támaszkodott. A későbbiek során a VKI igen jelentős munkát végzett pl. a 3000 LE-s szilícium egyenirányító mozdony hazai gyártásának előkészítésében, ill. a hazai gyártású fő- és segédüzemi egyenirányító és a védelmek kifejlesztésében; a vasútvilágítási generátorok szabályozóberendezéseinek kifejlesztésében, kísérleti példányok, nullsorozatok előállításában és a gyártás megindításában; a Lenin Kohászati Művek durvahengerművi szabályozott hajtásainak kifejlesztése, kivitelezése és üzembehelyezése során stb.

Érdemes hangsúlyozni, hogy a felsorolt és még igen sok más berendezés kutatása, fejlesztése, a mintadarabok és esetenként kisebb sorozatok kivitelezése, a gyártás bevezetése a VKI-nek, ill. a Főosztálynak 1968. előtt semmiféle konkrét anyagi hasznot, pl. nyereségrészesedést nem hozott. A költségek nagy részét a KGM fedezte, és ha a gyártmányokért vagy dokumentációkért a felhasználók fizettek is, az sok esetben inkább jelképes összeg volt, vagy a ráfordításoknak csak egy részét fedezte. A gyártó iparral és a felhasználókkal való szoros kapcsolat kialakítására, igényeik lehetőség szerinti figyelembevételére ösztönözte azonban a Főosztály munkatársait, a becsvágy, hogy munkájukat hasznosnak tudhassák. A tervező és kivitelező tevékenységet ma is több okból fontosnak és nélkülözhetetlennek tekintik.

#### **5. A Főosztályon folyó kivitelező tevékenység**

Az elmélet próbaköve a gyakorlat. Nem lehet jó és megbízható, az ipar követelményeit sokoldalúan kielégítő gyártmányokat létrehozni csupán elméleti kutatás segítségével, a gyakorlat ellenőrző és korrigáló hatása nélkül. Az alkalmazott konstrukciók,

a gyártási technológia helyessége vagy hibái, az üzembehelyezés, karbantartás, hiba-keresés és elhárítás egyszerűsége vagy nehézségei, a berendezések jó vagy kevésbé megfelelő üzembiztonsága olyan kérdések, amelyekre csak a gyakorlat adhat választ és csak ezekre a válaszokra támaszkodva haladhatunk tovább az egyre jobb, gazdaságosabb, megbízhatóbb készülékek kutatása és fejlesztése útján.

Egy gyártó vállalatnak átadott gyártási dokumentáció alapján a gyártás megindítása gyakran felveti azt a kérdést, hogy a gyártmány hibáit a dokumentáció hibái, vagy a nem megfelelő gyártás okozta-e. E kérdés eldöntése sokszor nagyon nehéz, de mindkét fél, sőt a gyártmányt megvásárló felhasználó szempontjából is nagyon fontos. Nagymértékben leegyszerűsíti, sőt sok esetben eleve eldönti a kérdést, ha a dokumentáció kidolgozója és átadója, adott esetben a VKI, a gyártmányból bizonyos mennyiséget már maga kivitelezett, üzembe helyezett és azok jól működnek. Ez a kutatóintézeti kis sorozatú gyártásnak egy másik igen fontos indoka.

A dokumentáció kidolgozása és átadása és a sorozatgyártás megindítása között sokszor igen hosszú idő telik el. Ez az idő kritikus lehet az új gyártmány szempontjából. Közismert dolog, hogy nemlétező gyártmányokra igen nehéz rendelőt találni. Másrészt a gyártó vállalatok hajlamosak arra, hogy ne vállaljanak kockázatot, tehát rendelés hiányában ne kezdjék meg a gyártást. Emiatt a holtidő olyan hosszúra nyúlhat, hogy a gyártmány közben elavul, vagy legalábbis újdonság jellegét elveszti, esetleg egyáltalán el sem jut a sorozatgyártásig.

Ennek az időnek az áthidalására, sőt esetleg lerövidítésére is igen alkalmas a kutatóintézeti kis sorozatú gyártás, mert fenntartja a felhasználók érdeklődését, sőt megnyitja a piacot az új gyártmány számára. A VKI gyakorlatában a legjobb példa erre éppen az elektrohidraulikus ívkemence-szabályozó, amelynek a gyártása az első, 1952-ben üzembe helyezett példány után a Villamos Vezérlőberendezések Gyárába, onnan a Transzvíllba, később az Anód Áramirányító Gyárba, majd ismét a Transzvíllba került és csak utóljára, mintegy 18 év után a Kohászati Gyárépítő Vállalathoz, ahol — úgy tűnik — a további folyamatos gyártás biztosítva van. A kalandozások éveiben ismételten a VKI-nek kellett a gyártást és azzal párhuzamosan a továbbfejlesztést is vállalnia, e nélkül az ívkemence-szabályozó gyártása, vele együtt igen jelentős értékű egyéb berendezések exportja régen lekerült volna a napirendről. A VKI ezekben az években több ívkemence-szabályozót gyártott, mint a többi gyártók együttvéve.

A kutatóintézetben kidolgozott berendezések gyártására nem egy esetben egyáltalán nem lehet gyártó vállalatot találni, annak ellenére, hogy igény van rá. Ennek számos oka lehet. Bármi is azonban az ok, az intézet kénytelen maga gyártani, ha az új gyártmányba befektetett kutató- és fejlesztőmunkát nem akarja veszni hagyni.

Mindezekből látható, hogy a kutatóintézet gyártó tevékenysége bizonyos határok között indokolt és szükségszerű. Van továbbá a gyártási tevékenységnek egy olyan része, amely elvileg ugyan nem lenne szükségszerű, de egy adott gazdasági környezetben a más vállalatnál történő gyártás megindításának a nehézségei azt mégis hosszabb-rövidebb ideig indokolják.

## **6. A Főosztály tevékenységének fő irányai**

A Főosztály alapvetően a teljesítményelektronika területén fejt ki tevékenységét. A teljesítményelektronika azonban szinte kivétel nélkül szorosan összefonódik a szabályozás- és vezérléstechnikával, szükségszerű tehát, hogy a Főosztály az analóg és digitális szabályozástechnikával és vezérléstechnikával, és ennek kapcsán a tran-

zisztoros és újabban az integrált áramkörös technikával is foglalkozzék. Ez utóbbi munkaterület a teljesítményelektronika kiegészítő részeként jelent meg a Főosztály tevékenységében, eleinte viszonylag egyszerű formában és kisebb arányokban. A fejlődési tendencia azonban az ipar más területein tapasztaltakhoz hasonlóan itt is az, hogy a berendezéseink egyre bonyolultabb technológiák kiszolgálására készülnek, tehát egyre bonyolultabb irányítástechnikai feladatokat kell kielégíteniük. Így a szabályozás- és vezérléstechnika bonyolultsága és részaránya a teljesítményelektronikai berendezésekben egyre növekedett, az utóbbi években pedig bizonyos mértékig önállósult olyan értelemben, hogy vezérléstechnikai és adatfeldolgozási célú — a teljesítményelektronikai berendezésektől független — kutató- és fejlesztőmunkák indultak meg és ilyen készülékeket dolgoztunk ki.

A következőkben megkíséreljük áttekinteni a Főosztály legfontosabb munkáit.

### 6.1 Nagy egyenirányítók

A nagy egyenirányítók kutatása és fejlesztése az 50-es évek kezdetén a higanykatódú egyenirányítókkal kezdődött. Később, a KGST országokkal kötött megállapodás alapján megszűnt ugyan a higanykatódú egyenirányítók fejlesztése és gyártása Magyarországon, de a befektetett munka mégis megtért, mert az akkor szerzett jártasságot a félvezetős egyenirányítók fejlesztése során hasznosítottuk.

A VKI résztvett az RMNV típusú vasedényes egyenirányítók gyártásának szovjet dokumentáció alapján történt meghonosításában. Közreműködött az Inotai Alumíniumkohó rekonstrukciója során a beruházó és a külföldi szállító közötti minőségi vitáknak a magyar fél számára előnyös eldöntésében.

A félvezetős — diódás és tirisztoros — nagy egyenirányítók hazai kifejlesztésére irányuló kutatómunka során a Főosztály igen jelentős tevékenységet fejtett ki az egyenirányítók túlfeszültség- és túláram-védelmének, továbbá sok egyenirányító elem párhuzamos, ill. soros kapcsolásának megoldására. Az eredményeket tanulmányokban és publikációkban rögzítette, de ami ennél fontosabb, felhasználta egész sor diódás és tirisztoros egyenirányító fejlesztésében. Ezek közül a legfontosabbak:

- 660 V, 1400 A-es és 825 V, 1800 A-es diódás egyenirányítók a közúti villamos és a metró részére; gyártását az Anód Áramirányítógyár vette át.
- 3000 LE-s szilícium egyenirányítós mozdony hazai fő- és segédüzemi egyenirányítója; gyártását ugyancsak az Anód Áramirányítógyár végzi.
- 1000 V, 4000 A-es diódás egyenirányító fokozatkapcsolós transzformátor + mágneses erősítős szabályozással a Ganz Villamossági Művek melegpörgető berendezéséhez.
- 18 kA-es diódás egyenirányító fokozatkapcsolós transzformátor + mágneses erősítős szabályozással a Hungária Vegyiművek klórelektrolíziséhez, a VBKM-mel kooperációban.
- 100...200 V, 5 kA-es tirisztoros egyenirányító hidrolizáló berendezésekhez, a VBKM-mel kooperációban. Üzemben van 3 db 14 kA, 2,2 MW-os tirisztoros egyenirányító reaktorfejlesztési kísérletekhez, a VBKM-mel kooperációban.
- Különféle akkumulátortöltő, ill. telefonközpont-tápláló egyenirányítók az Anód Áramirányító Gyárban, ill. a BHG-ban folyó sorozatgyártáshoz.
- 20 V, 5 kA-es egyenirányító diódás kivitelben, a transzformátor primer oldalán ellenpárhuzamos tirisztorokkal történő szabályozással, elektrolitikus marógéphez.

## 6.2 Inverterek

Az 1962-ben megindult kényszerkommutációs kutatások rendkívül szétágazó eredményekhez vezettek. Ezek közül csak a legfontosabbakra térünk ki:

*Allandó üzemű inverterek főleg a vasútbiztosításban 75 Hz előállítására*

A VKI-ban kifejlesztett, az Anód Áramirányítógyárban, a TRT-ben és a VKI-ban gyártott és a MÁV vonalain üzemben levő készülékek száma kb. 7...800 db. Jellemzőjük az évi 8600 üzemóra és helyenként igen nagy környezeti hőmérséklet. A decentralizált elhelyezésre szánt típus 300 VA-es, az állomási típus 2,5 kVA-es.

*Vasútvilágítási és borotvainverterek*

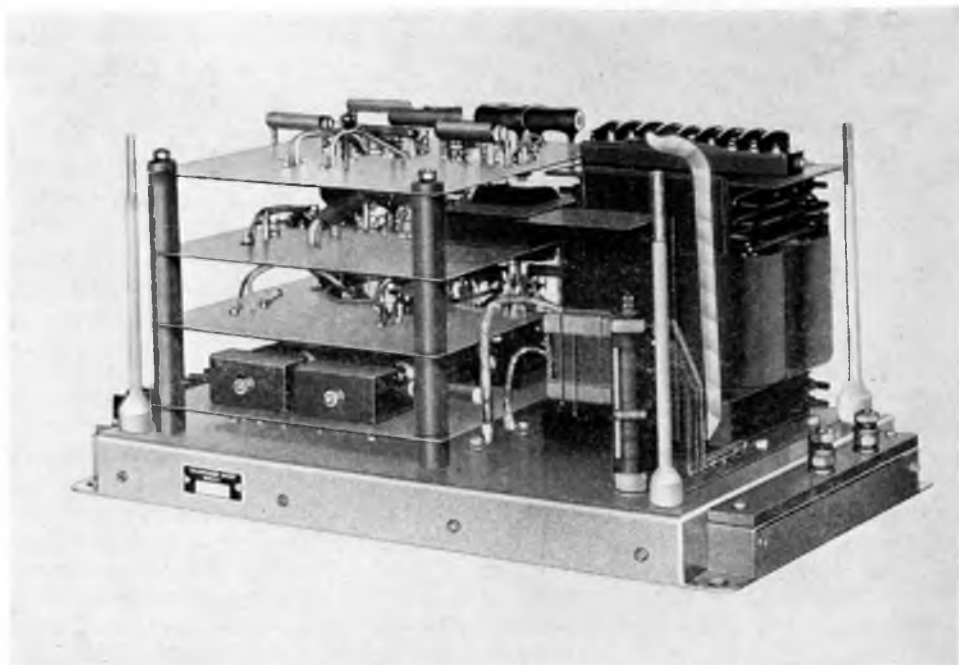
A vasúti személyszállítás kényelmének fokozása megköveteli a nagy fényerősségű fénycsővilágítást — UIC előírás szerint 150 lx —, továbbá a villanyborotvák használatát lehetővé tevő 220 V, 50 Hz szolgáltatását. A fénycsövek táplálására a Főosztály több mint 5 éve kifejlesztett egy 660 VA teljesítményű, 220 V, 425 Hz-es tirisztoros invertert 24 V névleges feszültségű akkumulátorról történő táplálásra és egy 60 VA-es borotvainvertert, amelyeknek a sorozatgyártását az EVIG vette át. 1971-ben a fénycsőinvertert lényegesen egyszerűsített kapcsolással, továbbfejlesztett kivitelben, olajhűtéssel állítottuk elő, és kísérleti példányokat hosszabb ideig igen jó eredménnyel üzemeltetünk a MÁV vonalain. Ennek nyomán a Ganz Mávag által exportra — pl. Szíriába — szállítandó motorvonatokra készül nagyobb tétel ebből a továbbfejlesztett típusból.

*Hírközlő központokat, erőművi kazánautomatikákat tápláló inverterek*

Táplálásuk 48...220 V egyenfeszültségű akkumulátortelep. A kimeneti feszültség egy- vagy háromfázisú, 50 Hz-es. Több készülék működhet párhuzamosan. Dolgozhatnak alaphálózati üzemmódban, ekkor a hálózat a tartalék, és dolgozhatnak alaphálózati üzemmódban, ekkor az inverter a tartalék. Az inverterek feszültségtartási pontossága általában  $\pm 2...3\%$ , a torzítási tényező kisebb 5%-nál. Az elmúlt 4—5 év nagyon fontos eredménye a kényszerkommutációs áramirányítók megbízhatóságának fokozása. Ezeket az eredményeket az áramköri kapcsolások egyszerűsítésével és a felhasznált elemeknek a fásztási tapasztalatokat figyelembe vevő gondos megválasztásával érték el.

## 6.3 Vonatvilágítás

A tranzisztorok erősáramú alkalmazása terén a Főosztály egyik legelső munkája volt az egyenáramú vasútvilágítási töltődinamókhöz való tranzisztoros szabályozók kifejlesztése. Ennek alapján az Anód Áramirányítógyár sorozatban gyártott ilyen szabályozókat, többek között a Magyar Vagon- és Gépgyár által a SZU-ba exportált kocsikhoz. Az egész világítási rendszer gépészeti és villamos oldali hibái és kiforratlansága miatt azonban ezekkel elég sok probléma volt, annak ellenére, hogy a szabályozók maguk a rendelési specifikáció szerinti körülmények között jól működtek. A nehézségekhez hozzájárult a vasúti karbantartó személyzet szakképzetlensége. Végül ez az ügy aktualitását veszítette, mert az egyenáramú töltődinamókat kiszorították az időközben kifejlesztett váltakozóáramú töltőgenerátorok. Ezekhez egyenirányítót és mágneses erősítőt, majd később tirisztoros szabályozót fejlesztettünk ki, amelyek sorozatgyártását az EVIG vette át (8-1. ábra).



8-1. ábra. Tirisztoros vasútvilágítási szabályozó

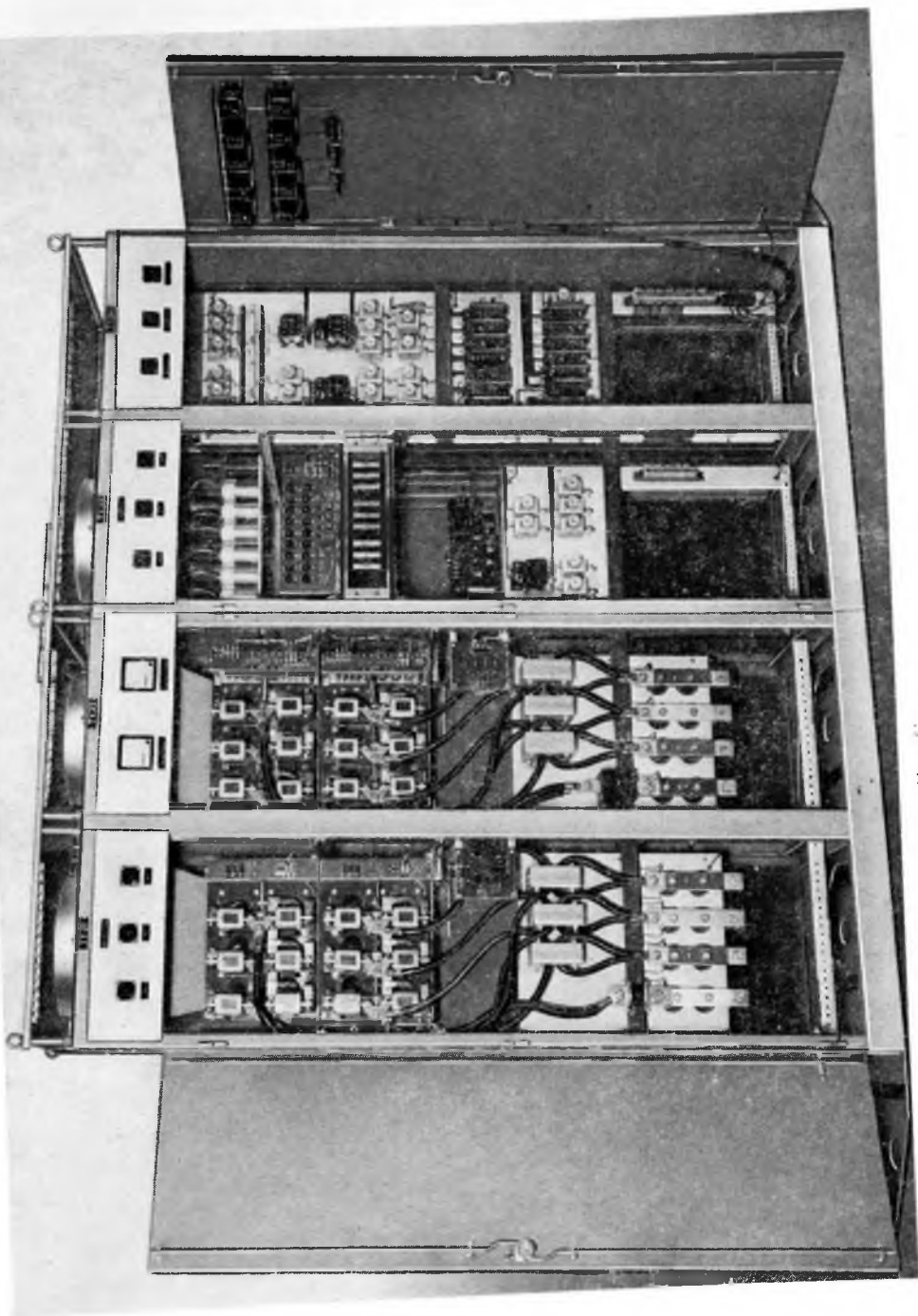
A vasútvilágítási akkumulátorok töltésének legújabb irányzata a villamos fűtőhálózatról történő töltés. A Főosztály a KPM-mel és a Ganz Villamossági Művekkel egyetértésben megkezdte az ehhez szükséges töltők kifejlesztését.

#### 6.4 Hajtásszabályozások

Hajtásszabályozásokkal a Főosztály az 50-es évek eleje óta foglalkozik, ez tevékenységének azóta is igen fontos része.

Kezdetben amplidines, mágneses erősítős, ill. tirátronos gerjesztésű Ward—Leonard hajtások, ill. közvetlen tirátronos táplálású egyenáramú hajtások kutatása, fejlesztése és kivitelezése volt napirenden, és 1967 elején mutattuk be az első, laboratóriumi kivitelű, 40 kW teljesítményű, egyforgásirányú, ún. 1/4-es tirisztoros hajtást armatúraköri és gerjesztőköri tirisztoros táplálással, önműködő mezőgyengítéssel. Azóta a nemzetközi tendenciáknak megfelelően a hajtásszabályozások területe a Főosztályon belül is egyre inkább áttolódik a tirisztoros hajtásokra.

A kezdeti évek kisebb jelentőségű és ma már legfeljebb történelmi érdekességű hajtásszabályozási munkáit figyelmen kívül hagyva elsőként a Csepeli Csőgyár csőtolópadjának, majd két kínai exportra készült csőtolópadnak amplidines Ward—Leonard rendszerű, kb. 600 kW teljesítményű szabályozott hajtását említjük 1958—59-ben. A második nagy munkánk a Salgótarjáni Acélárugyár szalaghegesztő és pácoló gépsorának bonyolult hajtásrendszere 1962-ben, mágneses erősítős-tranzisztoros Ward—Leonard hajtásokkal, 400 Hz-es mágneses erősítőkkel és mágneses belógásérzékelőkkel.



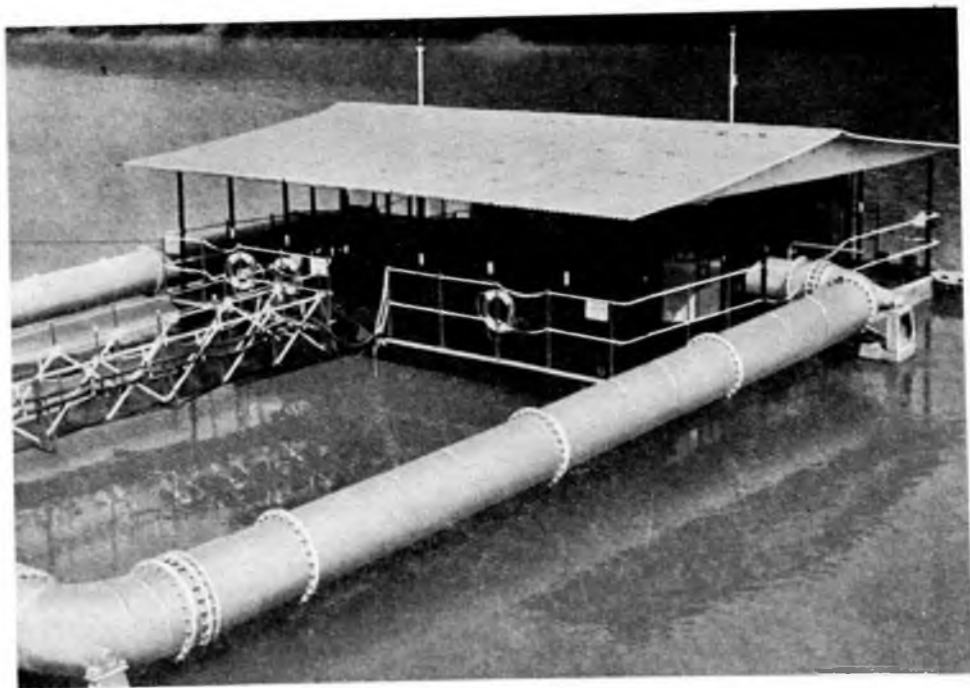
8-2. ábra. Zagyszivattyú-hajtás áramirányítója és szabályozója



A harmadik nagyszabású munkánk 1964-ben a Lenin Kohászati Művek blokk-sorának és bugasorának szabályozott hajtásrendszere volt, a blokk-sori főhajtást is beleértve, amelyben amplitúdines-tranzisztoros Ward—Leonard-hajtásokat alkalmaztunk. A berendezéshez 16 szabályozott hajtás tartozik, a legnagyobb 4 MW, a hajtások többsége 200 kW névleges teljesítményű, általában 2,5-szeres túlterhelhetőséggel. A hajtások a gyakorlatban igen jónak mutatkoztak, a hengerek teljesítménye a tervezett értéket felülmúlta. Ezt a munkát ugyanúgy, mint a két előzőt, a VILATI-val kooperálva végeztük.

A tirisztoros hajtások közül 1967-től kezdődően először az egyenáramú hajtások kifejlesztése került sorra. A kutatás és fejlesztés a KGM célprogram-szerződésének keretében folyt, és azzal párhuzamosan különféle célokra fejlesztettünk ki és gyártottunk hajtásokat. Ezek közül a legfontosabbak:

- az első ipari kivitelű 1/4-es kazánrostély-hajtás, 6 kW teljesítménnyel, a Dorogi Hőerőmű részére 1967-ben;
- a cukoripar részére különféle répavágó (1/4-es) és centrifuga (gerjesztés-fordító 4/4-es, 130 kW teljesítménnyel) hajtások;
- 16 kW-os egyenáramú tirisztoros daruemelőmű hajtás 4/4-es üzemre, armatúraköri átkapcsolással. Ennek a kedvező tapasztalatai alapján 10...100 kW között öt teljesítményfokozatra kidolgoztuk az armatúraköri átkapcsolással működő egyenáramú tirisztoros daruhajtások tervdokumentációját és átadtuk az EVIG-nek;
- 17 kW névleges teljesítményű ellenpárhuzamos kapcsolású, 4/4-es üzemi gőghajtás a Lenin Kohászati Üzemek blokk-sora részére;



8-3. ábra. Az algyői vízkivételi mű kaszkád hajtású szivattyúval

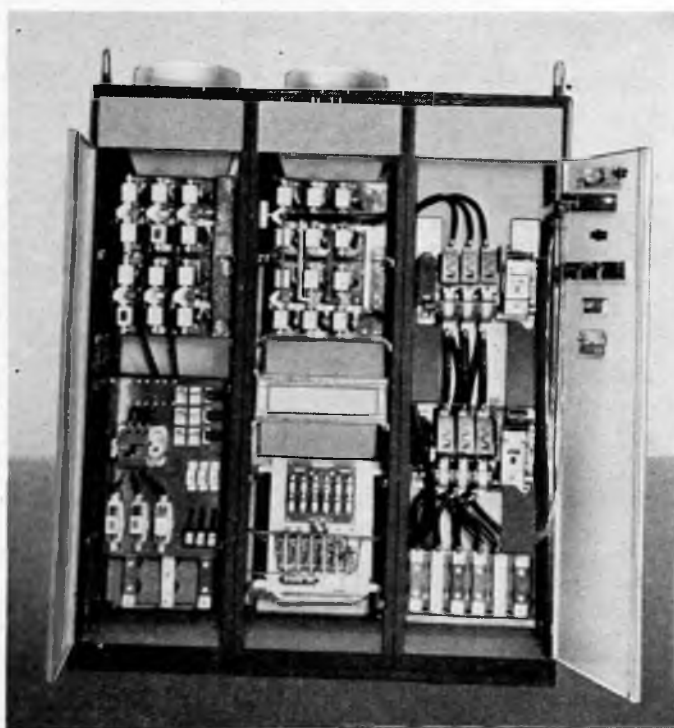


- 450 kW teljesítményű zagyszivattyú-hajtások 800 V-os motorhoz, 1/4-es üzemre, hozzá-ellen kapcsolású áramirányítóval exportra (8-2. ábra);
- 6250 kW névleges teljesítményű Ward—Leonard-hajtás szabályozása a generátor gerjesztőkörében ellenpárhuzamos kapcsolású, a motor gerjesztőkörében teljesen vezérelt hídkapcsolású áramirányítóval, 4/4-es üzemre, fordulatszám-szabályozóval, önműködő mezőgyengítéssel a Dunai Vasmű megleghengerművének előnyújtó sorához, a vízszintes hengerállvány főhajtásának céljára.

Az egyenáramú tirisztoros hajtásokon kívül foglalkoztunk különböző tirisztoros váltakozóáramú hajtások kutatásával és fejlesztésével. Ezek közül csak a legfontosabb, gyakorlatban is megvalósult berendezéseket említjük.

Szinkron alatti üzemre alkalmas félvezető kaszkád hajtásokat készítettünk:

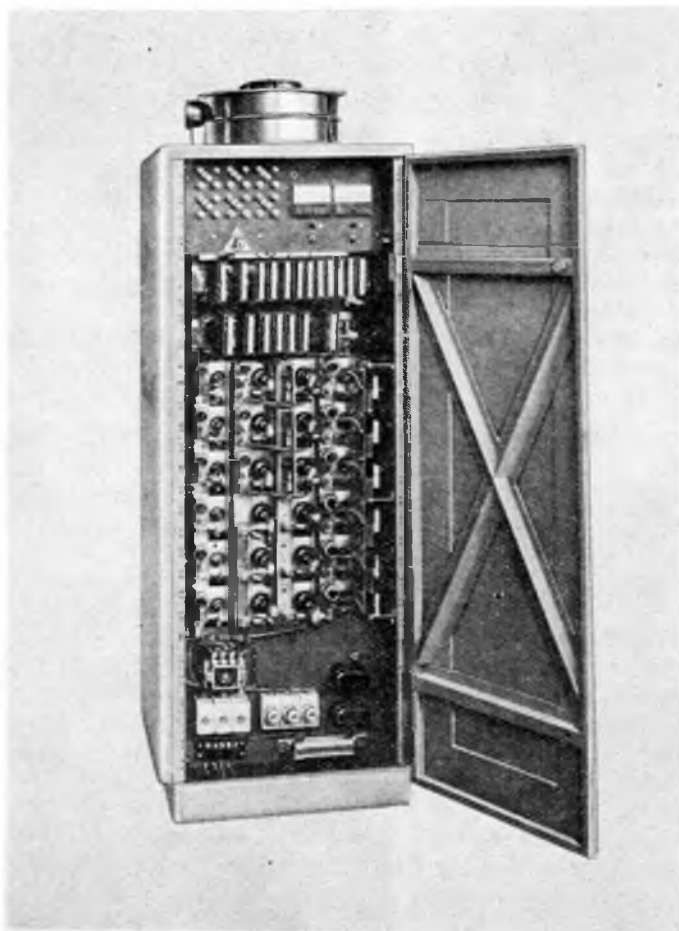
- 2 db-ot egyenként 500 kW motorteljesítménnyel a Középdunántúli Szénbányák részére bányaszivattyúk hajtására;
- egy berendezést 4 db 110 kW-os motor fordulatszámának együttes szabályozására 30% fordulatszám-változtatási lehetőséggel úszó öntözővízkivételi műszivattyúhoz (8-3. ábra);
- egy 280 kW-os hajtást 30% fordulatszám-változtatási lehetőséggel dugattyús kompresszorhoz, légnyomás-szabályozással (8-4. ábra);



8-4. ábra. Kaszkád hajtású dugattyús kompresszor elektronikája

Ellenpárhuzamos tirisztorpárokon keresztül változtatható feszültséggel táplált irányváltó aszinkron motoros daruhajtást készítettünk ellenáramú fékezéssel az Ózdi Kohászati Üzemek részére.

Közbenső egyenáramú körös frekvenciaátalakítót fejlesztettünk ki a Szerszám-gépipari Művek Fejlesztő Intézetének igénye alapján nagy fordulatszámú köszörűmotorok (0,5...4 kW között) táplálására. A fordulatszám-tartomány — több lépcsőben — 30 000...120 000/min. A frekvenciaátalakító átkapcsolással két- és három-



8-5. ábra. Inverter nagy fordulatszámú köszörűorsó hajtásához

fázisú motorok táplálására is alkalmas. Az indítás csökkentett frekvenciával történik, a maximális frekvencia 2 kHz. E frekvenciaátalakító kifejlesztése során szerzett tapasztalatokra támaszkodva megkezdjük újabb, exportra alkalmas frekvenciaátalakítók kifejlesztését, részben ugyancsak köszörűmotorok, részben más, nagy fordulatszámú motorok táplálására (8-5. ábra).

## 6.5 Ívkemence-szabályozók

Azért térünk ki e szabályozók tárgyalására újból, mert nagyon érdekes példát adnak arra, hogy egy, a VKI-ban 1952-ben kifejlesztett gyártmány — lényegében azonos elvi felépítéssel, természetesen azonban a konstrukció folyamatos korszerűsítésével és az elektroncsöveknek félvezetőkké való felváltásával — hogyan lett egyre jobban értékesíthető exportcikké, természetesen a kemencével, kemencetranszformátorral, fojtótekerccsel, kapcsolóberendezéssel és szivattyúállomással együtt. Ma Magyarországon kívül ilyen szabályozók működnek Svédországban, Dániában, Lengyelországban, az NDK-ban, Csehszlovákiában, Romániában, Ausztriában, Jugoszláviában, Törökországban, Indiában és Pakisztánban. Az egyéb gyártó vállalatokat nem tekintve csak a VKI a tirátronscsöves típusból 10 db-ot, majd a félvezetős, tirisztoros típusból 18 db-ot állított elő.

## 6.6. Feszültségszabályozások

A cím két témacsoportot foglal össze: a generátor-feszültségszabályozásokat és a hálózati feszültségszabályozásokat.

A generátor-feszültségszabályozások közül a VKI, ill. a Főosztály kisebb, rendszerint önálló áramforrásként alkalmazott szinkron generátorokhoz fejlesztett ki gerjesztőgép nélküli, feszültségszabályozóval kiegészített kompaundáló gerjesztőberendezést. Ezek gyártását saját generátoraihoz az EVIG vette át és elég jelentős mennyiségben gyártotta, pl. hajókon és egyéb mobil berendezéseken történő felhasználásra.

A generátor-feszültségszabályozásoknak egy különleges esete az Országos Mérésügyi Hivatal rendelkezésére kifejlesztett, szinuszgenerátoros nagy pontosságú áramforrás, amelyben a szinkron generátort tirisztoros táplálású egyenáramú motor hajtja, s így a feszültségértéken kívül a frekvencia is — 42 és 65 Hz között — állítható. A feszültségszabályozás pontossága  $5 \cdot 10^{-4}$ , a frekvenciaszabályozásé  $10^{-3}$ .

Hálózati feszültségszabályozás céljára aszinkron szervomotoros, fokozatkapcsolós szabályozótranszformátorokhoz kifejlesztettünk olyan automatikát, amely a feszültségeltérést elektromechanikus szerkezettel integrálja, és meghatározott küszöbérték elérésekor átkapcsolási parancsot ad a fokozatkapcsolónak. Ebből a készülékből a Főosztály elég jelentős mennyiséget gyártott belföldre és exportra. Az automatika továbbfejlesztett változatából az elektromechanikus integrátor kimaradt, az integrálás tranzisztoros áramkörökkel történik. Ennek gyártását az Erőmű Karbantartó Vállalat vette át. A legújabb típus az előzőnek integrált áramkörös továbbfejlesztése.

Kisteljesítményű ipartelepi vagy falusi szekunder hálózatok feszültségviszonyainak javítására alakítottuk ki a két vagy három fokozatú automatikus feszültségkorrekcióra alkalmas szekunder hálózati szabályozó-transzformátort háromfázisú kivitelben max. 60 kVA, egyfázisú kivitelben max. 30 kVA átmenő teljesítménnyel.

## 6.7 Információelektronika

Azt a kutatási és fejlesztési tevékenységet soroljuk ide, amely a teljesítményelektronikától többé-kevésbé vagy teljesen független problémák, adatgyűjtési, adatfeldolgozási, programozási stb. feladatok megoldására irányul digitális, analóg vagy hibrid technika

segítségével. Az információelektronikát a legkorszerűbb elektronikai elemek, az integrált áramkörök tömeges felhasználása jellemzi. Röviden vázolunk néhány kutatási feladatot.

#### *Pénztárgép-adatgyűjtő berendezés*

10 db egyidejűleg működő pénztárgép adatait gyűjti közös lyukszalagra, számítógépes feldolgozás céljára. Minden egyes blokkolás 14 számjegyű adatot továbbít az adatgyűjtőbe, ebből egy számjegy a pénztárgép azonosítására, 8 számjegy az árukód, 5 számjegy az értékkód. A munka az Irodagéptechnikai Vállalat megbízása alapján készül.

#### *Feltételesreflex-kialakító és -regisztráló berendezés*

Egyidejűleg hat kísérleti állat feltételes reflexeinek kialakítására szolgál programozott fény- és villamos áram ingerek kombinációjával. Az egyes állatokra ható ingerek egymástól függetlenek. A berendezés egyúttal külön-külön minden állatra vonatkozóan regisztrálja a feltételes reflex kialakulásának folyamatát. A Gyógyszerkutató Intézet megbízása alapján készült, gyógyszerek hatásmechanizmusának tömeges vizsgálatára.

#### *Effektívérték-mérő és -regisztráló berendezés*

Gyorsan és szabálytalanul változó mennyiség, pl. hengerművi sorvonó motor áramának előre beállított időre vonatkozó négyzetes középértékét méri és regisztrálja. Az integrálási idő a kivitelezett berendezésnél 1 . . . 15 min között állítható, az armatúraáram pillanatértéke  $\pm 20$  kA határok között mozoghat.

#### *Statisztikus voltmérő*

Szabadtéri, oszlopra akasztható kivitelű készülék, amely mindhárom fázis feszültségét szabályos időközönként ellenőrzi, és hosszabb időszakra, pl. egy-két napra vagy hétre vonatkoztatva regisztrálja, hogy az egyes fázisok feszültsége a regisztrálási idő hány százalékában volt az előírt határokon belül, az előírt értéknél nagyobb, ill. kisebb. Nullszéria készült a Magyar Villamos Művek megbízásából.

### **6.8 Ipari elektronikus berendezések megbízhatósága**

Az inverterekkel kapcsolatban említettük azok igen nagyfokú megbízhatóságát. Általánosságban megállapítható, hogy a kellő gonddal tervezett, kivitelezett és üzembehelyezett ipari elektronikus berendezések megbízhatósága az egyéb, pl. gépészeti berendezésekhez, villamos forgógépekhez, elektromechanikus készülékekhez képest szokatlanul nagy. Ez a megbízhatóság azonban tervszerű, erre irányuló tevékenységgel igen nagy mértékben fokozható is. A megbízhatóság fokozása az utóbbi években egyre sürgetőbb feladattá válik. Ennek egyik oka, hogy az ipari elektronikus berendezések mind bonyolultabb és mind nagyobb termelési értéket előállító technológiai berendezések részeként üzemelnek és az ipari elektronikus berendezések meghibásodásai sokszor a berendezések értékét több nagyságrenddel meghaladó károkat okozhatnak. A másik ok abban keresendő, hogy maguk az ipari elektronikai berendezések is egyre bonyolultabbá válnak, egyre több alkatrészt tartalmaznak és így — egy-egy alkatrészre vonatkozóan változatlan megbízhatóságot feltételezve — a komplett berendezés eredő megbízhatósága egyre rosszabbá válnék.

A Főosztály évekkal ezelőtt megindította a rendszeres megbízhatósági kutatásokat és adatgyűjtést. Ennek eredményeként ma a legkülönbözőbb elektronikus berendezésekre, terveiknek ismeretében jó becsléseket tudunk adni a megbízhatóság várható mértékére vonatkozóan, vagy ajánlásokat a megbízhatóság meghatározott mértékű javításához bizonyos alkatrészek cseréjére, túlméretezésére, a gyártási, szerelési technológia megváltoztatására, a tartalékképzés módjára stb. Egyes megrendelők már megkövetelik, hogy az ipari elektronikai berendezéseket megalapozott megbízhatósági becsléssel szállítsuk, és várható, hogy ez az irányzat erősödni fog.

## 7. Tervek és perspektívák

A Főosztály további tervei főbb vonalakban a következők:

Javítani kívánjuk a fejlesztő és kivitelező munkát olyan, ma már hagyományosnak számító területeken, mint a tirisztoros egyenáramú hajtások, továbbá aszinkron motorok tápfeszültség-változtatással történő szabályozása és szinkron alatti kaszkád-hajtások. Tökéletesíteni kívánjuk az ilyen hajtásokhoz kifejlesztett tipizált részegységekből álló építőköcka-rendszert és gyártási technológia szempontjából javítani a konstrukciókat, továbbá fokozni a kooperációt az érdekelt gyártó vállalatokkal.

Erőteljesen fokozni kívánjuk a kutatási és fejlesztési tevékenységet a kényszerkommutációs áramirányítók területén. Ezen belül szélesíteni kívánjuk a különféle rendeltetésű frekvenciaátalakítós tápegységek típusválasztékát.

Bővíteni akarjuk a kutatásokat a primer frekvencia és feszültség egyidejű változtatásával szabályozott aszinkron és szinkron motoros hajtások területén, egyrészt az áramkörü megoldások és a méretezési eljárások tökéletesítésére, másrészt a nagyfrekvenciás motorokon kívül egyéb gazdaságos alkalmazási területek feltárása érdekében. Fokozottan be kívánunk kapcsolódni a villamos járműhajtások fejlesztésébe. Folytatni akarjuk a hibrid táplálású autóbusz kifejlesztésére az Ikarusszal, Autókut-tal, GVM-mel és BKV-val kooperációban megkezdett munkát, továbbá ki akarjuk terjeszteni tevékenységünket más közúti járműhajtások, pl. gázturbinás villamos erőátvitteles nehéz járművek, továbbá egyenáramú felsővezetékes sínjárművek hajtásainak fejlesztésére.

Fejlesztetni kívánjuk tevékenységünket az információelektronika területén, részben a teljesítményelektronikai feladatokhoz kapcsolódva, részben önálló szakterületként.

Szélesíteni kívánjuk tevékenységünket a számítógépek alkalmazása területén, részben a már a VKI-ban üzemelő asztali digitális számítógép, részben más intézményeknél üzemelő számítógépek felhasználásával, esetleg egy kis számítógép beszerzésével. A számítógépes módszereket elsősorban egyéb feladataink megoldása során felmerülő műszaki—tudományos számításokra, áramkörök és berendezések méretezésére, optimumszámításokra, modellezési feladatokra kívánjuk alkalmazni.



# 9.

## **A Dunai Vasmű Meleghengerműve előnyújtósori, 6230 kW-os Ward—Leonard rendszerű vízszintes főhajtásának szabályozása**

*BALLÓK IMRE—MLINKÓ TAMÁS—WEINER GYÖRGY*

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

A Dunai Vasműben 1972. folyamán üzembe helyeztük a meleghengerművi vízszintes főhajtás 6230 kW névleges teljesítményű sorvonó motorjának fordulatszám-szabályozását. A szabályozás a Ward—Leonard kapcsolású motor—generátor gerjesztőkörébe avatkozik be. A tirisztoros szabályozóberendezések jó minőségű fordulatszám-szabályozást és áramszabályozást biztosítanak a négynegyedes üzemmódban üzemelő sorvonó motor részére. A sorvonó motor fokozatmentes mezőyengítéssel maximálisan kétszeres névleges fordulatszámmal üzemel.

A cikk összehasonlítja a számítógépes modellezés és az üzemelő berendezés mért paramétereit, kitér a felhasznált egyedi érzékelőkre és védelmekre, különös tekintettel a gerjesztőköri elektronikus túlfeszültségvédelemre.

### **ПРОБЛЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВАРДА—ЛЕОНАРДА ГЛАВНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПРИВОДА С МОЩНОСТЬЮ 6230 кВт БЛУМИНГА ЦЕХА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ДУНАЙСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА**

*И. Баллок—Т. Млинко—Дь. Вейнер*

### **Резюме**

Статья подробно рассматривает регулирование скорости вращения линейного приводного двигателя с номинальной мощностью 6230 кВт горизонтального главного привода стана горячей прокатки пущенного в эксплуатацию в 1972 году на Дунайском металлургическом комбинате. Регулирование осуществляется путем вмешательства в цепи возбуждения двигателя-генератора включенных по схеме Варда—Леонарда.

Тиристорные регулирующие устройства обеспечивают регулирование скорости вращения и тока хорошего качества для приводного двигателя линии работающего в 4/4-ом режиме работы. Линейный приводной двигатель работает с плавным ослаблением поля с максимальной скоростью вращения равной двухкратной номинальной скорости.

В статье сравниваются параметры, полученные в результате моделирования на вычислительной машине с параметрами, полученными в результате измерения. Авторы останавливаются на использованных датчиках индивидуального изготовления и устройствах защиты, особо подчеркивая электронную защиту цепи возбуждения от перенапряжения.

**REGELUNGSPROBLEME EINES 6230 kW WARD – LEONARD  
HAUPTANTRIEBS DES WARMWALZWERKS  
IM „DONAU“-EISENHÜTTENWERK**

*1. Ballók—T. Mlinkó—Gy. Weiner*

**Zusammenfassung**

Der Aufsatz befasst sich eingehend mit dem Problem der Drehzahlregelung eines horizontalen 6230 kW Walzenzugmotors, der im Laufe des Jahres 1972 in dem Warmwalzwerk des „Donau“-Eisenhüttenwerks in Betrieb gesetzt wurde. Die Regelung greift in die Erregerkreise des Ward – Leonard Motors und Generators ein. Die thyristorisierten Regelungseinrichtungen sichern eine Drehzahl- und Stromregelung mit guter Qualität für den Walzenzugmotor in der 4/4-Betriebsart. Der Walzenzugmotor arbeitet mit stufenloser Feldschwächung maximal bis zum zweifachen Drehzahl-nennwert.

Im Aufsatz werden die Parameter der Betriebsmodellierung an der Rechenmaschine mit denen der betriebenen Einrichtung verglichen, die angewandten Einzelfühler und Schutzrichtungen diskutiert im Hinblick besonders auf den elektronischen Überspannungsschutz der Erregerkreise.

**REGULATION PROBLEMS OF THE WARD – LEONARD SYSTEM APPLIED  
TO THE 6230 kW MAIN BREAKING-MILL DRIVE OF THE HOT-ROLLING  
MILL AT THE DUNAI VASMŰ (DANUBIAN IRON WORKS)**

*By 1. Ballók—T. Mlinkó—Gy. Weiner*

**Summary**

The paper discusses in details the speed regulation of the 6230 kW mill-drawing motor of the horizontal main hot-rolling drive installed at the Danubian Iron Works in 1972. Regulation acts on the excitation circuits of the Ward – Leonard motor-generator set. The thyristorized regulating equipment provides good-quality speed regulation and current regulation for the mill-drawing motor operating in four-quarter mode. The mill-drawing motor is operated with stepless field-weakening at a max. speed which is twice the nominal one.

Comparison is made between the parameters obtained by computer modelling and by measurements performed on the equipment in operation; the individual sensors and protections are discussed with special regard to the electronic overvoltage protection used in the field circuit.

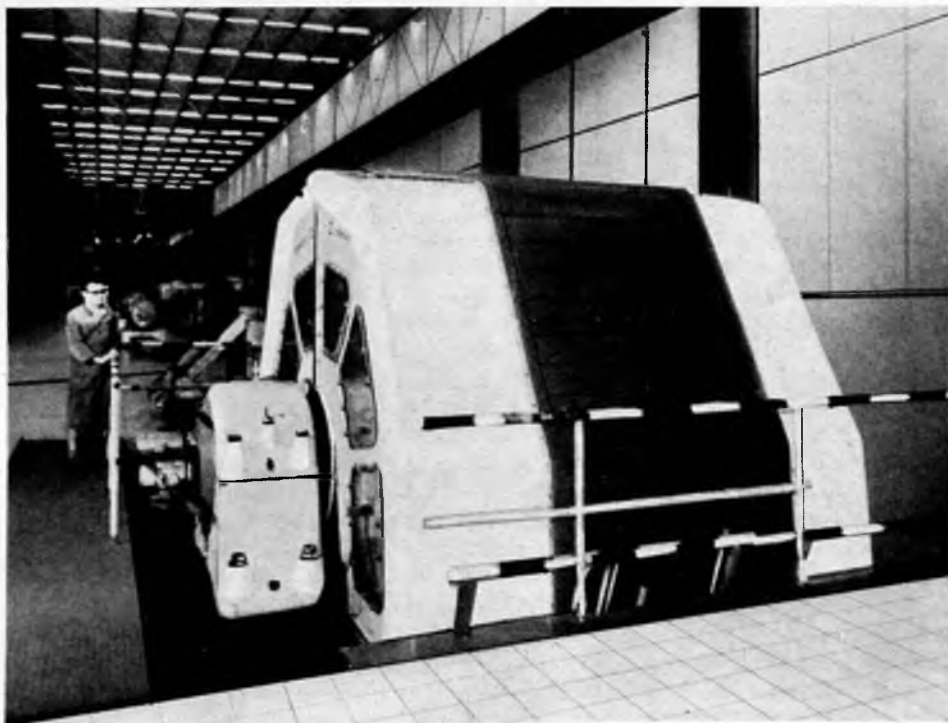
**1. Bevezetés**

A Dunai Vasmű acéltermelésének további növelése érdekében több jelentős beruházás van folyamatban a Vasműben. Ezekkel egyidőben a Meleghengermű kapacitását is növelik. A meleghengermű előnyújtósorból és készsorból áll. Az előnyújtósoron történik az öntecs hengerlése, amivel előlemezbt biztosítanak a készsor számára. Az öntecset függőleges és vízszintes állványon hengerlik a technológia által előírt szűrásszámmal. Az előnyújtósor termelését — az adott gépészeti berendezések maximális kihasználása esetében — elsősorban a vízszintes főhajtás sorvonó motorjának teljesítménye határozza meg. A vízszintes főhajtás korszerűsítésének első lépéseként a GANZ VM 1969-ben a 4600 kW teljesítményű sorvonó motort kicserélte. Az új motor adatai a következők:



$$\begin{aligned}
 P_n &= 6230 \text{ kW}, \\
 U_n &= 1000 \text{ V}, \\
 I_n &= 6650 \text{ A}, \\
 I_{\max} &= 16\,600 \text{ A (15 s-ig)}, \\
 di/dt &= \text{max. } 150\,000 \text{ A/s}, \\
 n_u &= 50/\text{min} \\
 n_{\max} &= 100/\text{min} \\
 M_n &= 121 \cdot 10^3 \text{ kpm (} 10^4 \text{ Nm)}, \\
 (\text{GD}^2) &= 310 \cdot 10^3 \text{ kgm}^2, \\
 I_{gn} &= 630 \text{ A}.
 \end{aligned}$$

A motor a 9-1. ábrán látható. A külső gerjesztésű, kompenzált, egyenáramú, sorvonó motor táplálása két főáramkörben párhuzamosan, gerjesztőkörben sorosan kapcsolt, külső gerjesztésű, kompenzált, egyenáramú generátorról történik Ward—Leonard-kapcsolásban. A generátorok terheléskiegyenlítését a generátorok főpólusain elhelyezett kiegyenlítő gerjesztőtekercsek végzik. 1972-ben a GANZ VM a két egyenáramú generátort is kicserélte az új motor teljesítményének megfelelő teljesítményű gépekre. A generátorokkal egyidejűleg a Villamosipari Kutató Intézet korszerű tirisztoros szabályozóberendezést helyezett üzembe a vízszintes főhajtás szabályozására, ami azóta is kifogástalanul üzemel. A szabályozóberendezés a sorvonó motor fordulatszámát szabályozza és lehetővé teszi, hogy a motor fordulatszáma üresjárás és névleges terhelés közötti tartományban az előírttól legfeljebb  $\pm 2\%$ -ot térjen el.



9-1. ábra

A szabályozóberendezés a legmesszebbmenőkig kielégíti azokat a követelményeket, amiket a technológia és a távlati fejlesztés (számítógépes irányítás) támaszt, ill. támasztani fog a szabályozóberendezéssel szemben.

A technológiai követelmények röviden a következők. A motor fordulatszámának kétirányú, fokozatmentes változtatása a névleges fordulatszámig maximális (16 600 A) armatúraárammal történő gyorsítással (fékezéssel) névleges fluxus mellett. A motor névleges fordulatszám fölötti fokozatmentes, kétirányú gyorsítása (fékezése) az állítható maximális hengerlési sebességig ( $n_{max}$ ), a fordulatszámától függő maximálisan megengedett armatúraárammal állandó kapocsfeszültség és csökkentett fluxus mellett. További követelmények:

a) Hengerlési szünetekben a motor állandó, egyirányú kúszó sebességgel történő forgatása a hengerek hűtése céljából.

b) Az öntecs befogása mindkét irányban kis fordulatszámmal.

c) Az első szúrásoknál az anyag olyan rövid, hogy a névleges hengerlési sebesség elérése előtt célszerű a fékezést megkezdeni, hogy az anyag az állványt ne hagyja el túlságosan.

d) A mezőgyengítés gazdaságos kihasználása csak az utolsó szúrásoknál jöhet szóba, amikor a hengerlési áram viszonylag kicsi, ill. az anyag hosszú.

A b) és c) pont alatti követelmény nagyon jó dinamikai tulajdonságú szabályozóberendezést kíván. A szabályozóberendezés másik fontos feladata tehát az, hogy biztosítsa a tranziens üzemmódokban az armatúraáram megengedett maximális meredekségű kialakulását túllendülés nélkül és a gyorsítást (fékezést) állandó armatúraárammal, ami lehetővé teszi, hogy a szúrási idő minimális (a termelés maximális), a sorvonó motor kihasználása termikus szempontból optimális legyen.

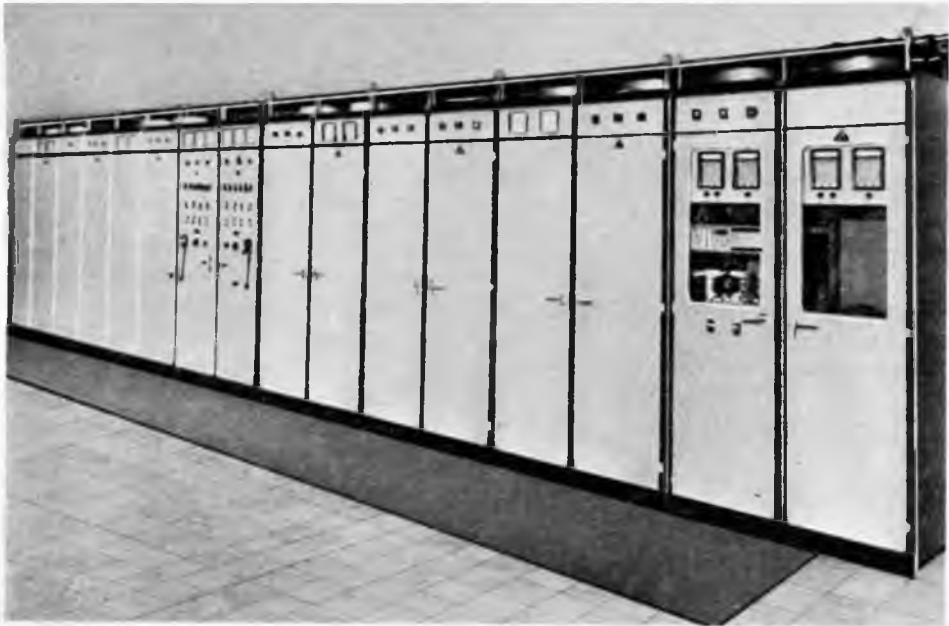
A szabályozóberendezésnek olyan armatúraáram-alakot kell biztosítani a tranziens üzemmódokban, hogy a névleges gyorsítónyomatékkal történő reverzálási idő névleges fordulatszámról névleges fordulatszámra legfeljebb 3%-kal lehet nagyobb, mint az ideális négyszög alakú névleges áramalakokkal történő reverzálás ideje.

## 2. A szabályozóberendezés kiviteli formája

Tekintettel arra, hogy az előnyújtósoron történik a Vasmű teljes acéltermelésének hengerlése, a szünetmentes hengerlés érdekében két, teljesen azonos felépítésű szabályozóberendezés került üzembe. A két berendezés (A és B) közötti kapcsolatot, valamint az áttérést egyik berendezésről a másikra ún. közös kapcsolószekrény teszi lehetővé. A 9-2. ábra a szabályozóberendezést ábrázolja. Mindkét szabályozóberendezés három darab iker-modul szekrényben helyezkedik el. A két berendezést a kapcsolószekrény választja el egymástól. A jobb szélső szekrény a közös regisztrálóberendezéseket foglalja magában. A két berendezés táplálása külön-külön cellákból történik a 0,4 kV-os alállomásról.

A berendezéseken kívül kettőzött kivitelben építettük be azokat az érzékelőelemeket is, amelyek a szabályozóberendezések szabályozott mennyiségeit érzékelik. Ezek a következők:

- a fordulatszám érzékelésére: tachométergenerátor,
- az áram érzékelésére: egyenáramú áramváltó,
- a kapocsfeszültség érzékelésére: egyenfeszültségváltó.



9-2. ábra

A berendezések kiválasztása, be- és kikapcsolása a kapcsolószekrényen elhelyezett választókapcsolókkal, nyomógombokkal történik. Ezen a szekrényen helyezkednek el az ún. közös jelek jelzései és mutatók műszerei is. A kapcsolószekrényen elhelyezett választókapcsolók segítségével az alábbi üzemmódokat lehet kiválasztani.

- a) az *A* berendezés üzemel;
- b) az *A* berendezés üzemel és a *B* berendezés próbálható önmagában, vagy segédgépek felhasználásával;
- c) az *A* berendezés próbálható a tényleges gépekkel, a sorvonó motor és a generátorok armatúrájának összekapcsolása nélkül;
- d) *B* berendezés üzemel;
- e) *B* berendezés üzemel és az *A* berendezés próbálható önmagában vagy segédgépek felhasználásával;
- f) a *B* berendezés próbálható a tényleges gépekkel, a sorvonó motor és a generátorok armatúrájának összekapcsolása nélkül.

A *b*) és *e*) üzemmód lehetőséget ad arra, hogy az egyik berendezés üzeme közben a másik berendezést az üzemviszonyoknak megfelelően kipróbálják, azon hibaelhárítást, ellenőrző méréseket, stb. végezzenek. A kapcsolószekrényben elhelyezett reteszelvek biztosítják, hogy a próba alatt álló berendezésen végzett kapcsolások, mérések stb. nem hatnak vissza a működő berendezésre.

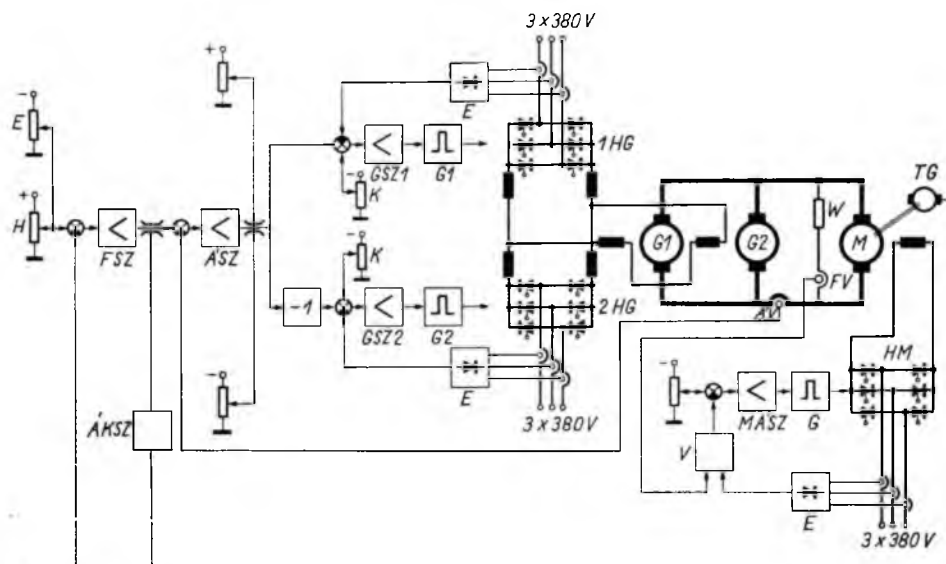
Az átkapcsolás lehetővé teszi, hogy üzemzavar esetén 20 másodperc alatt átállja-

nak a másik berendezésre és üzem közben végezzék el a meghibásodott berendezés javítását.

Az ismertetett kettős berendezés szünetmentes hengerlést biztosít, és a villamos üzemzavar lehetőségét a vízszintes főhajtás szabályozójában kizárja.

### 3. A szabályozás felépítése

A szabályozás blokkvázlata a 9-3. ábrán látható. A  $G1$ ,  $G2$  generátorok sorbakapcsolt gerjesztőtekerceit az  $1HG$ ,  $2HG$  háromfázisú, teljesen vezérelt hidkapcsolású egyenirányítókban felépített ellenpárhuzamos kapcsolású áramirányító táplálja a gyors indítások, fékezések és reverzálások érdekében forszírozott feszültséggel.



9-3. ábra

A generátorok gerjesztését  $FSZ$  fordulatszám-szabályozóból,  $ÁSZ$  alárendelt áramszabályozóból és köráram-szabályozóból felépített  $GSZ 1$ ,  $GSZ 2$  gerjesztőáramszabályozók végzik. Az áramkorlátozás értékét az  $ÁKSZ$  egység a névleges fordulatszám felett — mindkét irányban — a fordulatszám függvényében a megengedett értéküre korlátozza. Az áramszabályozó erősítő kimenetének korlátozásával a gerjesztőáramot korlátozzuk.

A sorvonó motor gerjesztését a  $HM$  jelű teljesen vezérelt hidkapcsolású egyenirányító biztosítja. Az  $MASZ$  motor gerjesztésszabályozó névleges fordulatszám alatt állandó motor-gerjesztőáramot, felette pedig állandó motor-kapocsfeszültséget biztosít. A gerjesztőárammal és a kapocsfeszültséggel arányos jelekből a  $V$  egység választja ki a megfelelőt.

A főhajtás irányítása a kormánypulton elhelyezett lábkapcsolóval történik. Az „előre” és „hátra” iránynak megfelelő alapjeleket egymástól mechanikusan retesztelt lábpedállal hajtott  $E$  és  $H$  jelű potenciométerek szolgáltatják. A potenciométerek csúszóérintkező nélküli mágneses (Feldplatte) kiképzésűek. Ezt a megoldást azért

kellett választanunk, mert az évenkénti kb. kétmillió kapcsolást csúszóérintkezős potencióméter üzembiztosan nem bírja el.

A főáram érzékelése Hall-generátoros érzékelővel ellátott irányérzékeny egyenáramú áramváltóval történik, ahol a primer gerjesztést tirisztoros szabályozó kompenzálja. A kapocsfeszültséget mágneses térrel vezérelt ellenállás-érzékelővel felszerelt egyenfeszültségváltó érzékeli. Az áramváltót és a feszültségváltót a Villamosipari Kutató Intézet fejlesztette ki.

#### 4. A szabályozott hajtás védelmei

A szabályozóberendezés szerves részét képezik a szabályozó-, ill. a forgógépek védelmei. A védelmek nagy része elektronikus, kisebb része elektromechanikus. Mindkét féle védelem megfelelő jelzést is ad.

A nagy teljesítményes és a fokozott üzembiztonsági követelmények miatt viszonylag sokféle védelmet építettünk be. A védelmek egyik része megakadályozza az üzembiztos keletkezését, másik része pedig üzembiztos esetén szelektív lekapcsolást és jelzést ad.

A védelmeket a hiba keletkezési helye alapján két nagy csoportba oszthatjuk:

- a) Tirisztoros gerjesztés-szabályozó egység védelmei.
- b) Főhajtás védelmei.

##### 4.1 A tirisztoros gerjesztés-szabályozó egység főbb védelmei

###### *Hálózati túlfeszültség-védelem*

A szabályozóberendezések 6,75% rövidrezárási feszültségű kommutációs fojtótekerceken keresztül kapcsolódnak a 0,4 kV feszültségű, 8 MVA névleges teljesítményű kettős körgyűjtősinre. A táphálózat nagy teljesítménye miatt az áramirányítók hálózati túlfeszültségvédelmét nem lehet a szokásos RC elemekkel megoldani. Ezért a védelmet szelén túlfeszültséglevezetők alkotják, amelyek a kommutációs fojtótekerce és az áramirányítók közös pontjaira csatlakoznak.

###### *Elemvédelem*

A tirisztorokat a kommutációkor keletkező túlfeszültség ellen a tirisztorokkal párhuzamosan kapcsolt RC körök védik.

###### *Tirisztorok túlterhelés elleni védelme*

A kényszerszellőztetésű áramirányítók túlterhelése elsősorban a szellőzés kimaradásakor következik be. A túlterhelés elleni védelmet áramirányító hidanként egy tirisztor bázistönkjében elhelyezett pozitív hőmérsékleti tényezőjű ellenállás (PTC) és az ellenállásra kapcsolódó relé látja el. Ha az érzékelt tirisztor bázistönkjének hőmérséklete eléri a 80 °C-ot, az áramirányító táplálása megszűnik.

###### *A kommutációs fojtótekercek túlterhelés elleni védelme*

A kommutációs fojtótekercek a jobb kihasználás érdekében szintén kényszerszellőztetésűek. A szellőzés kimaradása esetén a fojtótekercek a szigetelésre megengedett hőmérsékletnél nagyobb hőmérsékletre melegednek. Ezért a fojtótekercek méréssel meghatározott legmelegebb pontján PTC ellenállások helyezkednek el, ame-

lyek ugyanazt a relét működtetik, mint az áramirányítóknak levő hőmérséklet-érzékelők. A generátorok gerjesztését tápláló áramirányítók kommutációs fojtótékercsein 120 °C, a motor gerjesztését tápláló áramirányítók kommutációs fojtótékercsein 130 °C megszólalási értékű hőmérsékletérzékelők helyezkednek el.

#### *Biztosító kiolvadásvédelme*

A biztosító kiolvadásvédelme érzékeli, ha az áramirányító tirisztorainak egy vagy több biztosítója kiolvadt. Az érzékelés hatásossága kiterjed arra az esetre is, ha több párhuzamosan kapcsolt tirisztor biztosítói közül egy vagy több biztosító kiolvad. A biztosító kiolvadásvédelme az érzékelés után elektronikus billenőkört működtet, amely az áramirányító összes tirisztorának gyújtóimpulzusát egyidejűleg letiltja. Az érzékelés és a beavatkozás közötti idő olyan rövid, hogy az áramirányító kapcsoláskor esetében is legfeljebb két darab biztosító olvad ki egy áramirányítóban.

#### *Gerjesztőkori túlfeszültség-védelem*

Mint ismeretes, egyenáramú táplálású induktív terhelések tápáramkörében bekövetkezett szakadás esetén az induktivitásban tárolt mágneses energia jelentős túlfeszültséget okoz. Ez a túlfeszültség tönkre teheti a feszültségre érzékeny félvezető elemeket, ill. az induktív terhelés szigetelését. A szakadás bekövetkezhet biztosító kiolvadásakor, vagy a tápáramkörben levő megszakító kikapcsolásakor.

Kis teljesítményszintek esetén az induktivitással párhuzamosan kapcsolt ellenállás megfelelő védelmet biztosít, de nagy teljesítmények esetén ez a megoldás a veszteségek miatt nem alkalmazható. Például a sorvonó motor gerjesztőkörének névleges árama 630 A, gerjesztőkori időállandója 6,6 s. A motor gerjesztőtekercsében tárolt mágneses energia 75,7 kW. A gerjesztőtekercsekben felhalmozott mágneses energia levezetésére elektronikus túlfeszültségvédelmet fejlesztettünk ki, amely a gyakorlati tapasztalatok alapján kifogástalanul működik.

A túlfeszültségvédelmi egység szelén túlfeszültséglevezetőt és vele párhuzamosan kapcsolt tirisztorot tartalmaz. A tirisztor gyújtását a túlfeszültségről táplált gyújtóegység végzi. A gyújtóegység felépítése olyan, hogy a gyújtóimpulzus alakja független a túlfeszültség alakjától. Az elektronikus egység táplálást nem igényel. A szelén túlfeszültséglevezető feladata a túlfeszültség nagyságának korlátozása a szakadás pillanatában. A tirisztor 1000 V túlfeszültség szinten gyújt be és rövidrezárja a gerjesztőtekercset. A megszólalás után a gerjesztőáram a gerjesztőkör időállandójának megfelelően zérusra csökken.

#### *Sorvonó motor gerjesztéskimaradás elleni védelme*

A motor gerjesztését elektronikus komparátor érzékeli. 130 A gerjesztőáram-értéknél a komparátor relén keresztül parancsot ad a motor armatúrákörének megszakítására. Indításkor a komparátor beavatkozása le van tiltva.

#### *Segédüzemi földzárlatjelzés*

A működtető kör önálló földzárlatjelzéssel van ellátva, amelynek megszólalását nem követi lekapcsolás.

## **4.2 A főhajtás védelmei**

A főhajtás védelmei a sorvonó motort és a generátorokat védik a nem üzemszerűen fellépő zavarok káros következményeitől.

## *Körtűzvédelem*

A kommutátortól néhány mm távolságban, a kefék közvetlen közelében kifeszített selyemzsinór által munkaállapotban tartott kapcsolón keresztül történik a működtetés reteszelése. Körtűz keletkezésekor a selyemzsinór elég, és a kapcsoló parancsot ad a főáramkör szétkapcsolására, ill. a generátorok forszírozott legerjesztésére.

## *Szinkron motor védelme*

A generátorokat szinkron motor hajtja. A szinkron motor közismert védelmein kívül a főhajtás reteszelése függ a szinkron motor bekapcsolt állapotától is.

## *Az általában szokásos védelmek*

A következőkben röviden felsoroljuk azokat a védelmeket, amelyek általában szokásosak az ilyen jellegű hajtásoknál és amelyekkel a tárgyalt berendezés is föl van szerelve.

- *sorvonó motor megszaladás védelem*: beállított maximális fordulatszám  $2,2 n_n$ ;
- *armatúraköri túlfeszültség 1. fokozat*: beállítás 1150 V;
- *armatúraköri túlfeszültség 2. fokozat*: beállítás 1250 V;
- *zsírzás és olajzás kimaradás elleni védelem*;
- *sorvonó motor mesterséges szellőztetésének kimaradási védelme*.

A függőleges főhajtás kikapcsolásakor a vízszintes főhajtást meg kell állítani. Ezért a függőleges főhajtás armatúraköri szétkapcsolásakor automatikusan megáll a vízszintes főhajtás az áramkorlátozás által meghatározott maximális fékezőárammal.

A berendezésnek kétféle *vészleállása* lehetséges.

- Géptermi vészleálláskor a sorvonó motor armatúraköre szétkapcsolódik, a szabályozóberendezés újraindítható állapotba kerül.
- A kormányospulton történő vészkapcsoláskor a sorvonó motor vészfékezéssel áll meg.

*Főáramköri földzárlatjelzés* a berendezést nem kapcsolja ki.

A hajtás indítása megkívánja, hogy valamennyi védelem alapállapotban legyen, ill. ahol szükséges, a nyugtázás végrehajtása is indítási feltétel. A felsorolt védelmeken kívül a berendezés reteszelése biztosítja, hogy forgó generátorok esetén a sorvonó motort csak egy adott generátor kapocsfeszültség értékénél kisebb feszültség jelenlétekor lehet a generátorokkal összekapcsolni.

Megemlítjük, hogy ha a működő berendezésben valamelyik védelem megszólal, a másik, próbára bekapcsolt berendezésben ez semmiféle visszahatást nem jelent, a védelem működése a próbaüzemet nem befolyásolja. Ezen túlmenően a szabályozóberendezés védelmei, amelyek függetlenek a főhajtás védelmeitől, a próbaüzem alatt álló berendezésben működnek, ha ott nem üzemszerű igénybevételek fordulnak elő.

A védelmek időbeli beavatkozási sorrendjét a 9-1. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatban felsorolt beavatkozási helyeket a 9-4. ábrán tüntettük fel.

## **5. Analóg számítógépes modellezés**

Az analóg számítógépes modellezés kettős célt szolgált.

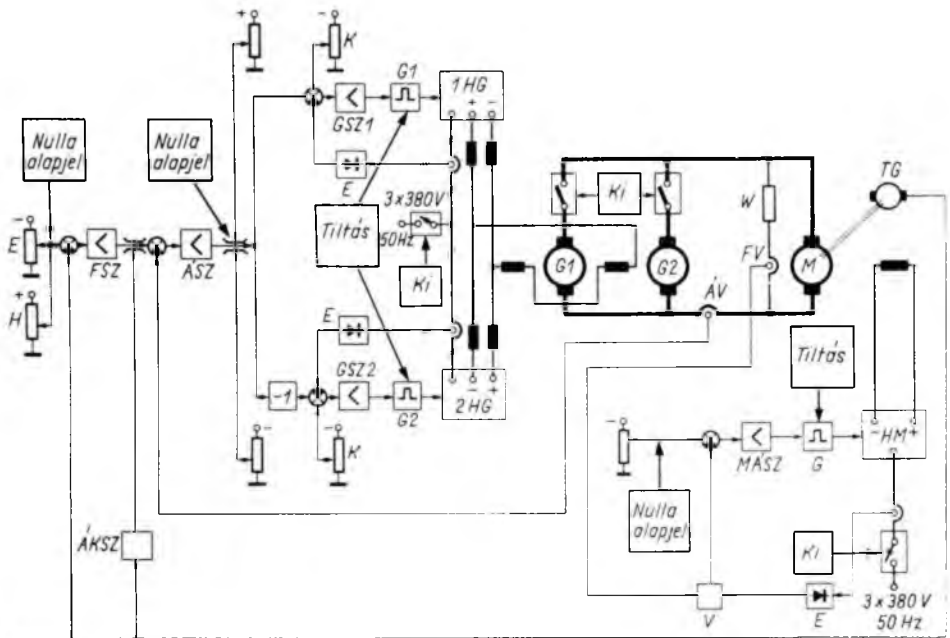
- a) A tervezés során meg kellett határozni a generátor-gerjesztőfeszültségének azt az optimális maximumát (forszírozást), ami biztosítja a kívánt tranziens időket az armatúraáram változási sebességének kellő biztonsága mellett.

9-1. táblázat

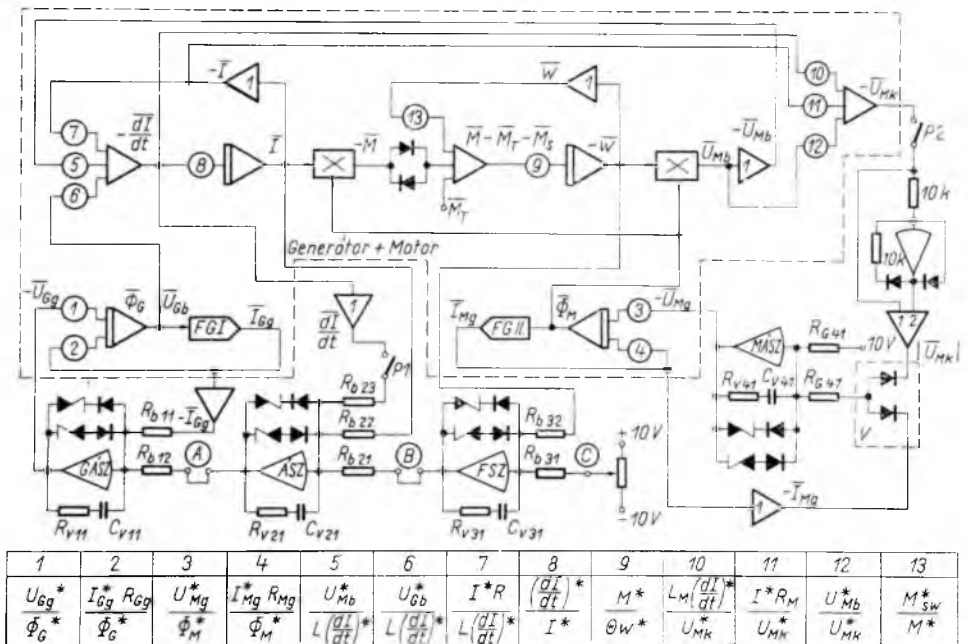
A védelmek beavatkozási sorrendje

	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
	Nulla fordulatszám alapijel	Nulla motor-gerjesztő áram alapijel	Nulla generátor-gerjesztő áram alapijel	Armatura-köri főkapcsoló $K_f$	Motor-gerjesztő-köri főkapcsoló $K_f$	Generátor-gerjesztő-köri főkapcsolója $K_f$	Motor-gerjesztést szabályozó egységek túltása	Generátor-gerjesztést szabályozó egységek túltása	Jelzés
1.									
Tirisztorok és kommutációs fojtékekes túlterhelés elleni védelem	1	2	4	3	5	6	—	—	van
Biztosító kioldadás védelem motor	—	—	2	4	3	5	1	—	van
Biztosító kioldadás védelem generátor	—	—	—	—	—	2	—	1	van
Gerjesztőköri túlfeszültség elleni védelem motor	—	—	—	—	—	—	1	—	van
Gerjesztőköri túlfeszültség elleni védelem generátor	—	—	—	—	—	—	—	1	van
Sorvonó motor gerjesztéskimaradás elleni védelem	—	2	2	1	3	3	—	—	van
Segédüzemi földzárlatjelzés	—	—	—	—	—	—	—	—	van
Körtűzvédelem	—	2	2	1	3	3	—	—	van
Szinkron motor védelem	—	2	2	1	3	3	—	—	van
Sorvonómotor megszaladásvédelem	—	2	2	1	3	3	—	—	van
Armaturaköri túlfeszültség, 1. fokozat	—	2	2	1	3	3	—	—	van
Armaturaköri túlfeszültség, 2. fokozat	—	2	2	1	3	3	—	—	van
Zsirzás, olajozás kimaradása	1	—	—	—	—	—	—	—	van
Sorvonó motor szellőzéskimaradás	1	3	3	2	4	4	—	—	van
Függőleges főhajtás kikapcsol	1	—	—	—	—	—	—	—	van
Géptermi vészleállás	1	2	2	1	3	3	—	—	van
Kormánypult vészleállás	1	3	3	2	4	4	—	—	van
Főáramköri földzárlatjelzés	—	—	—	—	—	—	—	—	van





9-4. ábra



9-5. ábra

- b) Az üzembhelyezési idő csökkentése érdekében meg kellett határozni a szabályozóegységek visszacsatolóelemeinek közelítő értékeit.

A modell felépítését a 9-5. ábra tartalmazza. Az FG I és FG II függvény-generátorok a mágnesezési görbék nemlinearitását képezik le. A 9-5. ábra jelölései a következők:

$FSZ$	fordulatszám-szabályozó,
$ÁSZ$	armatúraáram-szabályozó,
$GÁSZ$	a generátor gerjesztőáram-szabályozója,
$U_{Gg}$	generátor-gerjesztőfeszültség,
$R_{Gg}$	a generátor gerjesztőköri ellenállása,
$I_{Gg}$	generátor-gerjesztőáram,
$\Phi_G$	generátorfluxus,
$U_{Gb}$	a generátor belső feszültsége,
$U_{Mg}$	a motor gerjesztőfeszültsége,
$R_{Mg}$	a motor gerjesztőköri ellenállása,
$I_{Mg}$	a motor gerjesztőárama,
$\Phi_M$	motorfluxus,
$U_{Mb}$	a motor belső feszültsége,
$U_{Mk}$	a motor kapocsfeszültsége,
$R_M$	a motor armatúraellenállása,
$R$	armatúraköri ellenállás,
$L_M$	a motor armatúraköri induktivitása,
$L$	armatúraköri induktivitás,
$I$	armatúraáram,
$M$	motornyomaték,
$M_{Sv}$	a súrlódónyomaték fordulatszámától függő összetevője,
$M_S$	súrlódónyomaték,
$M_T$	terhelőnyomaték,
$\Theta$	a motor tengelyére redukált eredő tehetetlenségi nyomaték,
$w$	a motor szögsebessége.

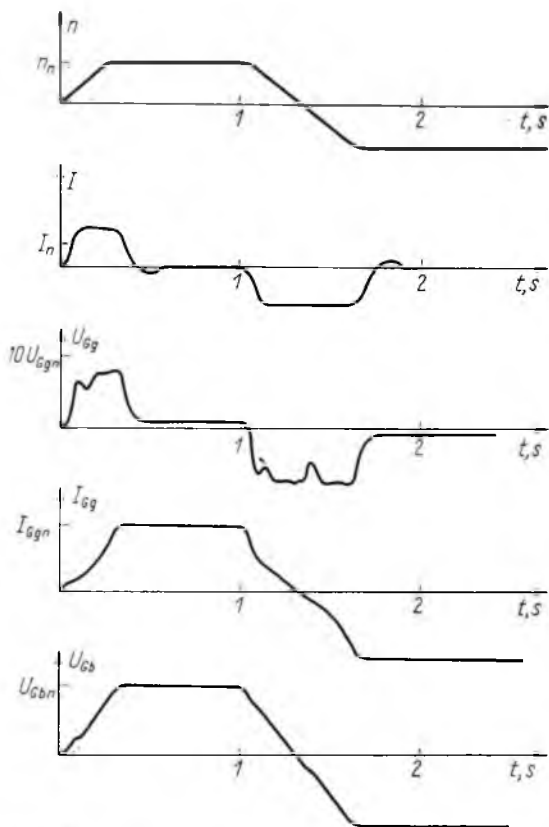
Az ábrán a felvett maximális értékeket csillaggal, a maximális értékekre vonatkoztatott mennyiségeket felül vonással jelöltük.

A  $P1$  kapcsoló a  $di/dt$  visszavezetés, a  $P2$  kapcsoló a mezőgyengítés vizsgálatára szolgált.

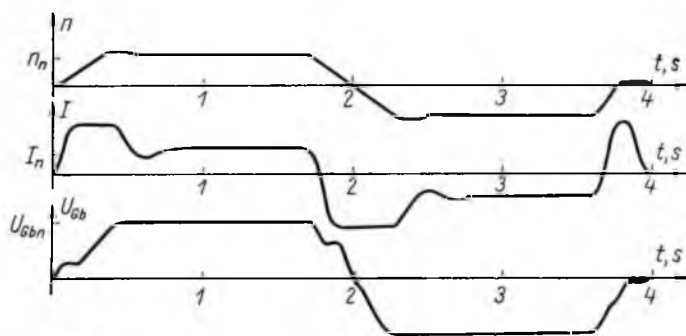
A potenciométerek beállítási értékeit a 9-5. ábra alján található táblázat tartalmazza.

A fordulatszám-szabályozás és a gerjesztőáram-szabályozás  $PI$  jellegű, a  $PI$  jellegű áramszabályozó ellenőrzőjele a  $P1$  kapcsoló nyitott vagy zárt állapotától függően az armatúraárammal vagy az armatúraáram és változási sebességével arányos. A szabályozók kétirányú kimenő jeleinek korlátozását ellenpárhuzamos kapcsolású Zener-diódás áramkörök valósítják meg. Az  $A$  vagy  $B$  pont megbontása lehetővé teszi, hogy a modellezett szabályozóberendezést egységnyi generátor-gerjesztőáram vagy -armatúraáram alapjelugrással is kipróbáljuk. A  $P2$  kapcsoló bekapcsolása lehetőséget biztosít a mezőgyengítés kipróbálására, a  $PI$  jellegű motor gerjesztés-szabályozó beállítására.

Az analóg számítógépes modellezés bebizonyította, hogy feltétlenül szükséges a differenciálós áramvisszavezetés, mert enélkül az armatúraáram a felfutás után túlrendül.



9-6. ábra



9-7. ábra

Az optimális beállítási paraméterek mellett a 9-6. ábra az üresjárás, a 9-7. ábra a terhelésnek megfelelő jelleggörbéket ábrázolja. A függőleges tengelyekre felvitt mennyiségek mellett szereplő  $n$  index a névleges értékre utal.

## 6. Próbatermi mérések

Az elkészült szabályozóberendezést a GANZ VM próbatermében próbáltuk ki. A méréshez az új generátorokat használtuk, de a sorvonó motor helyett kisebb teljesítményű és lényegesen nagyobb elektromechanikai időállandójú motor állt rendelkezésünkre.

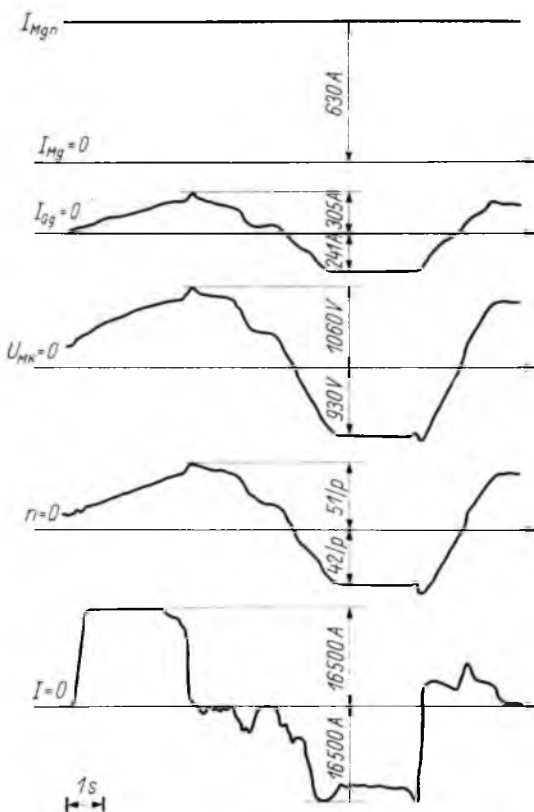
A mérés célja a berendezés és a védelmek üzemszerű próbája volt. A mérések lehetővé tették, hogy a berendezést a helyszínen 24 h alatt üzembehelyezzük.

## 7. Oszcillogramok

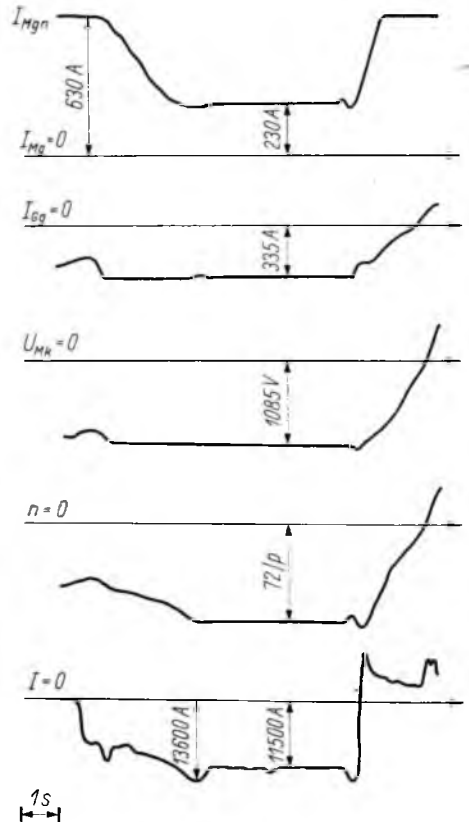
A 9-8. ábra az üzemben levő szabályozott hajtás legfontosabb paramétereinek oszcillogramjait tartalmazza hengerlés közben, a sorvonó motor állandó gerjesztőárama mellett.

A 9-9. ábra oszcillogramjain levő jelek mezőgyengítéses üzemben készültek.

A 9-8. ábrán látható jelek egy előre és egy hátra irányú szűrés legfontosabb paramétereit, viszonylag rövid buga esetében. A sorvonó motor gerjesztőárama a névleges, 630 A. A beállított áramkorlátozási érték 16 500 A. Az ábrából látható, hogy



9-8. ábra



9-9. ábra

az áram nem lépi túl a korlátozási értéket és lengések sem keletkeznek a korlátozási érték elérésekor, ill. elhagyásakor. A szűrés befejezésekor a fordulatszám-túllendülés 2% (1/min), a kapcsolófeszültség-túllendülés 6% (60 V), és a generátorok gerjesztő-áramának túllendülése 13% (35 A). Az áram azért éri el a korlátozási értéket, mert a szűrés nagy, és így nagy a hengerlési áram is. Üresjárású indítás, reverzálás vagy fékezés esetében az áram nem éri el a korlátozási értéket, mert egyrészt a hajtás elektromechanikai időállandója nagyon kicsi, és ennek következtében a motor fordulatszáma gyorsan követi a kapcsolófeszültség változását, másrészt a fordulatszám meredekségét az alapjel meredekségével korlátozni kellett a hajtás nagy mechanikai igénybevételei miatt. Az áramkorlátozás megszólalása és a nagy hengerlési áram miatt a gyorsítóáram viszonylag kicsi, és ennek következtében az anyag hengerlése közben a hajtás nem éri el az alapjel által előírt névleges (50/min) fordulatszámot.

A hátra irányú jól megfigyelhető, hogy hengerlés közben az áram értéke nem éri el az áramkorlátozási értéket, ezért a hajtás felgyorsul az alapjel által előírt értékre (42/min). Az áramkorlátozást csak a gyorsítás végén éri el az áram. A szűrés végén levő áramnövekedés oka a hengerelt anyag, aminek az eleje (hátra irány esetében a vége) az öntés következtében nem egyenes.

A 9-9. ábra jelei mezőgyengítéses szűrést ábrázolnak hátra irányban. A szűrés értéke kicsi és ezért az anyag befogása viszonylag nagy sebességű. A befogás után a hajtás azonnal parancsot kap a nagyobb fordulatszámra való gyorsításra. A névleges kapcsolófeszültség elérése után automatikusan bekapcsolódik a mezőgyengítés. A mezőgyengítéses üzemmódban az áramkorlátozás értéke függ a fordulatszámtól is, a 9-9. ábrán a kis szűrés miatt az áramkorlátozás nem szólalt meg. Az előírt maximális fordulatszám 72/min. A gerjesztőáram csökkentésével egyidőben nő az áram, miközben a kapcsolófeszültség állandó. A kapcsolófeszültség értéke nagyobb, mint a 9-8. ábrán a túllendült kapcsolófeszültség értéke. Ez a beállítás biztosítja, hogy névleges fordulatszám és 2,5 névleges armatúraáram esetén névleges gerjesztőáram legyen.

## 8. Üzembehelyezés utáni tapasztalatok

Végezetül megemlíjtjük, hogy a hajtás az 1972. augusztusi üzembehelyezés óta kifogástalanul működik. A jó működés és a gyors üzembehelyezés alapos előkészítő munka következménye. Különösen kitűnik ez abból, ha figyelembe vesszük, hogy a leírt berendezés a legnagyobb teljesítményű szabályozott tirisztoros hajtás, ami eddig Magyarországon készült. A jóminőségű szabályozás lehetővé teszi, hogy a termelés kb. 40%-kal emelkedjen a régi forgógépes szabályozás által biztosított termeléshez képest.



# 10.

## **A villamos hajtások terén végzett kutatómunka eredményei a VKI-ben, a további fejlődés várható iránya**

*BENCZE JÁNOS*

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

A cikk bevezetője rövid történeti áttekintést ad a VKI-ben az elmúlt 25 év során a villamos hajtások területén végzett kutató—fejlesztő munkáról.

A továbbiakban részletes ismertetőt közöl — gyakorlati megvalósítási példákkal illusztrálva — a tirisztoros hajtások fejlesztése terén elért eredményekről, az egyenáramú 1/4-es és 4/4-es hajtásokról, az egyenáramú szaggató hajtásokról, valamint a váltakozóáramú hajtásokról, beleértve a kaszkád-, az antiduktoros- és a frekvencia-átalakító hajtásokat is.

A cikk befejező része a hajtások terén a jövőben követendő kutatási—fejlesztési irányokkal foglalkozik.

### **ИТОГИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ, ПРОВЕДЕННЫХ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВодОВ В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ИНСТИТУТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ОЖИДАЕМОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ**

*Я. Бенце*

#### **Резюме**

Введение статьи дает краткий исторический обзор о научно-исследовательских работах, проводимых за прошедших 25 лет в Научно-Исследовательском Институте Электрической Промышленности.

В дальнейшем подробно рассматриваются — с приведением примеров практической реализации — результаты, достигнутые в области разработки тиристорных приводов, приводы 1/4-ые и 4/4-ые приводы постоянного тока, приводы постоянного тока с прерывателем, а также приводы переменного тока, включая и каскадные, антидукторные приводы, приводы с преобразованием частоты.

Автор в заключении намечает перспективные направления разработки и исследования приводов, по которым нужно вести работы.

### **ERGEBNISSE DER FORSCHUNG DER ELEKTRISCHEN ANTRIEBE IM FORSCHUNGSINSTITUT DER ELEKTROINDUSTRIE, TENDENZEN DER WEITERENTWICKLUNG**

*J. Bencze*

#### **Zusammenfassung**

Über die im Forschungsinstitut der Elektroindustrie in den vergangenen 25 Jahren durchgeführte Forschung und Entwicklung von elektrischen Antrieben wird ein kurzer Überblick zur Einführung gegeben.

Im weiteren werden die Ergebnisse der Entwicklung von Thyristorantrieben, 1/4 und 4/4 Gleichstromantrieben, Gleichstrom-Stellantrieben, sowie von Wechselstromantrieben – einschliesslich der Kaskad-, Antiduktor-, und Umrichterantriebe, – durch praktische Beispiele dargestellt.

Abschliessend wird ein Ausblick auf die Zukunft der Forschung und der Entwicklung von elektrischen Antrieben vermittelt.

## RESULTS OF RESEARCH WORK ON ELECTRIC DRIVES PERFORMED IN THE RESEARCH INSTITUTE OF THE ELECTRICAL INDUSTRY AND PROSPECTIVE TRENDS OF FURTHER DEVELOPMENT

*By J. Bencze*

### Summary

In the introduction of the paper a brief historical survey is given of the research and development work in the field of electric drives performed by our Institute in the course of the past 25 years.

Furthermore a detailed account is given with practical examples of the results achieved in the development of thyristorized drives, 1/4 and 4/4 d.c. drives, d.c. chopper drives and a.c. drives, including cascade, antiductor and variable frequency-drives.

The concluding part of the paper deals with the future trends of research and development in the field of drives.

### 1. Bevezetés

Villamos hajtásokkal az élet minden területén találkozunk, amit legkézenfekvőbbben az magyaráz, hogy egy ember izomerejével egy munkanap alatt csak kb. 1 kWh energiát képes kifejteni. Ma már egyes iparágakban az egy munkásra jutó motorteljesítmény 3...5 kW, ami nyolc órás munkanap alatt 24...40 kWh energia hasznosítását jelenti a termelésben. A termelékenység növeléséért folytatott harc egyre inkább előtérbe helyezi az automatizált villamos hajtások fejlesztésével szemben támasztott igényeket.

Intézetünkben az ötvenes évek eleje óta foglalkozunk szabályozástechnikai problémák kutatásával és vizsgálatával. Ezzel egyidőben indult meg a villamos hajtásokkal kapcsolatos kutatás—fejlesztés is. A kezdeti időszakban készült néhány elektronikus és amplidines fordulatszám-tartó hajtás egyedi célokra. Sorozatgyártás céljára készült el az SE 1600 típusú karusszelpad hajtása, azonban nemzetközi szakosítás miatt a témának nem lett folytatása.

Az első ipari szempontból is jelentős hajtásszabályozás 1958-ban készült a Csepeli Csőgyár részére. Az amplidines csőtolópad szabályozórendszer a generátorok optimális kihasználását biztosítja. A berendezés üzemi tapasztalatai igen kedvezők voltak, jelentős többlettermelést eredményezett. Hasonló elven épült fel a kínai célra exportált két csőtolópad berendezés is.

E munkákat egyre nagyobb volumenű és bonyolultabb rendszerek kutató—fejlesztő munkája követte. Ezek között szükségesnek tartom megemlíteni mint legjelentősebbeket a

- salgótarjáni finomlemez hideghengermű előkészítő üzeme részére hegesztő, revetőrő és pácoló gépsor hajtásaihoz készített szabályozóberendezéseket. A szabályozóberendezések tranzisztoros és mágneses erősítős kivitelben készültek, 400 Hz-es táplálással. (E munkát a VILATI-val kooperációban végeztük 1961-ben.)



- Lenin Kohászati Művek (LKM) durvahengermű blokk- és bugasorához fejlesztett amplidines szabályozott hajtások. Az amplidinek gerjesztése tranzisztoros erősítővel történt. A rekonstrukció során korszerű szabályozott hajtást kaptak az egyes görgősorok, a vonalzők, a hengerállítás és a főhajtás. A felsorolt hajtások azonos elven épültek fel, figyelembe véve egyedi speciális szabályozási követelményeiket. (A VKI irányítása mellett, a téma kidolgozásában részt vett a VILATI és a Miskolci Műszaki Egyetem Elektrotechnikai Tanszéke is.) (1964)

Az LKM-ben végzett munkánk volt az utolsó, ahol a szabályozásban forgógépes erősítőt is alkalmaztunk. A későbbiekben áttértünk a csak félvezető alapú berendezések kutatására és fejlesztésére. Ezzel munkánkban új fejezet kezdődött.

## 2. Félvezetős hajtások terén elért eredményeink

### 2.1 Egyenáramú tirisztoros hajtások

Fejlesztésükkel 1964-ben kezdett foglalkozni az osztály. 1966 év végére elkészült az első kísérleti hajtás, amely akkor az országban elkészült hasonló teljesítményű hajtások közül az elsők között volt. A hajtás fő jellemző adatai:

névleges motorteljesítmény	40 kW
névleges kapocsfeszültség	220 V
névleges armatúraáram	210 A
névleges fordulatszám	1000/min
áramkorlátozás max. értéke	290 A
mezőgyengítés	1 : 3

A berendezés pontossága jobb volt, mint 0,3% a mindenkor beállított fordulatszámra vonatkoztatva, a terhelésváltoztatások és a megengedett hálózati feszültség-ingadozások esetében, a teljes 10. . . 3000 ford/min tartományban. A hajtás dinamikus tulajdonságaira jellemző volt, hogy lökészerű terhelésváltozások esetében a fordulatszámeltérés 0,5 s múlva kisebb mint 0,5%.

A berendezés szovjet VKDU típusú tirisztorokkal készült. A hajtás alkalmas volt arra, hogy vizsgáljuk

- az egyenáramú motor kommutációs viszonyait és ezzel összefüggésben az armatúraköri fojtótekerics méretezési kérdéseit,
- a szabályozástechnikai viszonyokat,
- a különböző túlfeszültségek keletkezési helyeit és az azok megszüntetésére teendő intézkedéseket.

Bár a fent említett hajtás statikai és dinamikus paraméterei igen figyelemre méltók voltak, ezek az eredmények még csak a kezdetet jelentették. A komoly kutató-fejlesztő tevékenység csak 1968-ban indult be, amikor erre a KGM Műszaki Főosztálya a teljes tirisztoros hajtás tématerületét átfogó célprogram keretében az anyagi feltételeket biztosítani tudta. Időben felmérték, hogy e területen a nemzetközi színvonaltól erősen el vagyunk maradva, és lemaradásunkat koncentrált fejlesztési munkával még pótolni lehet.

A hivatkozott célprogram végső célja részben a nagyteljesítményű tirisztoros táplálás szabályozott, 4/4-es üzemre alkalmas egyenáramú villamos hajtások, és

nagyteljesítményű szabályozott tirisztoros átalakítók fejlesztése és a kívánt típusválasztéknak megfelelő gyártási dokumentáció kidolgozása, ill. *tervezési készség* megszerzése volt. Ebbe a kategóriába sorolható fejlesztési feladatok:

- tirisztoros hajtásokhoz alkalmazható szilícium alapú építőelem-választék kialakítása,
- tirisztorok soros és párhuzamos üzeme,
- különféle elrendezésű 4/4-es üzemű hajtások megvalósítása (armatúraátkapcsolással, gerjesztésfordítással, kétkészlet-áramirányítóval köráramos és körárammentes kapcsolásokban).

A program további célkitűzése volt, hogy — a tirisztorok szabályozott *váltakozó-áramú* villamos hajtásokhoz történő alkalmazása érdekében — a gyakorlati szempontból legfontosabb megoldások legkedvezőbb kapcsolásainak kiválasztására irányuló *alkalmazott kutatást* is végezzünk.

Itt a következő fő feladatokat említem:

- különböző antiduktoros kapcsolások kialakítása,
- tirisztoros szaggató alkalmazása csúszógyűrűs aszinkron motorok forgórész-körében,
- félvezetős kaszkád kapcsolások,
- primer frekvenciaátalakítóval üzemelő aszinkron és szinkron motoros hajtások.

A célprogram azzal, hogy sokrétű feladatot tűzött ki viszonylag rövid teljesítési határidővel (nem egészen három év), megadta a lehetőségét annak — és mi ezzel éltünk is —, hogy a kutatási feladatokat a különböző érdekelt kutatóhelyek között megosszuk. (VKI; VILATI; MTA-AKI; Bp-i Műszaki Egyetem; Kandó Főiskola. A koordinációs feladatokat a VKI 23. osztálya látta el.) Ezzel akartuk megteremteni annak az előfeltételeit, hogy a villamos hajtások területén egészséges munkamegosztás jöjjön létre. (Célunkat sajnos nem értük el.)

Az előzőkben röviden vázolt célprogram eredményesen zárult. Az azt követő időben elért eredményeink, amelyekről még szó lesz, és amelyekkel az olvasó jelen kötet egyéb közleményeiben, valamint az előző kötetekben részletesen megismerkedhet, alapvetően a célprogram során végzett kutatómunkánk bázisán jöttek létre.

Az egyenáramú szabályozott hajtások területén végzett kutató—fejlesztő munkánkat alapvetően az egyedi berendezések készítése jellemzi. Ha végigkísérjük munkánkat az 1967-ben üzembehelyezett első tirisztoros 5 kW-os hajtástól — amelyet a Dorogi Erőmű részére készítettünk kazánrostély mozgatás céljára — egészen az 1972. évben a Dunai Vasmű Meleghengerművében üzembehelyezett előnyújtó 6250 kW-os főhajtás-szabályozó berendezéséig, láthatjuk, hogy egyre bonyolultabb szabályozó-rendszerekkel kiegészített tirisztoros berendezéseket építettünk.

Az egyre bonyolultabb szabályozórendszerek tervezése szükségessé tette e rendszerek analóg modellezését, számítógépek igénybevételét.

A szabályozási pontosság növelése és a beállási idők csökkentése még egyszerűbb szabályozások esetén is igen bonyolult matematikai eszközöket kíván. Bonyolult szabályozási rendszerek esetében pedig már a matematikai megfogalmazás is nehézségekbe ütközik. Ugyanakkor modellezés segítségével a részletes tervezés megkezdése előtt ellenőrizhetők az elképzelt szabályozórendszer statikus és dinamikus tulajdonságai, és megállapíthatók azok a paraméterértékek, amelyekkel az adott szabályozással szemben támasztott követelmények kielégíthetők.

Intézetünk analóg számítógéppel nem rendelkezik, így a modellezésre nem mindig van lehetőség. Ezen kívül sok esetben a számítógépen egyáltalán nem, vagy csak igen bonyolult módszerekkel, ill. programozással valósíthatók meg olyan jelenségek, amelyek a valóságos szabályozásokban állandóan fellépnek. Itt elsősorban zavarokra, telítődésekre, holtávokra és nemlinearitásokra kell gondolni.

E problémák kiküszöbölésére osztályunkon 1970-ben analóg modellező berendezést készítettünk. A berendezés elsősorban tirisztoros beavatkozó szervvel vagy szervekkel rendelkező hajtások modellezésére alkalmas, és azokból a tipizált egységekből épül fel, amelyeket a végleges berendezésben is alkalmaztunk. Az egységek bemeneti, kimeneti és fontosabb ellenőrzőpontjai egységenként csoportosítva az előlapon található. Az előlapon levő pontok összedugaszolásával rövid idő alatt bármely a gyakorlatban használatos szabályozórendszer összeállítható. Modellezés közben a szabályozóerősítők visszacsatolásai, korlátozásai, a visszavezetett jelek szűrése, a szabályozókörök körerősítése és frekvenciamenete gyorsan és kényelmesen változtathatók. A tirisztoros beavatkozó szervhez vagy szervekhez a gyűjtőegységekről vagy az impulzus transzformátorokról csatlakozhatunk.

A röviden ismertetett analóg modellező berendezés rendkívüli módon megkönnyítette tervezési munkánkat. Nagyban hozzájárult ahhoz, hogy igen bonyolult rendszereket viszonylag rövid idő alatt viszonylag kis ráfordítással tudunk tervezni, és ezzel a legértékesebbet, a ráfordított élő munkát tudjuk csökkenteni.

## 2.2 Primer frekvencia változtatásával üzemelő hajtások

Jelenleg a közbenső egyenáramú körös frekvenciaátalakítós hajtástípusok áramkörüi és szabályozási kérdéseinek tisztázásával foglalkozunk.

A primer frekvenciaátalakítóval üzemelő hajtás ma még viszonylag igen drága az egyenáramú hajtásokhoz viszonyítva, de a velük való foglalkozást az indokolja, hogy a félvezetős frekvenciaátalakító jó hatásfokkal oldja meg a nagyon sok kedvező üzemi tulajdonsággal (egyszerűség, olcsóság, robusztusság, igénytelenség stb.) rendelkező rövidrezárt forgórészű aszinkron gép folyamatos fordulatszám-változtatását  $0 - n_{\max}$  fordulatszám-tartományban. (A fordulatszám-tartomány az aszinkron motor névleges fordulatszáma fölé is kibővíthető. Itt is beszélhetünk ún. „mezőgyengítéses tartományról”). A hajtásnak az egyenáramú hajtásokkal egyenértékű szabályozási tulajdonságai lehetnek. Hatásfoka gyakorlatilag megegyezik a félvezetős egyenirányító hajtások hatásfokával. Alkalmazásuk ma még csak ott indokolt, ahol a hajtómotornak mostoha körülmények között kell üzemelnie (poros, nedves, agresszív atmoszféra, tűz- és robbanásveszélyes helyek, karbantartási nehézségek stb.).

Munkánk kezdetén először elméleti vizsgálatokat végeztünk, összehasonlítva a feladat megoldására alkalmas frekvenciaátalakító kapcsolásokat. Elsőként egy háromfázisú féligvezetelt hídkapcsolású egyenirányító, és egy háromfázisú fázissorrend kommutációs váltóirányító segítségével összeállított frekvenciaátalakítót vizsgáltunk. Ennek a kapcsolásnak igen nagy előnye, hogy mind a főáramkör, mind a vezérlés egyszerű, kevés elemet tartalmaz. Ezen előnyük mellett azonban számos kedvezőtlen üzemi tulajdonságuk is van, melyekről röviden említést kell tenni.

A kimeneti feszültség változtatása a közbenső egyenáramú kör feszültségének változtatásával valósítható meg. Az egyenfeszültség változtatása számos problémát vet fel a kommutálókör méretezése során, és határt szab a frekvencia csökkentésének; ahhoz ugyanis, hogy a kommutálókondenzátor töltése kis frekvencián és feszültségen is elegendő legyen a tirisztor kioltásához, nagy kapacitás szükséges. Így azonban

nagyobb feszültségen a kommutálókondenzátorban feleslegesen nagy töltés halmozódik fel, és a kommutálóáram megnöveli a félvezetők veszteségeit.

További problémát jelentett a fázissorrend-kommutációs inverterekkel folytatott kísérletek esetében az, hogy ott az egyes tirisztorok nem vezetnek a teljes tartományban, hanem a terhelés induktivitásától függő intervallumban a meddőáram-diódák veszik át az áramot. Ez befolyásolja a kimeneti feszültséget, és igen kellemetlen lengési jelenségeket okozhat.

Végül említést érdemel az a jelenség is, hogy a négyszögfeszültséggel történő táplálás kis frekvenciákon fordulatszám-ingadozást okoz, ugyanis a forgórész állandó szögsebességére egy hatszoros frekvenciájú lengés szuperponálódik.

Kutatásaink fent ismertetett „negatív” eredményei más megoldás keresésére kényszerítettek bennünket. Így jutottunk el a sokkal bonyolultabb vezérlést igénylő megoldáshoz, a szinuszos impulzusmodulációs inverter gondolatához, melynek fejlesztését 1971-ben kezdtük el.

Az impulzusmoduláció a kimenő feszültség változtatását impulzusokra bontással, és az impulzusszünet-arány változtatásával oldja meg. A közbenső egyenáramú kör feszültsége állandó, az egyenirányító egyszerű diódás híddal megvalósítható, s nem jelentkezik az előzőekben említett kommutációs problémák sem. A forgásirány változtatása sem igényel külső fázissorrendcserét, hanem a moduláció megfelelő beállításával elvégezhető.

Az impulzusszélesség változtatása szinuszfüggvény szerint végezhető, amivel lényegesen csökkenthető a kimeneti feszültség felharmonikustartalma.

A motor fluxusának állandó értéken tartása érdekében függvénygenerátort készítettünk, amely biztosítja, hogy a váltóirányító kimeneti feszültsége az adott frekvenciának megfelelő értékű legyen.

A fordulatszám értékének mérése digitális úton történik.

Az aszinkron gépekkel kapcsolatos szabályozási problémák alapvetően eltérnek az egyenáramú gépek, ill. a szinkron gépek szabályozási problémáitól. Ez az eltérés abból adódik, hogy mind az egyenáramú, mind a szinkron gépek esetében az álló- és forgórész árama egymástól függetlenül külön beállítható. Az aszinkron gép állórész-árama a forgórészáramától függ, amely viszont a szlip és a fluxus függvénye. Aszinkron gépek kivánt üzemállapotát csak úgy állíthatjuk be, ha több mennyiséget együttesen, megfelelő módon adott összefüggések szerint változtatunk.

A szabályozást az aszinkron gép tulajdonságainak megfelelően kell kialakítani. Az eddigi alkalmazások döntő többségében az aszinkron motort állandó feszültségű és frekvenciájú hálózatról táplálták, a viselkedését leíró ismert összefüggések is ezt az üzemállapotot tárgyalják. Ezek az összefüggések azonban — változó frekvenciával és feszültséggel üzemelő motor esetére — lényeges elhanyagolásokat tartalmaznak, és nem tükrözik helyesen az ilyen üzemi viszonyok között dolgozó aszinkron motor üzemi viszonyait.

Az üzemi viszonyok tisztázását irodalmi adatokra támaszkodva — térvektoros módszerrel — elvégeztük. 1972. év végére elkészítettünk egy kb. 10 kW-os szinuszos modulációval üzemelő hajtást, amely mind statikus, mind dinamikus tulajdonságait tekintve megfelelő, alkalmas arra, hogy azon a frekvenciaátalakító és a teljes rendszer üzemi viszonyait részletesen és aprólékosan elemezzük, ill. arra, hogy a közeljövőben (1974 év közepe) elkészítsünk egy közel 100 kW-os hasonló elven működő átalakítót közúti jármű hajtására.

### 3. Kutatás – fejlesztési terveink, az osztály jövője

Fejlesztési elképzelésünk az osztály tématerületének megfelelően két irányú. Tovább kívánunk lépni — az anyagi lehetőségek függvényében — mind az egyenáramú hajtások, mind pedig a váltakozóáramú hajtások vonatkozásában.

#### 3.1 Egyenáramú hajtások

Az egyenáramú hajtások területén elsősorban a reverzáló hajtások korszerű szabályozási és vezérlési kérdéseinek tisztázására koncentrálnak további fejlesztési tevékenységünket. Jó dinamikai tulajdonságokkal rendelkező 4 4-es hajtásokat ezideig keresztzkapcsolású vagy ellenpárhuzamos kapcsolású köráramos áramirányító elrendezéssel valósítottuk meg. Ezek a kapcsolási elrendezések műszaki szempontból minden igényt maximálisan kielégítenek, gazdasági szempontból azonban nem valósítják meg a lehetséges optimumot. Ennek oka elsősorban az, hogy a hajtásokba beépített réz- és vasmennyiség, ill. a beépített tekercselt alkatrészek ára (köráram-korlátozó fojtó, armatúraköri simító—fojtó) a teljes hajtás motor nélküli értékének kb. 25%-át teszik ki. Ezen túlmenően a tekercselt alkatrészek helyigénye gyakorlatilag azonos vagy nagyobb a tirisztoros átalakító helyigényénél, ez pedig jelentős beruházási többletköltséget igényel.

A nagy súlyt, helyigényt, tervezési és effektív költségtöbbletet jelentő tekercselt alkatrészeket megfelelő vezérlési és szabályozási módok alkalmazásával megtakaríthatjuk:

a) Köráramos kapcsolás helyett logikai reverzálókapcsolás alkalmazásával a köráram-korlátozó fojtótekercs elmarad. Számos logikai reverzálókapcsolás ismeretes. Ha azonban a hajtás dinamikai tulajdonságait a köráramos kapcsolásával közel egyenértékűre kívánjuk elkészíteni, azaz a két szembe kapcsolt áramirányító működése közötti holtidőt reverzálás esetén megfelelő üzembiztonsággal 3...5 ms időtartamra kívánjuk csökkenteni, akkor a megoldás már koránt sem olyan egyszerű.

A probléma megoldására fordítandó fejlesztési költség és munka feltétlen megterül, mert a logikai reverzálást biztosító elektronika nem lehet költségesebb, mint a köráram szabályozására beépített szabályozóelemek. a köráram-korlátozó fojtótekercsek költségeit pedig megtakaríthatjuk.

b) Ha az egyenáramú motor áramirányítós táplálásra van méretezve — a hullámos áramot kommutációs szempontból elviseli —, akkor az armatúraköri fojtótekercs elhagyható. Ez azzal a következménnyel jár, hogy megnő és nagy lesz a szaggatott áramvezetés tartománya. Szabályozástechnikai szempontból az a tapasztalat, hogy egyszerű kompenzáció segítségével a folyamatos és a szaggatott áramvezetés tartományában nem lehet a hajtást egyformán stabilá tenni. Logikai reverzálókapcsolás esetén az áram minden egyes reverzáláskor áthalad a szaggatott vezetés tartományán.

Az említett probléma megoldását teszi lehetővé megfelelő adaptív szabályozás alkalmazása. Az adaptív szabályozórendszer lényege, hogy a szabályozó struktúráját, valamint annak körerősítését a körülményektől (jelen esetben az áram nagyságától) függően önműködően változtatja.

Az adott esetben a folyamatos áramvezetés tartományában a szokásos PI jellegű szabályozást kell megvalósítani, míg a szaggatott áramvezetés tartományában — a fordulatszám-szabályozó körben fellépő lényegesen kisebb időállandók miatt — I jellegű szabályozóval lehet a rendszert stabilá tenni.

A folyamatos áramvezetés tartományában közel állandó körerősítést kell meg-

valósítani, míg a szaggatott áramvezetés tartományában egy jól definiálható exponenciális görbének megfelelően erősen változó körerősítés kell.

Az adaptív szabályozórendszer kifejlesztése — akár csak a logikai reverzálás — komoly gazdasági előnyökkel jár.

### 3.2 Váltakozóáramú hajtások

E területen a jövőben a ciklokonverterek vagy más néven a közvetlen frekvenciaátalakítók fejlesztésével kívánunk foglalkozni. A közvetlen frekvenciaátalakító kimeneti feszültsége a hálózati feszültséggörbe szakaszaiból tevődik össze. 50 Hz-es hálózat alkalmazása esetén a lehetséges frekvenciatartomány kb. 0. . . 20 Hz. Működése visszavezethető ellenpárhuzamos vagy keresztkapcsolású hídpárokából álló áramirányítóra. Az áramirányítók vezérlése kis periódusú szinuszzel történik. Alkalmazása ott gazdaságos, ahol a teljesítmény viszonylag nagy (kb. 500 kW felett), tehát egyenáramú hajtás esetén is több paralel tirisztort kell használni, ill. kis fordulatszámú, reverzáló hajtások esetében, ugyanis a forgásirány-változtatás az elektronikus vezérlés segítségével viszonylag egyszerű. Gazdaságos lehet a közvetlen frekvenciaátalakító még abban az esetben is, ha a tápláló hálózat frekvenciája lényegesen nagyobb 50 Hz-nél. A közvetlen frekvenciaátalakítók hatásfoka jó, jobb mint a közbenső egyenáramú körös megoldásé, ugyanis az energiaátalakítások száma eggyel kisebb. Lényeges előnye, hogy az áramirányítók kommutációját a hálózati feszültség biztosítja, elmaradnak a kényszerkommutációs áramkörök, s ez az üzembiztonságot is növeli.

A közvetlen frekvenciaátalakítókkal való foglalkozás feltételezi, hogy mind a korszerű, kis holtidejű logikai reverzálás, mind az adaptív szabályozás problémája megoldott. E megoldások felhasználására feltétlen szükség van.

### 3.3 A fejlődés iránya és lehetősége

A különféle villamos hajtások fejlesztése, gyártása és felhasználása területén, szerte az egész világon komoly fejlődés tapasztalható. A komplex gépesítés és automatizálás korszerű villamos hajtások nélkül elképzelhetetlen. Sajnos a hazai kép nem teljesen tükrözi a nemzetközi helyzetet. Az 1968-as állapothoz képest (lásd 2.1 pont) ma ez az igen jelentős terület nem kap kellő támogatást, hiányzik a hajtások fejlesztésével és gyártásával kapcsolatos koordináció, és nem utolsósorban a fejlődést gátolja az is, hogy nincs kidolgozva országos szinten megfelelő egységes típuselem-választék.

A munka hatékonyságának növelése érdekében — ha nem akarjuk a hazai fejlesztést elsovasztani, a felhalmozott szellemi tőkét elpazarolni — e problémákkal megfelelő szinten, többet kell foglalkozni.

### Irodalom

- [1] Ballók I.—Nemeskéry G.: Tirisztoros egyenáramú szabályozott hajtás. VKI Közlemények 3 (1969)
- [2] Ballók I.—Weiner Gy.: Analóg modellezés a hajtásszabályozások területén. VKI Közlemények 4 (1972)
- [3] Ballók I.—Mlinkó T.—Weiner Gy.: Korszerű meglehengerművi Ward—Leonard főhajtás gerjesztésszabályozása. VILAMOSSÁG 21. évf. 8—9. szám.
- [4] Rapid Transit Pioneers Use of Chopper Control. Railway Gazette 5. 1970.
- [5] Mokrytzky: Pulse with modulated inverters for a.c. motor drives. IEEE Trans-Ind. Appl. 1967. nov.
- [6] Vutz: PWM Inverter Induction Motor Transit Car. Drives. IEEE Trans-Ind. Appl. 1972. febr.

# 11.

## Tetszőleges időbeli lefolyású jelek hosszú integrálási időre vonatkozó effektív értékének mérése

*BIRÓ LAJOS*

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az effektív értékek mérését a hosszú integrálási idők miatt célszerűen az effektív érték formulájában szereplő számítási műveletek szétválasztásával és számítógépek alkalmazásával oldottuk meg. Ez a megoldás kis változtatással lehetővé teszi egyéb középértékek (elektrolitikus középérték, abszolút középérték stb.) mérését is.

Külön súlyt helyezünk a felhasznált TTL integrált áramkörök ipari berendezésekben való alkalmazhatóságának vizsgálatára. Ismertetjük a zavarelhárítás érdekében tett intézkedéseket és az üzemi tapasztalatokat.

### ИЗМЕРЕНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ЗНАЧЕНИЯ ПРИ ОТНОСИТЕЛЬНО ДЛИТЕЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ИНТЕГРИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ПРОХОЖДЕНИЕМ ВО ВРЕМЕНИ

*Л. Биро*

#### Резюме

Измерение действующих величин ввиду длительного времени интегрирования мы выполнили путем разделения расчетных действий, фигурирующих в формуле действующего значения с использованием вычислительных блоков. Такое решение при введении небольших изменений обеспечивает измерение прочих средних величин (электрическую среднюю, абсолютную среднюю величину и т. д.).

Уделялось особое внимание исследованию применимости интегральных схем TTL — в промышленных установках. Мы приводим мероприятия принятые с целью устранения помех, а также опыт, приобретенный в ходе работы при заводских условиях.

### DIE MESSUNG DER EFFEKTIVWERTE VON GRÖSSEN MIT BELIEBIGEM ZEITLICHEM ABLAUF BEI LANGER INTEGRATIONSZEIT

*L. Biró*

#### Zusammenfassung

Die Messung der Effektivwerte wurde wegen der langen Integrationszeiten zweckmässig durch die Trennung der Rechnungsoperationen der Formel des Effektivwertes und durch Verwendung von Rechneinheiten gelöst. Diese Lösung ermöglicht mit kleiner Aenderung auch die Messung anderer Mittelwerte (elektrolitischer Mittelwert, absoluter Mittelwert, usw.).

Besonderer Wert wurde auf die Prüfung der Anwendungsmöglichkeiten der eingebauten TTL-integrierten Schaltungen in industriellen Einrichtungen gelegt. Es wird über die durchgeführten Entstörungsmassnahmen und die Betriebserfahrungen berichtet.

# MEASUREMENT OF r.m.s. VALUES OF ARBITRARY-WAVEFORM SIGNALS OVER PROLONGED INTEGRATION INTERVALS

By L. Biró

## Summary

Due to the prolonged integration times, the measurement of r.m.s. values is performed by separating the operations appearing in the formula of the r.m.s. value and by using special computing units. This method with minor modifications permits the measurement of other mean values (electrolytic mean, absolute mean, etc.) as well.

Special emphasis has been laid on the investigation of general applicability of TTL integrated circuits in industrial equipment. Fault detection methods and some operating experiences are described.

## Bevezetés

Ciklikusan ismétlődő technológiai műveletek esetén, különösen ha egy cikluson belül valamely fontos jellemző (pl. gépek, berendezések igénybevétele, a termékben nem jelentkező, de a művelethez szükséges segédanyagok felhasználása stb.) nagymértékben változhat, a gazdaságosabb termelés érdekében kívánatos e jellemző egy vagy több technológiai ciklusra vagy a berendezések által meghatározott valamely időre (pl. egy motor termikus időállandója) vonatkozó középértékének ismerete. A mérési eredmények jelentős segítséget adhatnak a technológiai műveletben szereplő berendezések jobb kihasználásához, a minimális anyag-, ill. energiafelhasználást igénylő művelettervek kidolgozásához, vagyis az optimális folyamatirányítás megvalósításához.

E mennyiségek — tekintve, hogy általában több perces mérési (integrálási) időkről van szó — a szokásos mutatós műszerekkel nem mérhetők. Regisztrálóműszer és grafikus integrálás sem célravezető, mivel a mérés meglehetősen fárasztó. Az esetleg nagyon hosszú mérési időn belül a mért jellemző sokszor és nagy sebességgel változhat, ami a pontos kiértékelést kétségesse teszi. A módszer lassúsága miatt a mérési eredménynek megszületése pillanatában esetleg már nincs lényeges információ-tartalma.

Az előzők alapján a VKI 23. osztályán kifejlesztettünk egy olyan mérőkészüléket, amely hosszú integrálási időre vonatkozó effektív értékek közvetlen mérésére alkalmas. A készülék bemenetére szabványos analóg jelszintekkel lehet csatlakozni, így mérőátalakítókkal tetszőleges fizikai mennyiség effektív értékének mérésére van mód. A mérési eredmény, amely az effektív érték formulájában szereplő számítási műveletek elvégzésével áll elő, a mérési idő letelte után max. 90 ms-on belül digitális formában, számjelző csöveken (esetleg a BCD kódolású digitális kimeneteken), analóg jelként pedig a szabványos jelszintű feszültség- (0...10 V) és áramkimeneteken (0...5 mA) áll rendelkezésre a következő mérés befejezéséig, vagyis újabb eredmény megjelenéséig. A mérések ideje előre beállítható, ill. nyomógombbal vagy külső jellel vezérelhető. A felsorolt tulajdonságok mind ipari, mind laboratóriumi mérésekhez a műszert sokoldalú használatra teszik alkalmassá.

## 1. A mérőműszer kialakításának néhány szempontja

A fejlesztés során a következőkből indultunk ki:

a) A mérőműszer megbízhatóan működjön ipari körülmények között (meleg, poros környezetben, rázásnak kitéve, erősáramú berendezések közvetlen közelében).



b) Kezelése a sokoldalú felhasználási lehetőség ellenére is egyszerű legyen, tehát a kezelőszemélyzettől különösebb szakképzettséget ne kívánjon.

c) A pontos beállítását biztosító elemek száma minél kisebb legyen.

d) Méréshatár-túllépés és nem üzemszerű körülmények a működést lehetőleg ne befolyásolják, ill. az ezekből származó helytelen mérési eredmény könnyen szelektálható legyen.

e) A mérési eredmény mind digitális, mind analóg formában rendelkezésre álljon.

f) A mérési (integrálási) idő, amelynek maximumát a pillanatnyi igényeknek megfelelően 15 min-ban állapítottuk meg, egyszerű eszközökkel növelhető legyen.

A felsorolt és egyéb szempontok nagymértékben meghatározták a konstrukciót, a felhasználható elemeket, a mérési elvet, valamint a mérő—számító egységek felépítését. A készülékekben szilícium félvezetőket és integrált áramköröket alkalmaztunk.

Annak megfelelően, hogy analóg jeleket kell mérni, de az eredményre számjegyes formában is szükség van, továbbá pontossági, gazdaságossági, egyszerűsítési okokból egyes funkciókat analóg, másokat digitális formában realizáltunk. Az analóg vagy digitális megoldás választásának okait nem kívánjuk részletezni, csupán egy példát említünk: Az elvégzendő számítási műveletek között szerepel az integrálás. E művelet digitális formában, számlálók segítségével hibamentesen elvégezhető (a kvantálási hibától eltekinthetünk, mivel ez a számláló kapacitásának növelésével tetszőlegesen csökkenthető). Megfelelő zavarvédetség esetén az integrálási idő tetszőlegesen hosszú lehet. A műveleti erősítőkkel felépített analóg integrátorok ugyan egyszerűbbek, de hosszú integrálási időre kellő pontosságot csak jó minőségű és ugyanakkor nagy értékű ellenállások és kondenzátorok segítségével érhetünk el (10 min ismétlődési időhöz pl. 1 M $\Omega$  ellenállás mellett 600  $\mu$ F tartozna).

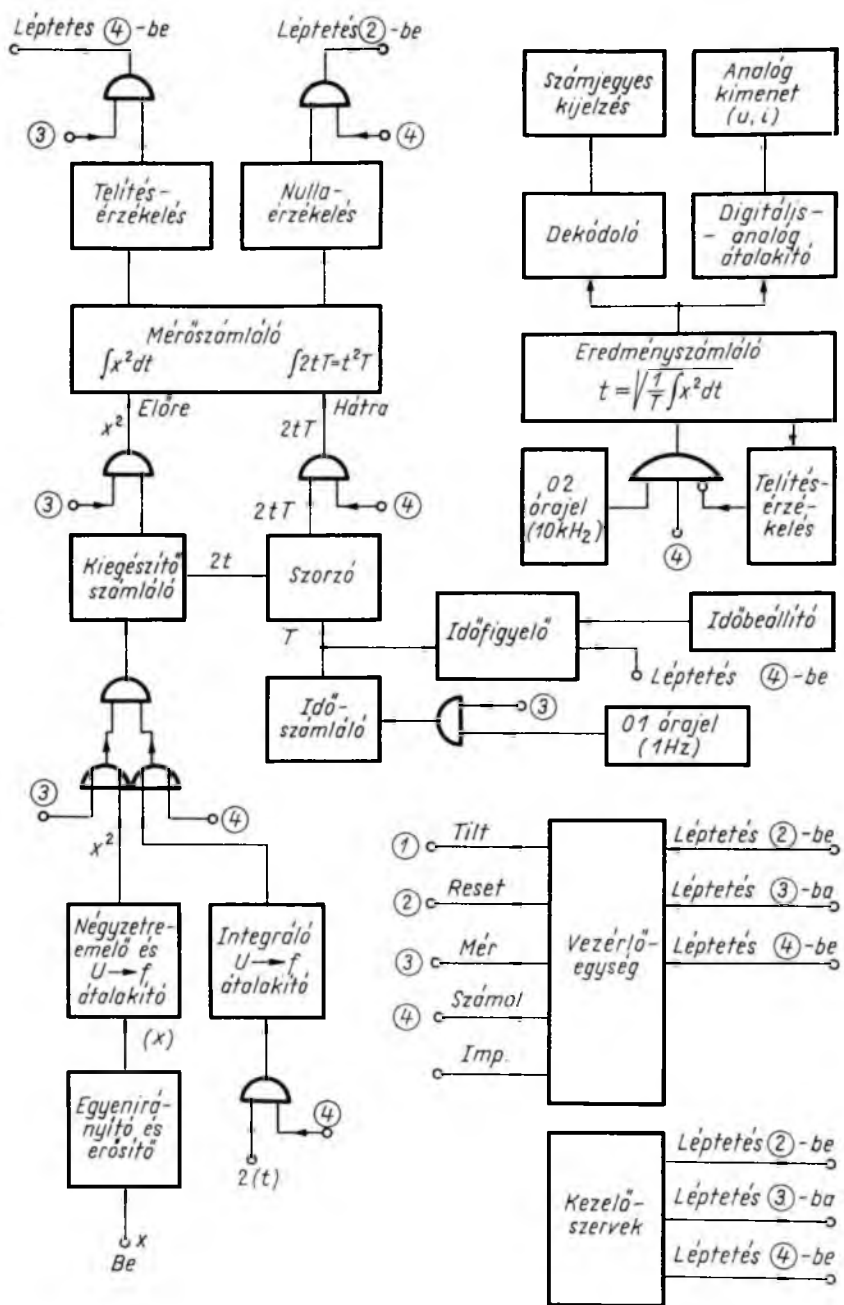
A műveleti erősítők bemeneti ellenállásának is rendkívül nagyoknak kell lenni. A nagy bemeneti ellenállást biztosító fet tranzisztorok hőmérsékletfüggéséből előálló drift, valamint az esetleges szennyeződések és légnedvesség-ingadozások hatására bekövetkező ellenállásváltozások különleges megoldásokat kívánnak. Mindezeket összevetve az integrálás digitális módja bizonyult célszerűbbnek.

Ami a mérési elvet illeti, az a tény, hogy hosszú idejű méréseket kellett végezni, nem tette szükségessé a számítási idők lehető legkisebbre választását, vagyis a számítógépes gyakorlatból ismert gyors, de költséges aritmetikai egységek helyett egyszerűbb, számlálótechnikai elven működő számítógységeket alkalmazhattunk, ugyanakkor a kártyarendszerben felépített egységek cseréjével, kihagyásával, vezérlési feltételeinek megváltoztatásával egyszerűen megoldható más középértékek mérése is.

## 2. A mérőműszer működése

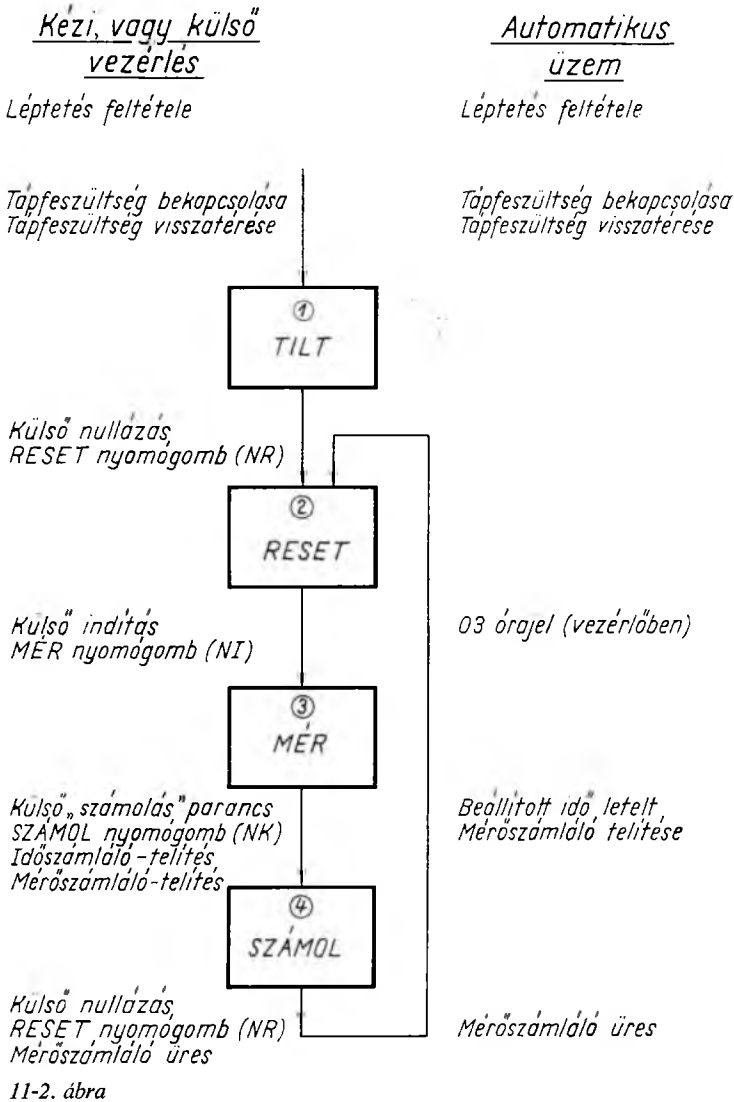
A működésmódot a blokkésma (11-1. ábra), az ütemábra (11-2. ábra) és az idődiagram (11-3. ábra) alapján tárgyaljuk.

A mérőműszer automatikus üzemben 10 s-os lépésekben előre beállítható, kézi (vagy külső) vezérlés esetén a vezérlés által meghatározott idejű méréseket végez. Mivel az elvégzendő mérési, számítási műveletek bizonyos sorrendiséget feltételeznek, továbbá az egyszerű kezelhetőséget és a sokoldalú felhasználás lehetőségének biztosítását is figyelembe vettük, a teljes mérési ciklust ütemekre bontottuk. Valamely ütemben való tartózkodást a vezérlőegység megfelelő ütemkimeneteinek logikai álla-



11-1. ábra

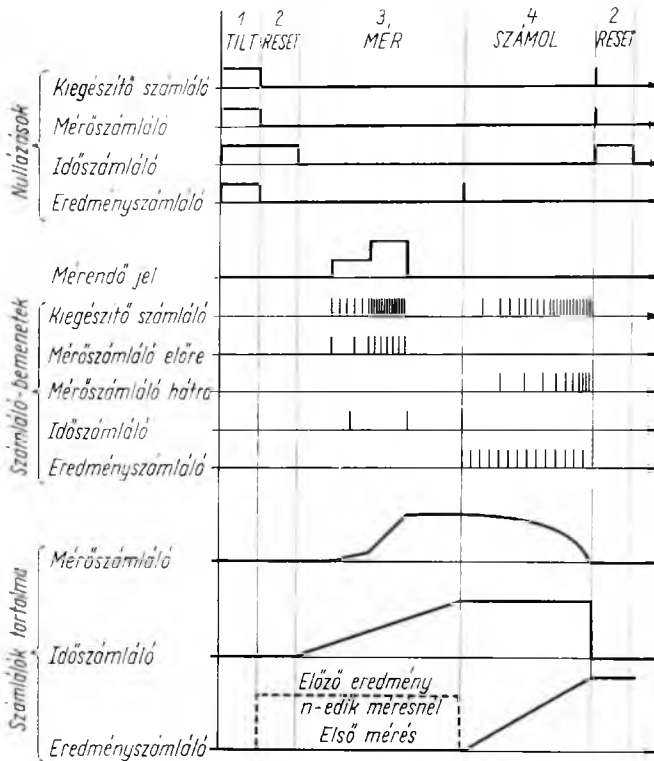
potai jelzik. ( $Q_N = \text{logikai } 1$ ;  $\bar{Q}_N = \text{logikai } 0$ .) Az ütemkimenetekről vett jelekkel vezérelhetők a számítógységek. Egy időben csak egy  $Q_N$  kimenet állapota lehet logikai 1. Az egyes ütemekbe lépés, ill. az onnan való továbbléptetés előírt feltételek teljesülésekor egy belső órajel hatására történik. A vezérlőegység ilyen szervezése



biztosítja, hogy az elvégzendő számítási műveletek helyes sorrendben követik egymást, a léptetés feltételeinek teljesülése csak a megfelelő ütemben válthatja ki a következő ütembe lépést (egyszerűbb a számítógységek működésének összehangolása és csökken a nem üzemszerű állapotból eredő mérési hibák veszélye), továbbá, hogy az ütemek számának, a léptetés feltételeinek, ill. az ütemkimenetek által kiadott vezérlő-

jelek jelentésének megváltoztatásával sokféle más mérési vagy számítási feladat is megoldható. Esetünkben a mérési feladatnak megfelelően négy ütemet választottunk:

Az 1. (TILT) ütembe lépés a tápfeszültség bekapcsolására vagy kimaradás utáni visszatérésére jön létre. Ebben az ütemben minden számláló nullázást kap, így az összes kimeneten nulla jelenik meg.



11-3. ábra

A 2. (RESET) ütem biztosítja az ismétlődő mérési ciklusok indulási feltételeit (nullázásokat). Mint az idődiagramból is kiolvasható, az eredmény számláló itt nem kap nullázást, tehát egy tetszőleges mérési ciklus ideje alatt az előző mérés eredménye rendelkezésre áll.

A 3. (MÉR) ütemben a mérő számlálóba a mérendő jel négyzetes integráljával, az idő számlálóba pedig a mérés kezdetétől eltelt idővel arányos jel kerül. A  $T$  mérési idő előre beállítható vagy nyomógombbal, ill. külső jellel vezérelhető.

A 4. (SZÁMOL) ütemben a négyzetes integrál és a  $T$  mérési idő értékeiből létrejön az effektív érték.

A 4. ütemből a 2. ütembe való visszatérés mind a kézi, mind az automatikus üzemmódban automatikus. Kézi üzemben új mérést nyomógombbal vagy külső jellel lehet indítani, automatikus üzemben a vezérlés biztosítja a 3. ütembe való továbblépést, azaz új mérés indítását.

Az effektív érték képzése, vagyis az

$$x_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2 dt}$$

művelet elvégzése a következők szerint történik:

A 3. (MÉR) ütemben a bemenőjel, amely a mérendő jellel arányos, az *egyenirányítóba*, majd a *négyzetreemelő és feszültség—frekvencia átalakító* áramkörbe kerül. Ennek kimenetén a bemenőjel négyzetével arányos  $f_m$  frekvenciájú impulzussorozatot kapunk. A *kiegészítő számlálón* keresztül ez az impulzussorozat a *mérőszámláló* ELŐRE bemenetére jut. A *mérőszámlálóban* történik az impulzusok összegezése (digitális integrálás), így annak tartalma a nulla állapotból való indulást feltételezve:

$$N_m = \int f_m dt.$$

Az arányossági tényezőket (leosztás) figyelmen kívül hagyva, az impulzusfrekvenciára felírható, hogy

$$f_m = x^2,$$

tehát a mérőszámlálóban levő szám (a *kiegészítő számláló* által okozott frekvenciaosztástól eltekintve):

$$N_m = \int x^2 dt.$$

A mérési idő alatt az *időszámlálóba* 1 Hz-es órajelek jutnak, ennek tartalma tehát a mérés kezdetétől eltelt  $T$  időt adja másodpercekben.

Az előre (10 s lépésekben) beállítható idő leteltével — vagy külső, ill. kézi vezérlés hatására — kezdődik a 4. (SZÁMOL) ütem. Az *időszámlálóba* ekkor további jel nem kerül, tartalma ( $T$ ) egy *szorzóáramkör* kapuzó bemeneteit vezérli. A *szorzóáramkör* impulzusbemenete azonos a *kiegészítő számláló* bemenetével. Ide a 4. ütemben az *integráló feszültség—frekvencia átalakítóról* időben lineárisan változó  $f_k$  frekvenciájú impulzussorozat jut. Az arányossági tényezőt elhanyagolva  $f_k = 2t$  választással a *szorzó* kimenetén az impulzusfrekvencia:  $2tT$ .

A  $2tT$  frekvenciájú impulzussorozat a *mérőszámlálót* HÁTRA irányban működteti, a bejutó impulzusok száma a 4. ütem kezdetétől eltelt idő függvényében:

$$N_k = \int 2tT dt = t^2T.$$

A *mérőszámláló* a hátraszámlálás során  $t_k$  idő elteltével nulla állapotba kerül. Ez jelenti a 4. ütem végét. Ekkor az előre és hátra irányban beszámolt impulzusok száma megegyezik, tehát

$$N_m = N_k,$$

vagyis

$$\int x^2 dt = t_k T,$$

amiből

$$t_k = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2 dt}.$$

Az *eredmény számláló* a 4. ütemben, azaz  $t_k$  ideig  $f_e = \text{konst.}$  órajelet kap. Tartalma tehát a 4. ütem végén nullából való indulást feltételezve — amit a vezérlés

biztosít — és  $f_e$  megfelelő megválasztásával

$$N_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2 dt},$$

ami a mérendő érték.

Az eredmény dekódolás után számjegyes alakban a számjelző csöveken, a *digitális—analóg átalakító*, valamint *kimeneti erősítő* közvetítésével pedig feszültség, ill. áram formájában jelenik meg a megfelelő analóg kimeneteken.

Megjegyezzük, hogy sorozatos mérések esetében egy mérési ciklus ideje a 2., 3. és 4. ütem időiből tevődik össze, a mérés és számolás szempontjából viszont csak a 3. ütem  $T$  időtartama jön szóba. Mivel a 2. és 4. ütemek időtartama  $T$  legkisebb beállítható értéknél is — ez 10 s — lényegesen kisebb — a mért értéktől függően 0...90 ms —, az ebből adódó hiba elhanyagolható.

Méréshatár-túllépésre a készülék a következőképpen viselkedik:

Megszakítja a 3. (MÉR) ütemet és továbbléptet a 4. (SZÁMOL) ütembe, ha:

— a mérőszámláló telítődik;

— kézi üzemben a mérés kezdetétől eltelt 990 s (16,5 min), vagyis az időszámláló telítődik.

Ha a fenti körülmények nem alakulnak ki, de a mért érték a méréshatárnál nagyobb, az eredmény számláló az  $N_e = N_{e \max}$  állapotban nem juthat túl.

A méréshatárnál jóval kisebb effektív értékek mérése esetén, ha a mérendő jel egyenfeszültség, a négyzetreemelés hibája az effektív értéket mérő mutatós műszerekhez (pl. lágyvasas műszer) hasonlóan meglehetősen nagy lehet. Ha a mérendő jel effektív értéke ugyan kicsi, de csúcserőtelkei elegendően nagyok (pl. a mérendő jel impulzusszerű), a szabálytalan időbeli lefolyás ellenére is javul a pontosság. E tényt megfogalmazhatjuk úgy is, hogy az elkövetett hiba szempontjából a mérendő jel elegendően nagycsúcserőtelkeinél a mutatós műszer négyzetes skálabeosztásával szemben a számítási műveletek szétválasztása miatt esetünkben lineáris skálabeosztást tetelezhetünk fel.

Az ismertetett elvek szerint felépített effektívérték-mérő egy alkalmazási példája az áram effektív értékének mérése a DV megleghengermű reverzáló hengerállványának főhajtómotor tápkörében. A technológiának megfelelően szakaszos üzemben dolgozó motor az áramkorlátozástól és szűrástól függően 10...16 kA csúcsáramokat vehet fel. A melegedés szempontjából lényeges névleges áram 6,6 kA, a motor termikus időállandója 10 min nagyságrendű.

A biztonsággal érzékelendő csúcsáram maximális értékét 20 kA-ban megállapítva az áramváltóról kapott jelet oly módon osztottuk le, hogy  $\pm 20$  kA-hez tartozzék a szabványos  $\pm 10$  V bemeneti szint (1 V tehát 2 kA-nek felel meg). A 6,6 kA névleges áramnak megfelelően a kimenetek effektív értékre vonatkozó méréshatárát 10 kA-nek vettük, mivel azonban a névleges érték lényeges túllépése üzemszerű körülmények között viszonylag rövid időkre (pl. egy buga kihengerlése) sem várható, egyszerűsítési szempontokból a kiszámítható mérési eredményt 9 kA-nek megfelelő értékre korlátoztuk.

A műszer főbb jellemzői az ismertetett körülmények között a következők:

#### *Határértékek:*

Hálózati feszültségek:	max. $3 \times 380$ V + 25%
	max. 220 V + 25%
Bemeneti feszültség:	max. $\pm 15$ V
Környezeti hőmérséklet:	— 10... + 85 °C

### *Jellemzők a működési tartományban:*

Hálózati feszültségek:  $3 \times 380 \text{ V} \pm 15\%$ ;  $220 \text{ V} \pm 15\%$ ;  
Környezeti hőmérséklet:  $0 \dots +65 \text{ }^\circ\text{C}$   
Bemeneti feszültség csúcsértéke: max.  $\pm 10 \text{ V}$   
Bemeneti feszültség effektív értéke: max.  $4.5 \text{ V}$   
Bemeneti feszültség jelalakja: tetszőleges  
Bemenő jel frekvenciája: max.  $100 \text{ Hz}$   
Mérési idő (integrálási idő):  $10 \dots 900 \text{ s}$   
 $10 \text{ s-os}$  lépésekben beállítható, vagy külső jellel,  
ill. nyomógombbal vezérelhető

Analóg áramkimenet:  $0 \dots 4,5 \text{ mA}$   
( $R_{T \text{ max}} = 1 \text{ k}\Omega$ -ig)

Analóg feszültségkimenet:  $0 \dots 9 \text{ V}$   
( $I_{T \text{ max}} = 20 \text{ mA}$ )

Számjegyes kijelzés:  $0 \dots 900$

#### Átviteli tényező:

áramkimenetre:  $1 \text{ mA}/1 \text{ V}_{\text{eff}}$ ;  $0,5 \text{ mA}/1 \text{ kA}_{\text{eff}}$ ;  
feszültségkimenetre:  $2 \text{ V}/1 \text{ V}_{\text{eff}}$ ;  $1 \text{ V}/1 \text{ kA}_{\text{eff}}$ ;  
számjelző kimenetre:  $200/1 \text{ V}_{\text{eff}}$ ;  $100/1 \text{ kA}_{\text{eff}}$ .

#### Mérési pontatlanság:

$U_{\text{Beff}} > 1,3 \text{ V}$ ;  $T > 100 \text{ s}$   $\pm 5\%$  FSD

$U_{\text{Beff}} > 2 \text{ V}$ ;  $T > 100 \text{ s}$   $\pm 5\%$  a mért értékre vonatkoztatva

Hálózati tápegységek által előállított feszültségek:

$-12 \text{ V}$	$\pm 1\%$
$-12 \text{ V}$	$\pm 1\%$
$-5 \text{ V}$	$\pm 1\%$
$-7 \text{ V}$	$\pm 1\%$

$\pm 200 \text{ V}$  stabilizálatlan

Órajelfrekvenciák:  $10 \text{ kHz}$ ,  $1 \text{ kHz}$ ,  $100 \text{ Hz}$ ,  $10 \text{ Hz}$ ,  $1 \text{ Hz}$

Maximális bekapcsolási idő:  $\infty$

### **3. Konstruktív kérdések, elemválaszték, zavarelhárítás, mérési tapasztalatok**

A megépített készülék önálló műszerként is használható, de mivel egy komplett berendezés részeként került felhasználásra, bizonyos fokig igazodtunk a berendezésben alkalmazott általános konstrukciós megoldásokhoz. Így pl. a nyomtatott huzalozású kártyákat olyan rack fiókban helyeztük el, amelynek méretei a berendezés más helyein alkalmazott rack fiókéval megegyeznek.

A számítógységeknek dugaszolható kártyán való felépítését egyébként két okból tartottuk célszerűnek: Egyrészt az ipari alkalmazás követelményeiből kiindulva szükséges, hogy egy esetleges hiba a meghibásodott egység cseréjével gyorsan elhárítható legyen (az esetleges hibák az alkalmazott kijelzések, valamint a mérőhüvelyekre kivezetett tápfeszültségek és órajelek segítségével könnyen behatárolhatók), másrészt különböző számítógységek felhasználásával különböző feladatok oldhatók meg.

Az előzőekben már említettük, hogy a készüléket szilícium félvezetőkkal és integrált áramkörökkel építettük fel. Mivel a maximális megbízhatóságra törekedtünk, és ehhez az is hozzá tartozik, hogy alkatrészhibák esetén az alkatrészcsere minimális időt vegyen igénybe, olyan megoldásokat választottunk, melyek a félvezetők paramétereinek szórására nem érzékenyek, válogatást nem igényelnek, így a meghibásodott félvezető azonos vagy hasonló típusú félvezetővel minden további nélkül helyettesíthető.

Az integrált áramkörök megválasztásakor részben az elvégzendő számítási műveletek bonyolultságát, részben gazdaságossági szempontokat kellett figyelembe ven-

nünk. A nagyobb elemválaszték, a nagyobb integráltsági fok, a lényegesen alacsonyabb ár és egyszerűbb beszerezhetőség miatt a TEXAS SN 74 sorozat TTL áramköröit használtuk fel. A TTL áramkörök ipari berendezésbe való beépítésekor zavarvédeltségével kapcsolatos aggályt indokolatlannak tartjuk, mivel olyan, ma már rutinmunkának számító konstrukciós megoldások — nullasín, kártyánkénti tápfeszültségűzés, lehetőleg egyszerű huzalozás (ezt többek közt a TTL áramkörök nagy integráltsági foka már biztosítja, mert komplett funkcionális egységek építhetők fel egy kártyán, tehát a be- és kimenetek száma minimális lehet) — állnak rendelkezésre, amelyek egy készülék zavarvédeltségét ipari környezetben is biztosítják. Ezzel szemben az ún. zavarvédett integrált áramkörök esetében, tekintve, hogy a belső eredetű zavarok többsége tápfeszültségeken keresztül fejt ki hatását, az átkapcsolásokból a rendszeren belül keletkező zavarok veszélye a nagyobb jelszint miatt lényegesen nem csökken, a kisebb integráltsági fok pedig nagyobb terjedelmet, bonyolultabb huzalozást eredményez, ami a külső eredetű zavarok szempontjából kedvezőtlen. Összegezve: kellő tervezői gyakorlat hiánya, bizonyos konstrukciós rendszabályok be nem tartása, vagy az elektromos és mechanikai tervezés szétválasztása esetén a „zavarvédett” áramkörökből felépített készülék zavarmentes működése is kétséges. Arról nem is beszélve, hogy az egyébként is drágább áramkörökből lényegesen többet kell felhasználni.

A megépített műszerben a kártyarendszernek megfelelően a tápfeszültségek azonos csatlakozópontra való kivezetésével, a kártyák célszerű elrendezésével biztosítottuk a lehető legegyszerűbb huzalozást. Az elegendően vastag nullasín, a rack fiókba beépített, integrált áramkörös stabilizátorokkal megvalósított zárlatvédett stabilizált tápegység, valamint a kártyánkénti tápfeszültségűzés nagyfokú védeltséget ad mind a külső, mind a belső eredetű, tápfeszültségeken fellépő zavarok ellen. A be- és kimenetek zavarűzéséről illesztőáramkörök gondoskodnak.

A rack fiók egy 6250 kW-os tirisztoros hajtás regisztrálószekrényében van. Bemenő jelét megfelelő leosztások közbeiktatásával áramváltóról kapja, analóg kimenetei mutató műszerre, ill. regisztrálóműszerre csatlakoznak. Az elmenő vezetékek a mérőkészülék szempontjából gyakorlatilag árnyékolatlannak tekinthetők, hosszuk 20... 100 m. A hőmérsékletingadozás és levegő szennyezettsége meglehetősen nagy lehet.

E körülmények között a készülék folyamatos üzemben működik. Az üzembelyezés óta eltelt több mint fél év alatt meghibásodás nem történt, zavarójelekből adódó helytelen mérési eredményt sem tapasztaltunk.



# 12.

## **Készülékek villamos hálózatok feszültségtartására és ellenőrzésére**

*NÉMETH ISTVÁN*

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

A cikk foglalkozik a villamos hálózatok feszültségtartásának alapvető szempontjaival, a beavatkozási lehetőségekkel, a megengedhető ingadozás célszerű elosztásával. Ennek kapcsán a nagy- és közepfeszültségű hálózatok fokozatkapcsolós transzformátoraihoz kidolgozott ATSz típusú szabályozók fejlődésével és távlati lehetőségeivel.

A kisfeszültségű hálózatokon egyre fokozódó követelmények és beruházási nehézségek kompromisszumaként kifejlesztett SzHSZT típusú egyszerű, automatikus átkapcsolású transzformátorok ismertetése és felhasználási lehetőségeinek bemutatása a cikk következő része.

A hálózatok ellenőrző méréseivel, ezek célszerű és gyors mérőműszereinek kialakításával és az e téren szükséges további fejlesztéssel foglalkozik befejezésében a cikk.

### **УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ПОДДЕРЖИВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

*И. Немет*

#### **Резюме**

В статье рассматриваются основные принципы поддержания величины напряжения электрических сетей, возможности вмешательства, целесообразное распределение допустимых колебаний, и в связи с этим, перспективные возможности и развитие регуляторов типа ATSZ разработанных для трансформаторов со ступенчатыми переключателями сетей высокого и среднего напряжений.

Вторая часть статьи содержит перечень возможных режимов применения, а также описание простых трансформаторов типа SZHSZT с автоматическим переключением разработанных в результате компромисса, заключенного между повышающимися в низковольтных сетях требованиями и трудностями по инвестициям.

В заключении автор занимается контрольными измерениями сетей, исполнением целесообразных и быстродействующих измерительных приборов контроля и необходимыми в этой области перспективными работами по усовершенствованию.

### **GERÄTE FÜR DIE SPANNUNGSKONSTANTHALTUNG UND DIE KONTROLLE DER ELEKTRISCHEN VERTEILERNETZE**

*J. Németh*

#### **Zusammenfassung**

Im Aufsatz werden die grundsätzlichen Kriterien der Spannungskonstanzhaltung der elektrischen Netze, die Eingriffsmöglichkeiten, die zweckmäßige Verteilung der zulässigen Schwankungen und diesbezüglich die Entwicklung und die perspektivischen

Möglichkeiten der Regler des Typs ATSZ (Automatische Regelung für Stelltransformatoren) behandelt, die zu den Stellstufenschalter-Transformatoren der Hoch- und Mittelspannungsnetze entwickelt wurden.

Im nächsten Teil des Aufsatzes werden die einfachen, automatisch umschaltbaren Transformatoren des Typs SZHSZT bekanntgemacht, die als Kompromiss zu den sich fortwährend steigernden Forderungen der Niederspannungsnetze und den Investitionsschwierigkeiten entwickelt wurden. Es werden auch die Anwendungsmöglichkeiten dargestellt.

Der Schlussteil des Aufsatzes berichtet über die Kontrollmessungen der Netze, die Gestaltung der zweckmäßigen und schnellen Messinstrumente und über die erforderliche Weiterentwicklung.

## APPARATUS DEVELOPED FOR REGULATING AND CONTROLLING THE VOLTAGE OF ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORKS

By J. Németh

### Summary

The paper deals with the fundamental aspects of regulating specified service voltages of electric networks, with possible means of intervention, with proper distribution of deviations, and with the development and possible future improvement of voltage regulators of type ATSZ designed for the purpose of controlling the tap-changing of transformers in high-voltage transmission and distribution networks.

The second part of the paper discussed the type SZHSZT transformers provided with simple, automatic tap-changing, developed as a compromise between the ever increasing requirements of low-voltage networks, and the restrictions of investment funds and possible fields of application of these transformers.

The paper deals with preliminary control measurements to be performed on the various networks, with the appropriate and rapid development of measuring instruments to be used for that purpose, and outlines further development and improvements required.

Intézetünk a Magyar Villamos Művek Tröszttel szoros együttműködésben évek óta foglalkozik a villamosenergia-szolgáltatás minőségét javító, ezen belül pedig a hálózati feszültséget szabályozó berendezések fejlesztésével.

A fogyasztói hálózatok feszültségének régebben  $+5\% \dots -10\%$ -os és jelenleg  $\pm 7,5\%$ -os határok között tartása a fogyasztói berendezések számának és teljesítményének növekedésével egyre súlyosabb feladatokat ró az áramszolgáltató vállalatokra. E feladatokat csak a hálózatok tervszerű ellenőrző méréseire alkalmas készülékek birtokában, a mérési eredmények alapján kijelölt helyeken, a tervezéskor már ismert automatikák beépítésével, korszerűen kivitelezett vagy korszerűsített hálózatokkal lehet megoldani.

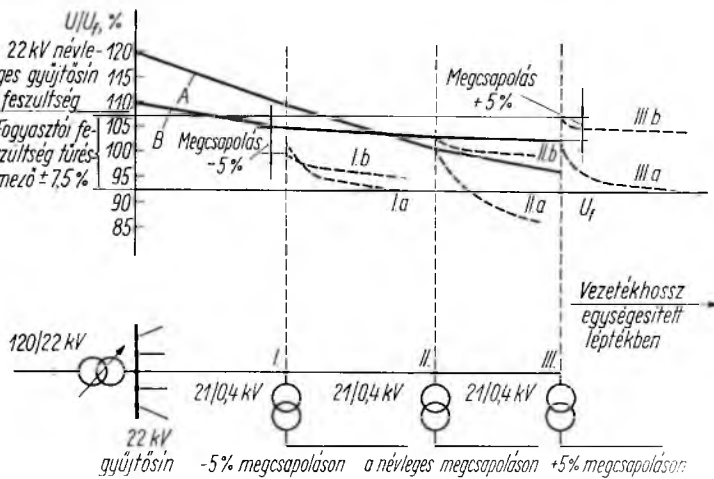
A következőkben röviden összefoglaljuk a hazai villamosenergia-szolgáltatás rendszerét, ezen belül utalunk a szabályozás, ill. lépcsőzés lehetséges helyeire, és ismertetjük e helyek meghatározására elegendő adatot szolgáltató mérőműszereket és ez ide betervezhető, az Intézetünkben kidolgozott készülékeket.

A hazai villamosenergia-rendszer a következő hálózatokra osztható: az erőművekből és nemzetközi kooperációs hálózatból ellátott 120 kV-os, ill. ennél nagyobb feszültségű hálózatra, erről terhelés alatt átkapcsolható, fokozatkapcsolós transzformátorokon keresztül táplált 35; 20; 10 kV-os középfeszültségű hálózatokra, ezekről pedig három fokozatban átköthető közép/kisfeszültségű transzformátorokkal ellátott 380/220 V-os fogyasztói hálózatokra.

A nagyfeszültségű hálózat villamos jellemzőit főleg energetikai szempontok határozzák meg, így az első olyan szint, ahol adott feszültségre szabályozhatunk, a nagy/középfeszültségű transzformátor szekunder oldala.

Tekintettel arra, hogy a nagy/középfeszültségű transzformátorok már régebben is terhelés alatt fokozatokban átkapcsolható egységek voltak, így a nagy energiaszinten történő, általános szabályozást e pontokon lehet elvégezni. A nagy/középfeszültségű transzformátor szekunder oldala általában háromtól tíz középfeszültségű vezetékkel táplál egy gyűjtősinrendszerről. Ennek a gyűjtősinnek a feszültségét célszerűen úgy kell szabályozni, hogy lehetőleg a fogyasztókig biztosítsa az előírt tűréstartományon belüli feszültséget.

E feladat a valóságban természetesen nem oldható meg minden fogyasztói pontra, ezért a lehetséges optimális megoldást keresve a 12-1. ábrához hasonlóan felvesszük az egyes középfeszültségű vezetékek és a róluk táplált szekunder vezetékek feszültségviszonyait egy teljes ciklus, célszerűen egy hét időtartamú mérés alapján (erre a célra



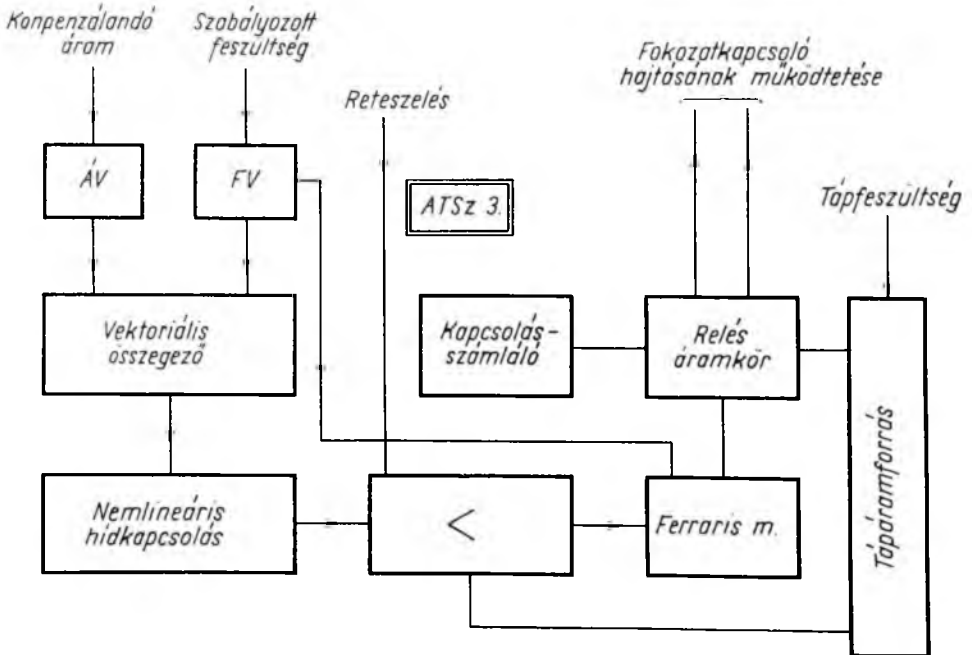
12-1. ábra. Feszültségesés a hálózatokon

alkalmas a későbbiekben ismertetésre kerülő statisztikus voltmérő). A jelleggörbék összevetése alapján a szabályozót optimálisan tudjuk beállítani. Az ábrán — az egyszerűség kedvéért — a hálózat három közép/kisfeszültségű transzformátort tartalmaz. A függőleges tengelyen a névleges fogyasztói feszültség százaléka a lépték, így a gyűjtősíntől a fogyasztóig minden helyi érték felrajzolható, a feszültségszintől függetlenül. (A gyűjtősín névleges feszültsége a transzformátorok áttétele miatt 10%-kal nagyobb, mint a fogyasztói névleges feszültség.) Az A görbe a középfeszültségű hálózat hosszmenti feszültségeloszlását mutatja a legnagyobb terhelés időszakában, a B görbe ugyancsak e vezeték minimális terheléshez tartozó feszültségeloszlását mutatja. Látható, hogy az I transzformátor fix megcsapolása úgy van bekötve, hogy a névlegesnél 5%-kal kisebb a kimeneti feszültség szintje, a II transzformátor a névleges áttétellel van bekötve, a III transzformátor fix megcsapolása 5%-kal növelt áttételt biztosít. Észrevehető, hogy a II transzformátorkörzetben terhelési csúcsidején nem lesz megfelelő a fogyasztói feszültség a körzetnek több, mint a felében. A középfeszültségű gyűjtősín feszültség szabályozása úgy van beállítva, hogy a minimális terhelés idején szolgáltatja a névleges, a legnagyobb terhelés idején pedig a 10%-kal

növelt feszültséget. Ha nem lehet olyan gyűjtősin-feszültséget, ill. terheléskompenzációt beállítani, hogy minden fogyasztói hálózaton a kívánt tűrésmezőbe essék a feszültség, akkor vagy bővíteni kell a középfeszültségű hálózatot, ill. érintett tagjainak keresztmetszetét, vagy a szekunder hálózatok talppontjaira, ill. közbenső szakaszaira újabb, a továbbiakban ismertetendő SzHSzT szabályozót kell telepíteni, amely a feszültséget automatikusan a kívánt értékek közé állítja be. Ez a szekunder hálózati szabályozás igen hatásos és gyors segítséget jelent, ha a táppontok számának vagy a keresztmetszetek növelésének gazdasági akadályai vannak. Ha a csak néhány fogyasztót ellátó, nagy induktív impedanciát képviselő hosszú szekunder légvezeték feszültsége nem esik a tűréstartományba, célszerű a későbbiekben tárgyalt KFA kondenzátoros feszültségszabályozót alkalmazni.

A nagy/középfeszültségű transzformátorok terhelés alatt, fokozatokban átkapcsolható, szabályozós transzformátorok. Az átkapcsolást végző fokozatkapcsolók működtetőautomatikáit Intézetünkben fejlesztettük ki. Ezek a készülékek az ATSz típuscsalád tagjai. A jelenlegi hazai hálózatokon közel 200 db ATSz 3 és 50...100 db ATSz4 típusjelű készülék van felszerelve. (ATSz 3-as készülékek működnek Jugoszláviában és trópusi kivitelű változatuk Pakisztánban is elfogadott.) Az ATSz 5 típusjelű, integrált áramkörökkel felépített készülékünk laboratóriumi példánya már működik, a végleges készülék első példányát 1974 első félévében felszerelik.

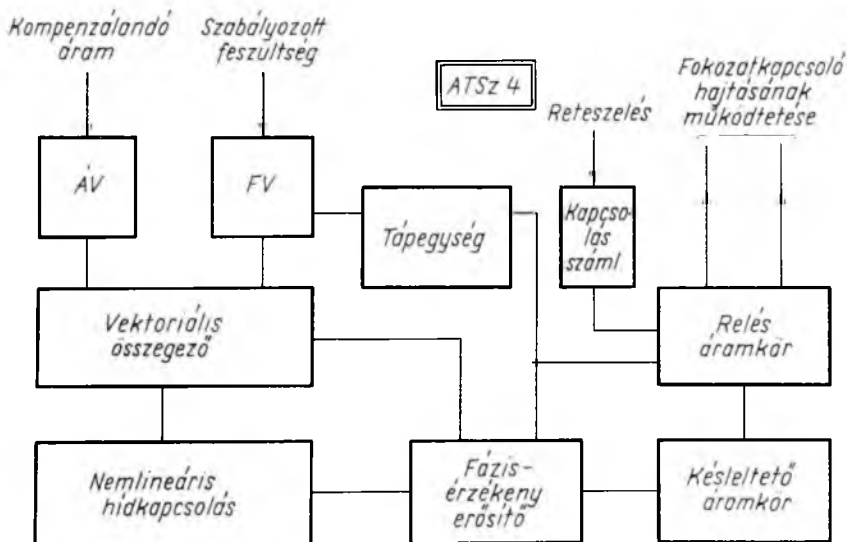
Az ATSz 3-as típus (12-2. ábra) a szabályozott oldal feszültségét 100 vagy 110 V-os szekunder feszültségű feszültségváltókon át érzékeli. Fiktív alapjelképzős érzékelő-rendszere nemlineáris hídkapcsolás, amelynek kimenő jele tranzisztoros erősítőn keresztül a másik tekercsrendszerén fix gerjesztésű Ferraris-motort forgat. A Ferraris-motor 60 : 1-es áttétellel csökkentett fordulatszámmal kapcsolóhengert hajt, amelynek három érintkezőrendszeréhez három relé csatlakozik. A nemlineáris hídkapcsolás egy



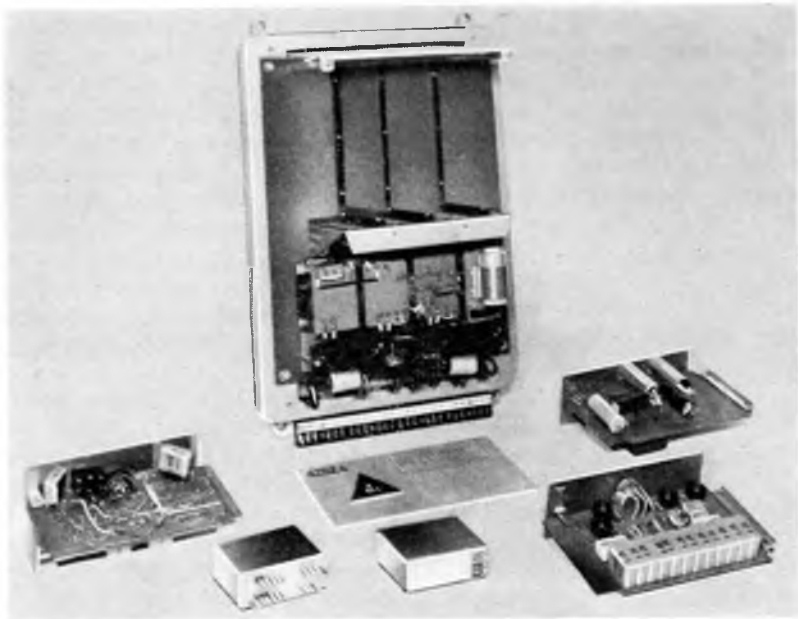
2-2. ábra. ATSz 3 feszültségszabályozó tömbvázlata

meghatározott feszültségértéken van kiegyenlítve, ha ettől a szabályozandó feszültséggel arányos tápfeszültség eltér, a szabályozó az eltérés nagyságával arányos és irányától függő fázishelyzetű jelet ad. E kimenő jel erősítés után az eltérés nagyságától függő fordulatszámmal és az eltérés irányától függő irányban forgatja a Ferraris-motort, a kapcsolt relék pedig egyik vagy másik ciklussorrendben húznak meg. Ezeket a reléket a transzformátort átkapcsoló mechanikát hajtó motor mágneskapcsolóinak közvetlen működtetésére lehet használni. A működési módból következik, hogy ez a készülék a feszültségeltérés időintegrálja alapján fogja működtetni a fokozatkapcsoló-hajtást. A készülék áramérzékelő része 5 A áram esetén – beállítástól függően – 3...10% feszültségemelést biztosít. Az áramkompenzáció a terhelőáram fázishelyzetétől is függ. A készülék a kiadott fokozatkapcsolási parancsokat számlálja, s ezzel a fokozatkapcsoló hajtás elhasználására közvetlen számszerű adatot szolgáltat.

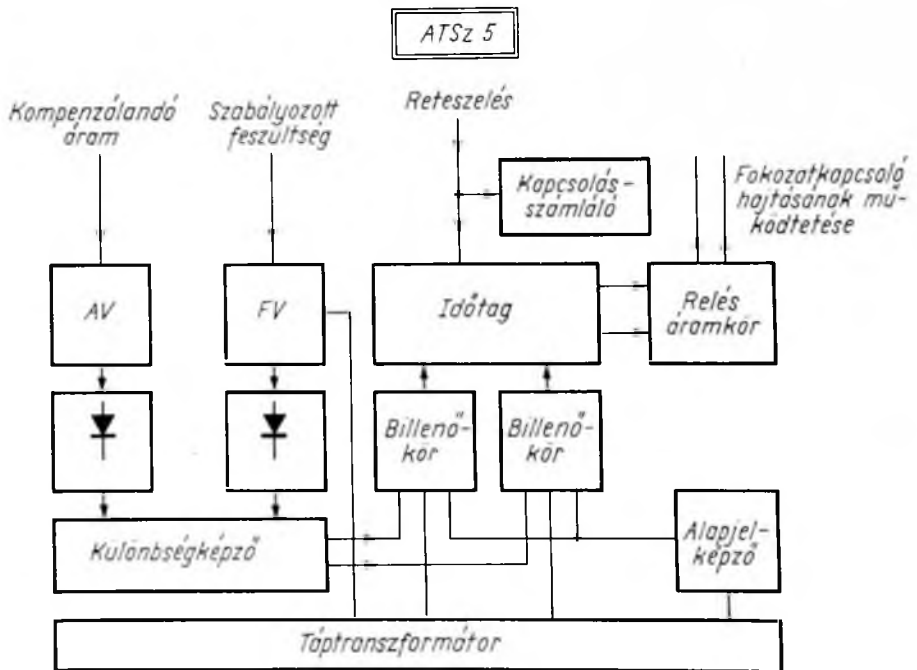
Az ATSz 4 típusjelű készülék vázlatos felépítése a 12-3. ábra szerinti. Látható, hogy külön tápfeszültség helyett a készülék a feszültségváltóról táplálható (12-4. ábra). Fogyasztása a mérőváltóról (12 VA) így is fele az ATSz 3-as készülékének. Reed-relékkel felépített áramköre a Ferraris-motoros integrálor szabályozás helyett 15...150 s között beállítható fix időkéleltetéssel adja ki a kapcsolási parancsokat. Az érzékelés az áram- és feszültségjel vektorialis összegzése után nemlineáris hídkapcsolással történik. A hídkapcsolás kimenő jelét fázisérzékeny erősítőre vezetjük, amely az ATSz 3 típusnál ismertetett híd kimenő jelét értékeli és késleltető áramkörtön keresztül működteti a relés áramkört. A fix időkéleltetés bevezetésére azért került sor, mert az időközben elvégzett mérések alapján a szükséges kapcsolási időket jól lehetett határolni, nevezetesen 45...80 s közötti értékekre, ezzel egyidőben bebizonyosodott, hogy több szabályozó alkalmazása esetén működésük összehangolásához a működési idők lépcsőzésére van szükség, ami előírt fix időkéleltetésekkel valósítható meg a legegyszerűbben. A fokozatkapcsoló hajtás működési számát a nyugtázott kapcsolási parancsok számlálásával rögzítjük.



12-3. ábra. ATSZ 4 feszültségszabályozó tömbvázlata



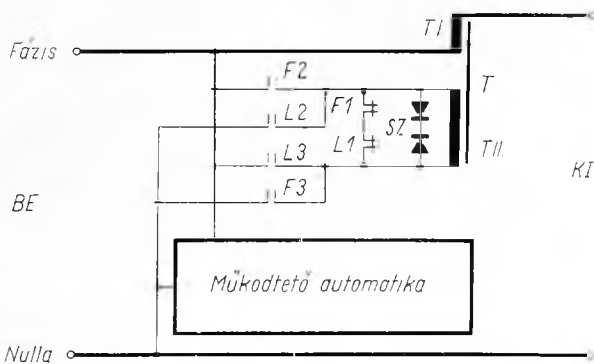
12-4. ábra



12-5. ábra. ATSZ 5 feszültszabályozó tömbvázlata



12-6. ábra

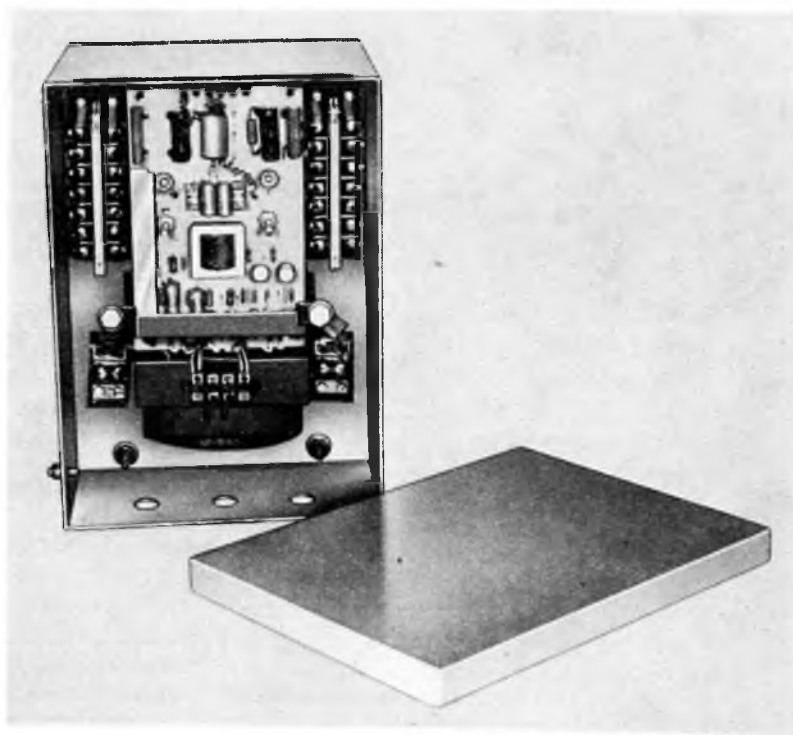


12-7. ábra. SZHSZT feszültszabályozó tömbvázlata

Az ATSz 5 típusjelű készülék az elektronika rohamos fejlődésével lépést tartva a további súly- és méretcsökkentésen túl elvi működésben is különbözik elődeitől (12-5. ábra). Az érzékelés egyenfeszültségű. Először a feszültségjelből vonjuk ki az árammal arányos jelet, majd ezt a különbségi jelet hasonlítjuk össze a precíziós alapjelképző jelével, a két billenőáramkör bemenetén. Ezek a billenőkörök indítják az időtagot és az időkésleltetés leteltével a kapcsolási folyamatot. A billenőáramkörök nagymértékű stabilitása és a pontos alapjel biztosítja, hogy a készülék 1%-nál pontosabb. Az időtag 20...120 s tartományon belül beállítható késleltetést biztosít. A reteszelés az időtagra hat és működteti a kapcsoláásszámlálót (12-6. ábra).

Amint azt a bevezetőben tárgyaltuk, a nagy/középfeszültségű szabályozás nem minden esetben oldja meg a fogyasztók egyöntetű feszültségtartását. Ezeknek a megengedett tűréstartományból kieső feszültségű hálózati szakaszoknak a gyors, egyszerű feszültség javítását teszi lehetővé az Intézetünkben kifejlesztett szekunder hálózati szabályozótranszformátor (SzHSzT).

Az SzHSzT készülék feladata, hogy a mindenkori feszültséghelyzettől függően automatikusan 5%-kal, ill. 10%-kal emelje vagy csökkentse a hálózat további részének feszültségét, ha pedig a bemeneti feszültség megfelelő, akkor azt változatlanul átvigye. Egy ilyen készülék vázlatát mutatja be a 12-7. ábra. Látható, hogy a  $T$  transzformátor  $TI$  tekercse a szabályozni kívánt hálózattal sorba van kötve. A fogyasztói áram tehát mindig átfolyik ezen a tekercsen. A transzformátor  $TII$  tekercselése vagy önmagában rövidrezárható  $F1-L1$  úton, vagy beköthető úgy, hogy a bemeneti oldali fázis és nullavezető közé egyik ( $F2-F3$ ) vagy másik ( $L2-L3$ ) polaritással kerüljön. Ez a

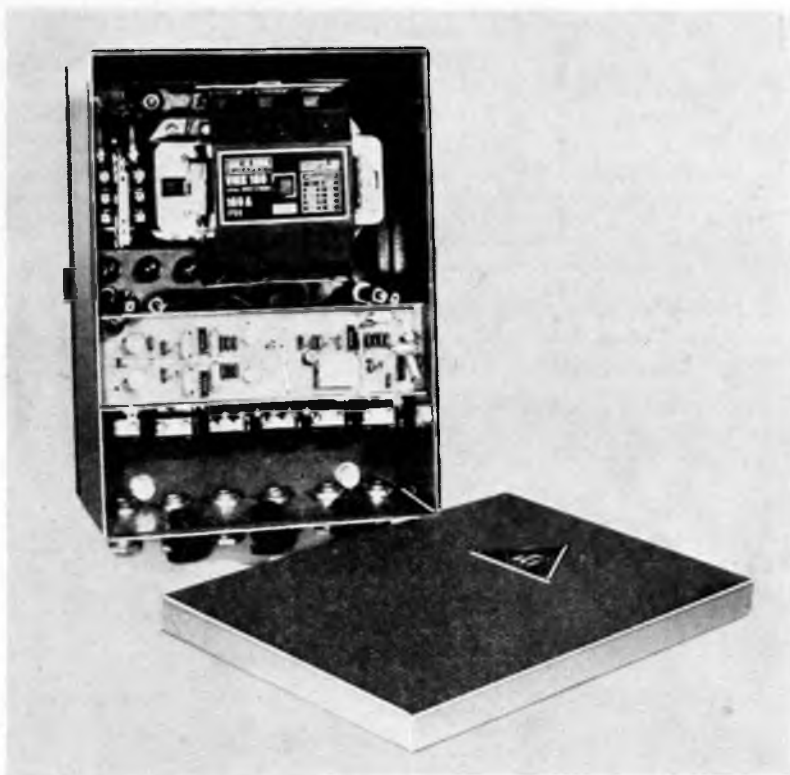


12-8. ábra



háromféle kapcsolás két mágneskapcsoló,  $F$  és  $L$  különböző állásaihoz van hozzárendelve. Belátható, hogy ha a működtetőautomatika, amely az ATSz 4 típusú készülék egyszerűsített változata, a bemeneti feszültség változása alapján működteti az  $F$  és  $L$  mágneskapcsolókat, akkor a transzformátor a kívánt feladatot teljesíti. Az SzHSzT típusú szabályozókból eddig 30 db készült (12-8. ábra), ezek üzemben vannak és légvezetékes hálózatokon, ill. igényesebb egyedi fogyasztók — számítógépek — előstabilizátoraiként működnek. Jelentősebb darabszámban történő felhasználásukra az 1973–74 években kerül sor.

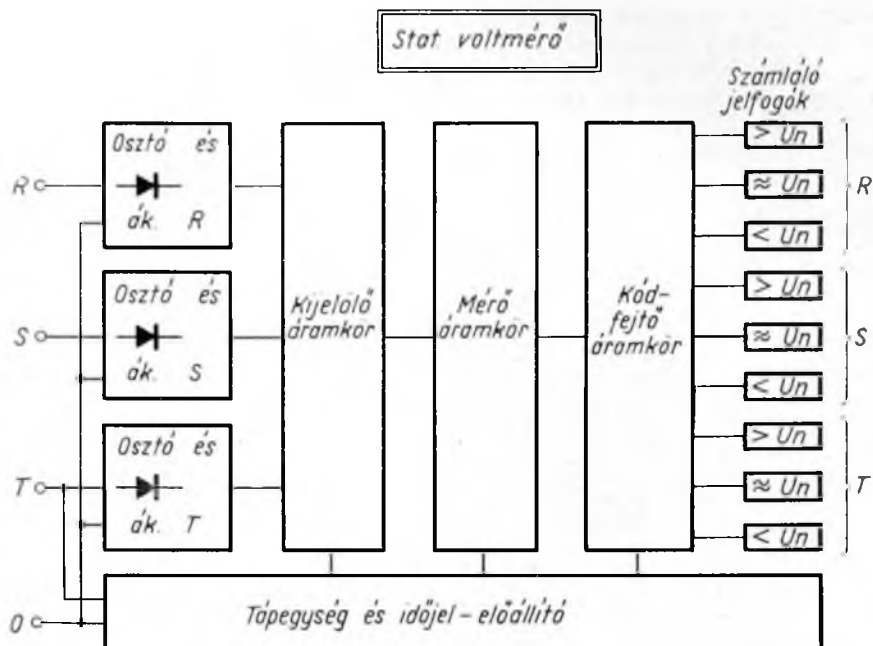
A KFA kondenzátoros feszültség szabályozókat nagy soros induktív impedanciát képviselő légvezetékes hálózatok feszültségjavítására dolgoztuk ki (12-9. ábra).



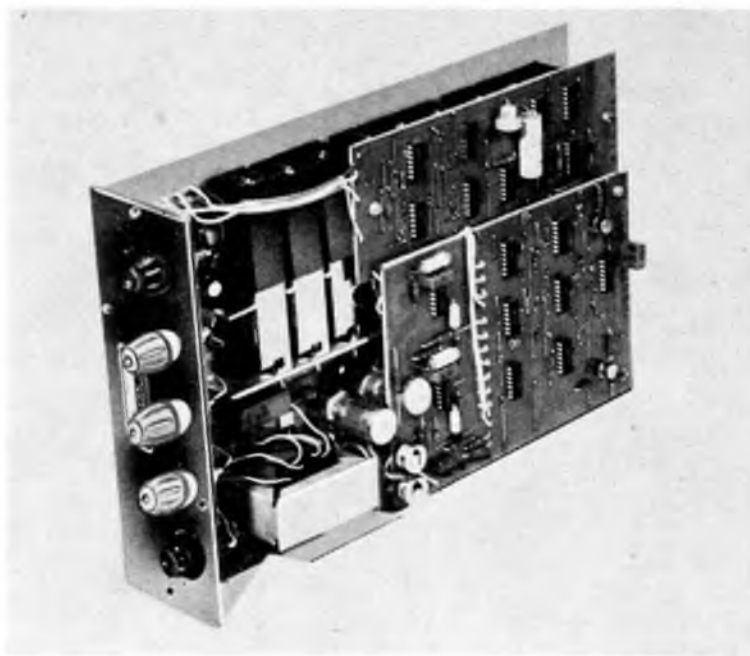
12-9. ábra

A készülékek működésének alapelve, hogy ha egy nagy soros induktivitást tartalmazó hálózatra kapacitív fogyasztót kapcsolunk, ezzel a feszültséget jelentősen megemelhetjük. A készülékek feszültség- és áramérzékelővel csatlakoznak a hálózathoz, amelyek előre beállított értéknél kisebb feszültsége esetén bekapcsolatják a kondenzátorokat. E készülékből 7 készült, kísérleti üzemiükre 1973. évben került sor.

A hálózati feszültség szabályozására kidolgozott készülékek ellenőrzésére, az új készülékek felszerelési helyének kijelölésére intézetünk a Villamos Energiaipari Kutató Intézet előzetes tapasztalatainak felhasználásával egyszerű, hordozható, statisztikus mérésekre alkalmas műszert fejlesztett ki.



12-10. ábra. Statisztikus voltmérő tömbvázlata



12-11. ábra

Az STV3 típusjelű készülék alkalmas háromfázisú  $3 \times 380$  V-os hálózatok megfigyelő méréseire. Percenkénti mintavételezéssel megméri mindhárom fázisvezető és a közös nullavezető között a feszültséget, a kapott értékeket vagy az előírt tartományon belüli, vagy annál nagyobb, ill. annál kisebb értékűnek találva működteti a megfelelő számláló jelfogóját. A készülék belső felépítése a 12-10. ábra szerint. Látható, hogy a  $T$  fázisvezető és a nullavezető közötti feszültség a tápfeszültség. Ez egyrészt a készülék egyenfeszültség-ellátását, másrészt az időjel előállításának alapjélet szolgáltatja. Az időjellel vezéreljük a kijelölő és a kódfejtő áramkört. Így percenként az  $R$ , majd az  $S$ , azután a  $T$  fázis feszültségmérését végzi el a mérőáramkör és ezzel a méréssel egyidőben a kódfejtő áramkör az  $R$ , majd az  $S$ , azután a  $T$  fázis számláló jelfogóit ajánlja fel a mérőkörnek, amely azok közül mindig a mért értéknek megfelelőt húzatja meg. Az időjel-előállítás a hálózati frekvencia osztása alapján történik.

Ez a készüléktípusunk (12-11. ábra) 10 példányban készült el, és több hálózati méréssorozatot végeztünk velük, amelyek a készülékek használhatóságát igazolták. További gyártásra 1973—74. évben kerül sor.

Amint az az itt bemutatott készülékek ismertetéseiből is látszik, intézetünk komoly részt vállal a villamosenergia-szolgáltatás minőségi javításáért folytatott munkában és e témakörök kapcsán is szorosan együttműködik az iparral és társintézményekkel.

#### Irodalom

- Dr. Gábor László:* Feszültség szabályozó transzformátor önműködő szabályozója. Mérés és Automatika, 1958. 1. sz.
- Dr. Gábor László:* Elosztóhálózati feszültség szabályozás. Villamosság, 1964. július.
- Gábor, L.:* Nuovi tipi di regolatori di tensione per impianti di distribuzione dell'energia elettrica, XI Convegno Int. Milano, 1970.
- Czigány Béla:* MVMT Tanulmány. Kisfeszültségű hálózatok feszültségviszonyainak javítása párhuzamos statikus kondenzátorokkal. Budapest, 1965.
- Czigány Béla:* MVMT Tanulmány. Önműködő feszültség szabályozás és a hálózati meddőteljesítménykompenzálás néhány időszzerű kérdése. Budapest, 1968.



# 13.

## A BD 130 pénztárgép—adatgyűjtő rendszer

*BOHUS AURÉL—IVÁNSZKY BÉLA*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A számítógép megjelenése korszerű adatfeldolgozó rendszerek kiépítését teszi lehetővé. A nagy működési sebesség szükségessé teszi, hogy a feldolgozás előtt az adatokat előbb összegyűjtsük és valamilyen eszközzel koncentrált formában a számítógéphez továbbítsuk. A VKI-ban kifejlesztett adatgyűjtő-rendszer előnyösen felhasználható a kereskedelem adatfeldolgozási problémáinak számítógépes megoldására.

A BD 130 pénztárgép—adatgyűjtő rendszer három egységből áll:

- az Irodagépipari és Finommechanikai Vállalat által készített — és az adatkiolvasásra alkalmassá tett — pénztárgépekből;
- elektronikus adatgyűjtőből;
- szalaglyukasztóból.

Az adatgyűjtő-rendszer — jelenlegi kialakításában — max. tíz pénztárgép információját egyidejűleg fogadja és IBM nyolccsatornás kódban lyukszalagra lyukasztja. Az egyes pénztárgépek tételbevitelkor 13 számjegyű információt juttatnak az adatgyűjtőbe. Az adatgyűjtő a beérkező információt figyeli és hiba esetén a hibás pénztárgépet a forgalomból kirekeszti. A lyukszalag feldolgozása adatfeldolgozó számítógépen történik.

### СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ КАССОВЫХ АППАРАТОВ ТИПА BD 130

*А. Бохус—Б. Ивански*

#### Резюме

Появление вычислительных машин обеспечивает возможность построения современных систем обработки данных. Очень выгодно может быть использована их высокая скорость работы, и помимо этого человек освобождается от монотонной работы, связанной с обработкой данных. Благодаря высокой скорости работы необходимо собрать данные перед обработкой и таким то образом в концентрированном виде сообщить эти данные вычислительной машине.

Система сбора данных, разработанная в Научно-Исследовательском Институте Электрической Промышленности может быть выгодно использовано для решения с помощью вычислительных машин проблем обработки данных, появляющихся в торговле.

Система сбора данных кассовых аппаратов BD 130 состоит из трех блоков:

- из кассовых аппаратов, изготовленных Предприятием канцелярских машин — приспособленных для вывода данных,
- из электронного блока сбора данных,
- из перфоленточного перфоратора.

Устройство сбора данных — в настоящем исполнении — принимает информации от не более чем 10 кассовых аппаратов и наносит эти информации на перфоленту в виде восьмиканального кода IBM. Отдельные кассовые аппараты при вводе чисел выдают 13-значную информацию в блок сбора данных. Блок сбора данных следит за поступающей информацией и в случае дефекта дефектный кассовый аппарат исключается из числа работающих. Перфолента обрабатывается вычислительной машиной для обработки данных.

## DATENERFASSUNGSSYSTEM FÜR REGISTRIERKLASSEN DER TYPE BD 130

*A. Bohus—B. Ivánszky*

### Zusammenfassung

Durch die Erscheinung der Rechenmaschine wurde der Bau zeitgemässer Datenverarbeitungssysteme ermöglicht. Ihre hohe Betriebsgeschwindigkeit kann gut ausgenutzt werden, und dabei wird der Mensch auch von der mechanischen Arbeit bei der Datenverarbeitung befreit. Die hohe Betriebsgeschwindigkeit erfordert, dass die Daten vor der Verarbeitung erfasst und mit Hilfe irgendeines Mittels in konzentrierter Form zur Rechenanlage weitergeleitet werden.

Das im Forschungsinstitut der Elektroindustrie entwickelte Datenerfassungssystem kann für die Lösung der Datenverarbeitungsprobleme des Handels mit Hilfe von Rechenanlagen günstig verwendet werden.

Das Datenerfassungssystem für die Kassenmaschine BD 130 besteht aus drei Einheiten:

- Kassenmaschinen, die vom Unternehmen für Irodagépipari és Finommechanikai Vállalat (Büromaschinentechnik) gefertigt und für die Datenabrufung geeignet gemacht wurden
- elektronischer Datenspeicher
- Streifenlocher.

Das Datenerfassungssystem in der gegenwärtigen Ausführung kann Informationen von max. 10 Kassenanlagen gleichzeitig empfangen und kodiert mit einem 8-Kanal-IBM-Kode auf Band lochen. Die einzelnen Kassenmaschinen geben bei Dateneingabe eine 13-stellige Information in den Datenspeicher ein. Die einkommenden Informationen werden durch den Datenspeicher auf Fehler geprüft, bei deren Auftritt die fehlerhafte Kassenanlage ausser Betrieb gesetzt wird. Die Verarbeitung des Lochstreifens erfolgt auf einer Rechenanlage für Datenverarbeitung.

## BD 130 CASH-REGISTER DATA-LOGGING SYSTEM

*By A. Bohus—B. Ivánszky*

### Summary

The advent of computers permits the design of up-to-date data-logging systems. The high operating speed of computers can be fully exploited, relieving personnel of the troublesome work of data processing. High operating speeds require before processing the data should be gathered and transferred in concentrated form by some suitable means to a computer.

The data-logging system developed by the Research Institute of the Electrical Industry can be used to advantage in business for solving data-processing tasks by a computer.

The BD 130 cash-register data-logging system consists of three units:

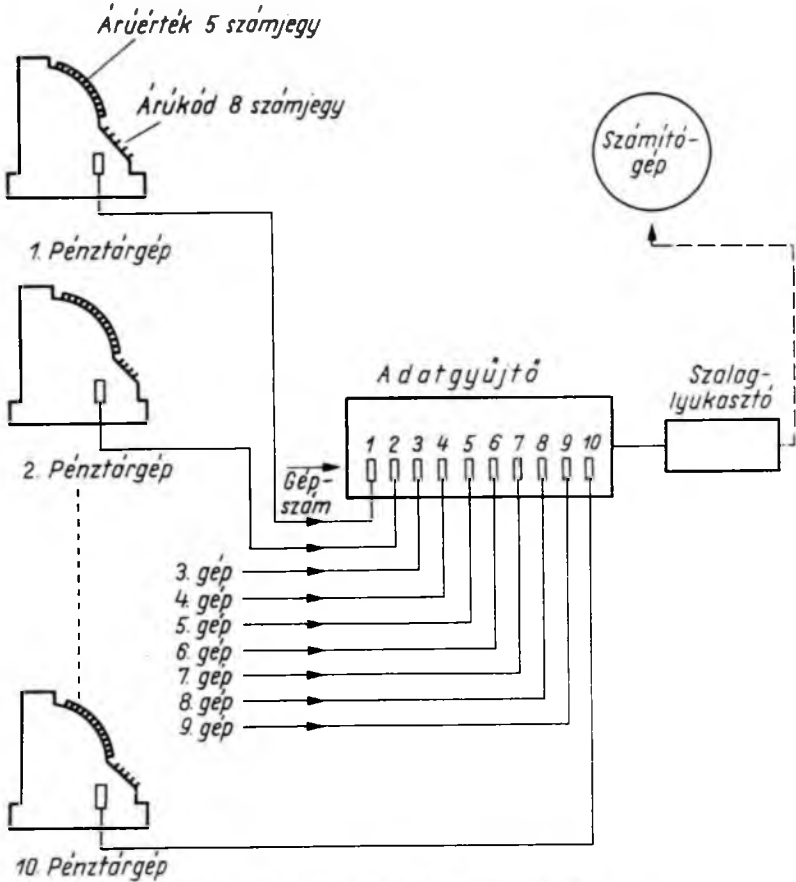
- cash-registers of the Irodagépipari és Finommechanikai Vállalat (Office Machine Co.) suitable for data reading
- electronic data-logger
- tape punch.

The data-logging system – in its present layout – simultaneously accepts information from up to 10 cash-registers and punches this information in IBM 8-channel code. Entering each item each cash-register simultaneously can pass a 13 digit information to the data-logger. Received information is monitored by the data-logger, and detecting an error, the defective cash-register is automatically excluded. Processing of the punched tape is made by a data-processing computer.

## Bevezetés

A kereskedelemben vannak olyan információk, amelyek ismerete nélkül el sem képzelhető a munkafolyamatok irányítása, az elvégzett munka értékelése, a jövő feladatainak meghatározása (pl. raktárkészlet és értékesítési kimutatások, statisztikák, vevőnyilvántartás stb.).

A létfontosságú információk nagymennyiségű adat feldolgozásának eredményeként születnek. Az adatok keletkezési helye legtöbbször nem egyezik meg a feldolgozás helyével, a feldolgozás gazdaságosan és gyorsan általában nem végezhető el a helyszínen, hanem az adatok összegyűjtésére, rögzítésére és a számítógéphez való továbbítására van szükség. Az elektronikus számítógépek alkalmazása azzal az előnnyel jár, hogy a feldolgozás rendkívül nagy sebességgel történik és szinte automatikussá válik.



13-1. ábra. A pénztárgép—adatgyűjtő rendszer blokkvázlata

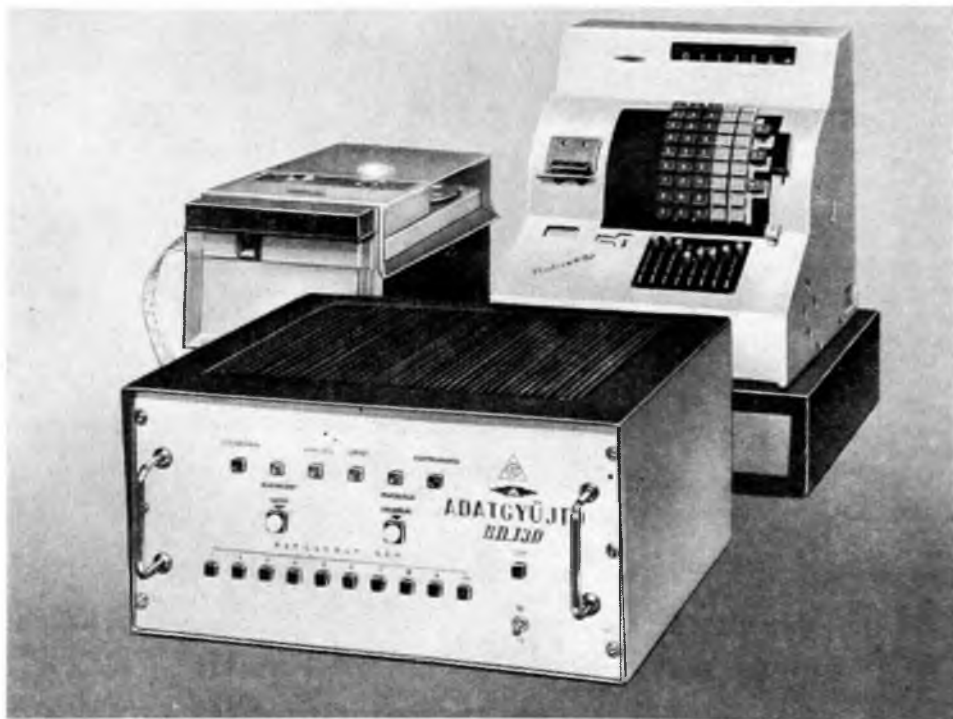
## 1. Az adatgyűjtő-rendszer általános jellemzői

Villamosipari Kutató Intézet és az Irodagépipari és Finommechanikai Vállalat kooperációban kifejlesztett adatgyűjtő-rendszere a kereskedelem adatfeldolgozási problémáinak megoldását könnyíti meg. A rendszer tíz pénztárgépből, adatgyűjtő elektronikából és szalaglyukasztóból áll. Az egységek dugaszolható kábellel csatlakoznak egymáshoz.

A pénztárgépeken ötszámjegyes áruérték- és nyolcszámjegyes árucikk-kód állítható be. A pénztárgép egyszámjegyes gépszámát az határozza meg, hogy az adatgyűjtő melyik csatlakozójába dugaszolják. A pénztárgép információja — gépszám, árucikk-kód, érték — sorrendben a pénztárgép indításával (tételbevittellel) az adatgyűjtőbe kerül. Több pénztárgép egyidejű indítása biztosítva van. Az adatgyűjtő a pénztárgépek információit összegyűjti és nyolccsatornás IBM kódban a szalaglyukasztóhoz továbbítja. A lyukszalag feldolgozása adatfeldolgozó számítógépen történik.

### 1.1 A RATUS A 30 pénztárgép

A pénztárgépet az Irodagépipari és Finommechanikai Vállalat a RATUS A 20 pénztárgépből fejlesztette tovább. A gép mechanikus működésű: a tételbevétel, az összegzés, az indikátorok működtetése mechanikusan, egy központi villamos motorral étesített tengelykapcsolat révén megy végbe.



13-2. ábra. Az adatgyűjtő rendszer építőelemei

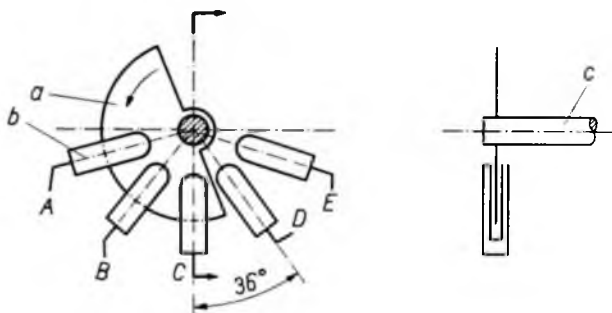


A pénztárgépbe épített elektronika csupán az indikátorok (számjegyekerek) állásának villamos kiolvasására való. A leolvasás résiniciátorokkal történik. A résiniciátor nagyfrekvenciás oszcillátor, amely rezeg, ha az érzékelőfej üres, és leáll, ha az érzékelőfejbe alumínium lemezt dugunk. A két állapot egymástól az áramfelvétel 1 : 3 arányú változása révén különböztethető meg.

Egy-egy indikátor leolvasásához öt résiniciátort használtunk. Az öt iniciátor érzékelőfeje egymáshoz képest  $36^\circ$ -os szögben helyezkednek el. Az indikátorral közös tengelyen levő alumínium lemez (lepke) az indikátor állásától függő számú érzékelőfejbe hatol be. Az *A...E* iniciátorokhoz kapcsolt logika az érzékelőfejek állapotának (áramfelvételének) megfelelően logikai 1 vagy 0 szintet ad ki. A számjegyek kódolása:

leolvasott számjegy	az iniciátorok állapota				
	A	B	C	D	E
0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0
3	1	1	1	0	0
4	1	1	1	1	0
5	1	1	1	1	1
6	0	1	1	1	1
7	0	0	1	1	1
8	0	0	0	1	1
9	0	0	0	0	1

*E kód előnyei:* a leolvasás nagyon egyszerű mechanikát igényel, a mechanikai pontatlanságokra az elrendezés nem érzékeny, a kód nagy redundanciája könnyű



13-3. ábra. A pénztárgép indikátorainak leolvasása résiniciátorokkal  
*a* az indikátorral együtt forgó alumínium lemez; *b* a résiniciátor érzékelőfeje;  
*c* az indikátorral közös tengely

hibafelderítést tesz lehetővé. A pénztárgépben az áruérték öt számjegyének leolvasása a 13-3. ábra szerinti elrendezésben történik. A RATUS A 30 pénztárgép abban tér el a szokványos mechanikus pénztárgépektől, hogy az áruérték mellett az árucikk is kódolható egy nyolcszámjegyű húzókaros beállítószervezettel. A számjegyek leolvasása szintén 5—5 db résiniciátorral történik: a 13-3. ábra szerinti megoldástól csak az az eltérés, hogy az iniciátor érzékelőfejek egy vonalban helyezkednek el, az érzékelőfejekbe behatoló alumínium lemez egyenes vonalban mozog.

A pénztárgépek információjának leolvasását csak tételbevitelkor végzi el az adatgyűjtő. Egyéb pénztárgépi művelet (tételösszeg, napi forgalom kiolvasása, napi részletösszeg) végzésekor az adatgyűjtő nem olvas le. Az adatgyűjtő indítására a

pénztárgép kb. 0,4 s időtartamú impulzust bocsát ki, ha a szimbólum kerék „+” (tételbevétel) állásban van, és a mechanikát mozgató fő, hajtó kerék egy teljes körülfordulásának kb. 60%-át már megtette. (Ekkor ugyanis a leolvasandó számjegyek már mechanikusan beálltak.)

A pénztárgép működtetőmotorjának áramköre külső villamos parancsra megszakítható, így az adatgyűjtő hibás működés esetén kireteszelheti a pénztárgépet a további forgalomból.

## **1.2 Az adatgyűjtő jellemzői**

### **1.21 Bemenetek**

A beköthető pénztárgépek száma max. 10. A pénztárgépekből leolvasott információt az adatgyűjtő belső memóriájában tárolja és onnan viszi lyukszalagra. Az elektronika foglaltsága hat pénztárgép egyidejű indítása esetén következik be. Ekkor a pénztárgépek reteszelődnek, további pénztárgépet indítani nem lehet, ezért információ nem vész el. A reteszelés addig tart, amíg valamelyik tároló tartalma lyukszalagra nem kerül.

### **1.22 Kimenet**

Az adatgyűjtő a szalaglyukasztó vezérlésével a pénztárgépek információját a tárolókból nyolcsatornás IBM kódban lyukszalagra viszi a következő sorrendben:

1. Szünet (térköz);
2. Gépszám;
3. Árukód legnagyobb helyérték;
- ...
10. Árukód legkisebb helyérték;
11. Áruérték legnagyobb helyérték;
- ...
15. Áruérték legkisebb helyérték.

Ha valamelyik pénztárgép valamelyik számjegy-áramköre hibás (a gépből a számjegy nem a választott kódban érkezik), a pénztárgép információjából egyetlen karakter sem kerül lyukszalagra.

Ha az adatgyűjtő valamelyik tárolója meghibásodik (paritáshiba), a hiba észlelésekor a lyukasztás a hibakarakter kiadásával véget ér. Pl.:

1. Szünet
2. Gépszám
3. Hiba

Ezután a lyukszalag a következő tároló tartalmával folytatódik.

Lehetőség van arra, hogy a 15 karakter elválasztására a karakterek közé egy, két vagy három tetszőleges (de IBM kódban értelmezhető), nem a pénztárgépből származó karaktert iktassunk be. A karakterek és beszúrási helyük az adatgyűjtőben könnyen beprogramozhatók.

Az 1. Szünet (térköz) karakter is könnyen átprogramozható más karakterré.

### 1.23 Hibajelzések, reteszések

Az adatgyűjtő a pénztárgépek indítását reteszeli, ha:

- a lyukszalaglyukasztó nincs bekapcsolva vagy hibás;
- a tárolók mind foglaltak, ezért további információt nem képesek befogadni;
- valamelyik tároló kiolvasásakor paritáshiba keletkezett;
- az elektronika valamennyi tárolója hibás;
- az illető pénztárgép hibás.

A reteszelés megszűnik:

- a lyukasztó bekapcsolásával, megjavításával;
- azonnal, amint valamelyik tároló tartalma lyukszalagra kerül;
- a paritáshiba nyugtázásával, ilyenkor a hibás tároló reteszeli;
- az elektronika megjavításával;
- a hibás pénztárgép megjavításával.

### 1.24 Az információ megőrzése

- hibás pénztárgép információját a hiba észlelésekor (a pénztárgép reteszlődésekor) az indikátorok állásáról le kell jegyezni;
- paritáshiba esetén a lyukszalagról vissza kell keresni a gépszámot és a gép indikátorainak állását fel kell jegyezni.

### 1.3 A szalaglyukasztó jellemzői

Típusa: FACIT 4070

Sebessége: 75 karakter/s.

Ha a nyolc bemeneti csatorna (*CH1...CH8*) közül bármelyikre logikai 1 kerül, akkor a csatornához tartozó lyukpozíció lyukasztási parancsra kilyukasztódik. A *CH9* csatorna az órányom (szinkronlyuk) bevitelére szolgál.

A lyukasztóképes állapotot a *PR* kimenet 1 szintje jelzi. A lyukasztási parancs a *PI* bemenetre adandó (logikai 1).

Hibajegyzések: TAPE LOW (+6 V), ha a szalag kifogyott,

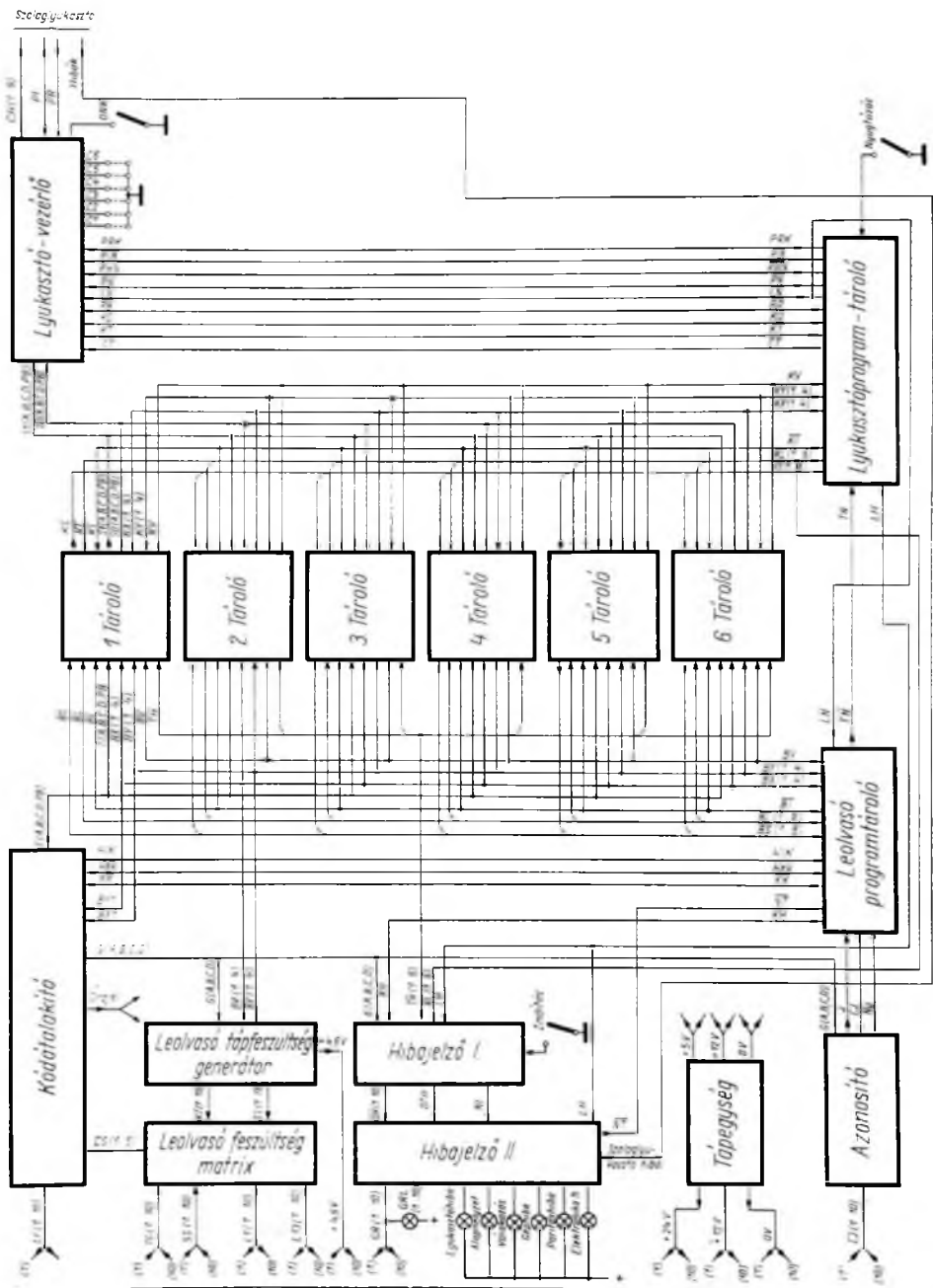
ERROR (+6 V), ha a szalag megfeszült vagy elszakadt.

## 2. Az adatgyűjtő működése

Az adatgyűjtő működése három fő munkafázisra osztható:

- a pénztárgépek információjának leolvasása és beírása;
- a beírt információ lyukszalagra lyukasztásának vezérlése;
- az adatgyűjtőhöz csatlakozó pénztárgépek információjának, a szalaglyukasztó üzemi állapotának és az adatgyűjtő belső áramköreinek állandó ellenőrzése, továbbá a hibás működés esetén a hibajelzések előállítás.

Az adatgyűjtő működése a 13-4. ábra alapján követhető.



Péntárgyek (1..10)

13-4. ábra. A péntárgép elektronikájának blokkvázlata

## 2.1 A pénztárgépek információjának leolvasása és beírása

### 2.11 A leolvasásban és a beírásban résztvevő információvezetékek

$\overline{LJ} 1 \dots \overline{LJ} 10$

A pénztárgépek indításakor ezeken a vezetékeken érkezik az adatgyűjtőbe az indító (bejelentkező) jelzés (kb. 0,4 s időtartam, 0 szintű).

$\overline{J}$

Az azonosítóáramkör a  $\overline{J}$  vezetéken logikai szinten jelzi, hogy valamelyik pénztárgép az információjának a leolvasását kéri.

$\overline{CJ}$

Ezen a vezetéken a leolvasóprogram-tároló a leolvasási igényt bejelentő pénztárgép címét (csatlakozójának sorszámat) kéri ki az azonosítótól.

$\overline{G_A}, \overline{G_B}, \overline{G_C}, \overline{G_D}$

Az azonosító a leolvasandó pénztárgép címét BDC-kódban ezeken a vezetékeken továbbítja a csatlakozó áramköri egységekhez.

$\overline{NY}$

A leolvasó programtároló  $\overline{NY}$  vezetéken 0 szinttel jelez, ha az éppen soron levő pénztárgép információjának leolvasása megtörtént.

$\overline{LN}$

A lyukasztóprogram-tároló, ha éppen egy számjegy lyukasztása folyamatban van, az  $\overline{LN}$  vezetékre 0 szintet ad, ezzel meggátolja a leolvasási ciklus indítását.

$\overline{TN}$

Ha a leolvasási ciklus elkezdődött, akkor  $\overline{TN}$  vezetéken a leolvasóprogram-tároló a ciklus idejére letiltja a további számjegyek lyukasztását.

$\overline{BS} (1 \dots 6)$

A szabad (információt fogadni képes) tároló szabad voltát a megfelelő sorszámu  $\overline{BS}$  vezetékre adott 0 szinttel jelzi.

$\overline{BL} (1 \dots 6)$

A szabad tárolót a megfelelő sorszámu  $\overline{BL}$  vezetéken foglalja le a leolvasóprogram-tároló.

$\overline{BX} 1 \dots \overline{BX} 4, \overline{BY} 1 \dots \overline{BY} 4$

A tároló mátrix elrendezése. A soron következő számjegy tárolási helyét a  $\overline{BX} 1 \dots \overline{BX} 4, \overline{BY} 1 \dots \overline{BY} 4$  beíró címvezetékek logikai 1 szinttel koordinátság szerint jelölik ki. Ezek a vezetékek határozzák meg azt is, hogy melyik a leolvasandó számjegy.

$\overline{KT} 1 \dots \overline{KT} 10$

A gépcsatlakozónkénti leolvasófeszültség. Az inaktív (tehát címzetlen)  $\overline{KT}$  feszültség nagysága +3 V. A megcímzett  $\overline{KT}$  feszültség +4,6 V-ra nő. A megcímzett feszültség sorszámat a leolvasó tápfeszültség generátor a  $\overline{G}$  gépcím BCD—decimális átkódolásával állítja elő.

$\sum \overline{L} 1 \dots \sum \overline{L} 13$

A számjegyenkénti leolvasást vezérlő jelek. A  $k$ -adik számjegy leolvasásakor a  $\sum \overline{L} k$  vezetéken logikai 0, a többi  $\sum \overline{L}$  vezetéken logikai 1 található. Az aktív  $\sum \overline{L}$  vezeték sorszáma a  $\overline{BX}, \overline{BY}$  tárolócím  $xy$ -decimális átkódolásával áll elő.

$\overline{L} 1 \dots \overline{L} 13$

A gépcsatlakozókra ezeken a vezetékeken adódik ki a leolvasó feszültség. A gépcsatlakozót a  $\overline{G}$  gépcím megcímzett  $\overline{KT}$  feszültség, a gépcsatlakozón belüli  $\overline{L} 1 \dots \overline{L} 13$  vezetéket a  $\overline{BX}, \overline{BY}$  tároló címből előállított  $\sum \overline{L} 1 \dots \sum \overline{L} 13$  jel valamelyike koordinátság szerint jelöli ki. Az  $n$ -edik pénztárgép  $k$ -adik számjegyének leolvasásakor az  $n$ -edik csatlakozó  $\overline{L} k$  ( $\overline{KT} n = 4,6 \text{ V} \sum \overline{L} k$  logikai 0) pontjára leolvasófeszültség adódik és a megfelelő 5-ös résiniciátor-csoport működni képes.

$\overline{LF} 1 \dots \overline{LF} 10$

Ha a pénztárgép nincs leolvasás alatt, akkor a sorszámanak megfelelő  $\overline{LF}$  vezetékre 0 adódik, és a pénztárgépből az adatgyűjtőbe való információáramlás reteszeli. A pénztárgép leolvasásának megkezdésekor a kódátalakító a megfelelő sorszámu  $\overline{LF}$  vezetékre adott 1-gyel a pénztárgépből jövő információ útját szabaddá teszi. Az aktív  $\overline{LF}$  vezeték sorszáma a  $\overline{G}$  gépcím BDC—decimális átkódolásával áll elő.

$\overline{IS} \dots \overline{IS} 5$

A pénztárgépben levő 5-ös iniciátorcsoport iniciátorain a beállított számjegyeknek megfelelően áram folyik. Az áramsintkülönbségeket a pénztárgépekben elhelyezett kiolvasóáramkör logikai szintekké alakítja át. A számjegy öt bites Johnson-kód formájában az  $\overline{IS} \dots \overline{IS} 5$  vezetéken érkezik meg az adatgyűjtőbe.

$\Sigma IS \dots \Sigma 5S$

Az egyes pénztárgépek  $IS \dots 5S$  vezetékei diódás kapukon át a  $\Sigma IS \dots \Sigma 5S$  gyűjtővezetéseken egyesülnek.

$\overline{KK}$

A kódátalakító az ötbites Johnson-kódot paritásbittel kiegészített BCD-kóddá alakítja át. A kódátalakítást a leolvasóprogram-tároló a  $\overline{KK}$  vezetékre adott 0 szinttel indítja.

$\overline{HeK}$

A kódátalakító a  $IS \dots 5S$  vezetékeken bejövő információt ellenőrzi. Ha az a Johnson-kódnak megfelel, akkor a  $\overline{HeK}$  vezetékre 0 szintet kapcsol.

$\overline{HiK}$

Ha a pénztárgép információja hibás (a Johnson-kódnak nem felel meg), akkor a kódátalakító a  $\overline{HiK}$  vezetékre 1 szintet kapcsol.

$T_A, T_B, T_C, T_D, PB$

A kódátalakítás eredményeképpen a bejövő számjegy paritásbittel kiegészített BCD-kódban ezeken a vezetékeken továbbítódik a tárolókhoz. A paritásbit ( $PB$ ) a  $T_A \dots T_D$  vezetékek 1-eseit páratlanra egészíti ki.

$\overline{BI}$

Ha a kódátalakítás befejeződött ( $\overline{HeK}$  0-ba vált), a leolvasóprogram-tároló a  $\overline{BI}$  vezetéken a tárolóhoz beíróimpulzust küld, ezzel a  $T(A, B, C, D, PB)$  számjegy beíródik a tárolóba a  $\overline{BX}, \overline{BY}$  vezetékek által meghatározott címre.

$BV$

Ha a számjegyek leolvasása és beírása hiba nélkül megtörtént, akkor a leolvasóprogram-tároló a  $BV$  vezetékre adott 1 szintű impulzussal a tárolót további tárolásra foglalttá teszi ( $\overline{BS}$  1-be vált)  $BV$  impulzusa  $\overline{KS}$  vezetéket (l. 2.2 pont) 0 szintűvé teszi, jelezve a lyukasztóprogram-tárolónak, hogy van lyukasztandó információ.

## 2.12 A leolvasás és beírás folyamata

### Azonosítás

Ha a pénztárgépbe tételt ütnek és az indítógombot megnyomják, akkor a pénztárgépben elhelyezett kiolvasóáramkörben kb. 0,4 s időtartamú 0 szintű indítóimpulzus keletkezik ( $\overline{LJ}$ ). Ez az indítóimpulzus a gépcsatlakozón keresztül és a gépcsatlakozónak megfelelő sorszámú  $\overline{LJ}$  vezetéken az azonosítóáramkör körbeforgó keresőláncára érkezik, amely rendre megvizsgálja az  $\overline{LJ}$  bemeneteket és tovább forog, ha a bemenet 1 szintű, valamint ha a bemenet 0 szintű, de már az előzőekben „lekezelt” indítóimpulzus van jelen. Ha a 0 szintű, de még nem „nyugtázott” bemenetet megtalálta, akkor a keresés megáll. Az azonosítóáramkör az aktív indítóvezetéknek megfelelő bináris számot (gépcím) belső memóriájában rögzíti és a  $J$  vezetéken 1 szinten jelzi, hogy az egyik pénztárgép leolvasási igényt jelentett be. Az azonosítóáramkör ezután mindaddig nyugalomban marad, amíg a  $\overline{Ny}$  vezetéken a leolvasóprogram-tároló a leolvasási ciklus végét nem jelzi. A leolvasási ciklus végén érkező  $\overline{Ny}$  0 szintű nyugtázóimpulzusra az azonosító a bemeneten levő indítóimpulzust „lekezeltnek” veszi, attól függetlenül, hogy az indítóimpulzus esetleg még nem szűnt meg és továbbindul másik indítóimpulzus keresésére. A „lekezelt” indítóimpulzus többé nem jelentkezik indítóimpulzusként.

### A leolvasás előkészítése. A ciklus kezdete

A  $J$  vezetéken előállított leolvasási igény indítja a leolvasóciklust. A leolvasóciklus akkor tud elindulni, ha van szabad tároló (legalább egy tároló  $\overline{BS}$  vezetéke 0), és a tárolók kiolvasásra nincsenek igénybevéve, azaz lyukasztás éppen nem tör-



ténik ( $\overline{LN} = 1$ ). Ha ezek a feltételek nem teljesülnek, a leolvasóprogram-tároló vá-  
 rakozik. A várakozás a soron következő számjegy kilyukasztásáig tart, ha egyéb-  
 ként van szabad tároló, ill. a tárolótartalom teljes kiolvasásáig tart, ha nincs szabad  
 tároló. Ha a leolvasási ciklus megindul, első lépésben a számjegyek lyukasztását le-  
 állítja ( $TN$  0-ra vált). Így a leolvasási ciklusnak elsőbbsége van, de ez a ciklusidő és a  
 lyukasztási idő összehasonlításával szükségesnek látszik. A leolvasási ciklus következő  
 lépése a szabad tároló megkeresése. A leolvasóprogram-tároló keresőáramköre rendre  
 megvizsgálja a tárolók  $\overline{BS}$  vezetékeit és ha 0-t talál, megáll. A szabad tároló beírás  
 lefoglalására a leolvasóprogram-tároló a megfelelő  $\overline{BL}$  vezetékre 0-t kapcsol. A szabad  
 tároló lefoglalásával egyidőben a  $CJ$  vezetékre adott 1 szinttel kikéri az azonosító-  
 áramkörtől az indított gép címét, amely bináris formában a  $G(A, B, C, D)$  vezetékre  
 továbbítódik. A beérkező gépcímről a kódátalakító a megfelelő sorszámú  $LF$  vezetékre  
 1-et ad, ezzel szabaddá teszi a pénztárgépből beérkező információ útját, a leolvasó-  
 tápfeszültség generátora a gépcímnek megfelelő sorszámú  $KT$  feszültség +3 V-ról  
 +4,6 V-ra emelésével előkészíti a számjegyek lekérdezését. Így majd a  $BX$ — $BY$  tároló-  
 cím változásával az indított gép csatlakozójára kiadódik az  $L1 \dots L13$  számjegy-  
 lekérdező leolvasófeszültség.

### *A számjegyek leolvasása és beírása*

A leolvasóprogram-tároló alaphelyzetből indul, először  $BX1, BY1$  tárolócímre  
 ír be információt.  $BX1, BY1$  cím esetén egyetlen  $\sum LI$  vezeték sem aktív (mindegyik  
 1 szintű), így számjegylekérdezés nincs. A leolvasóprogram-tároló  $\overline{KK} = 0$  átkérő-  
 jelére a kódátalakító a  $T(A, B, C, D, PB)$  vezetékeken a gépcímet küldi a tárolókba.  
 A gépcím után  $Hek = 0$  helyes kódjelzés adódik a leolvasóprogram-tárolóba, amely  
 ezt érzékelve  $\overline{BI} = 0$  beíróimpulzussal a lefoglalt tárolóba beírja a gépcímet. A le-  
 olvasóprogram-tároló a  $BX1, BY2$  tárolócímre lép tovább. Ekkor  $\sum LI$  vezeték  
 1-ből 0-ba vált, a gépcímmel megcímezett  $KT$  feszültség által kijelölt gépcsatlakozó  $LI$   
 pontjára az 1. számjegy (árúkdó, legnagyobb helyérték) leolvasófeszültsége adódik.  
 A pénztárgépben a kódadók beindulnak és a pénztárgép kiolvasóáramköre az első  
 számjegyet küldi Johnson-kódban a gépcsatlakozó  $IS \dots 5S$  pontjára. Az információt  
 a leolvasófeszültség-mátrix a  $\sum IS \dots \sum 5S$  gyűjtővezetékeken a kódátalakítóhoz továb-  
 bitja. A leolvasóprogram-tároló  $\overline{KK} = 0$  átkérőjelére megtörténik a Johnson-kód—  
 paritásbittel kiegészített BCD-kód átalakítás, az első számjegy kiadódik a  $T(A, B,$   
 $C, D, PB)$  vezetékekre.

A kódátalakító megvizsgálja, hogy a beérkezett számjegy a Johnson-kódnak  
 megfelel-e, és ha a számjegy jó, akkor ezt a  $Hek$  vezetékre adott 0 jelzéssel jelzi a le-  
 olvasóprogram-tárolónak. A leolvasóprogram-tároló ezt érzékelvén,  $\overline{BI} = 0$  beíró-  
 impulzussal az első számjegyet beírja a tárolóba, majd a  $BX1, BY3$  címre lép tovább.  
 Itt a második számjegy leolvasása kezdődik, mert  $\sum L2$  0 lesz és így a gépcsatlakozó  
 $L2$  pontjára adódik leolvasófeszültség. A második számjegy, beérkezve az  $IS \dots 5S$   
 vezetékre a  $\sum IS \dots \sum 5S$  vezetékeken, a kódátalakítóhoz továbbítódik. Ha az  $Hek = 0$   
 jelzéssel válaszol, akkor a leolvasóprogram-tároló a  $T(A, B, C, D, PB)$  vezetéken  
 levő második számjegyet is  $\overline{BI} = 0$ -val beírja a tárolóba, majd a 3. számjegy leolvasá-  
 sára a  $BX1, BY4$  címre lép. Ha a pénztárgép áramkörei jól működnek, azaz vala-  
 mennyi számjegy a Johnson-kódnak megfelelően érkezik be, akkor a számjegyek  
 leolvasása és tárolása egészen a  $BX4, BY2$  címre beírt utolsó számjegyig (értékkód  
 legkisebb helyérték) a leírtak szerint megy végbe.

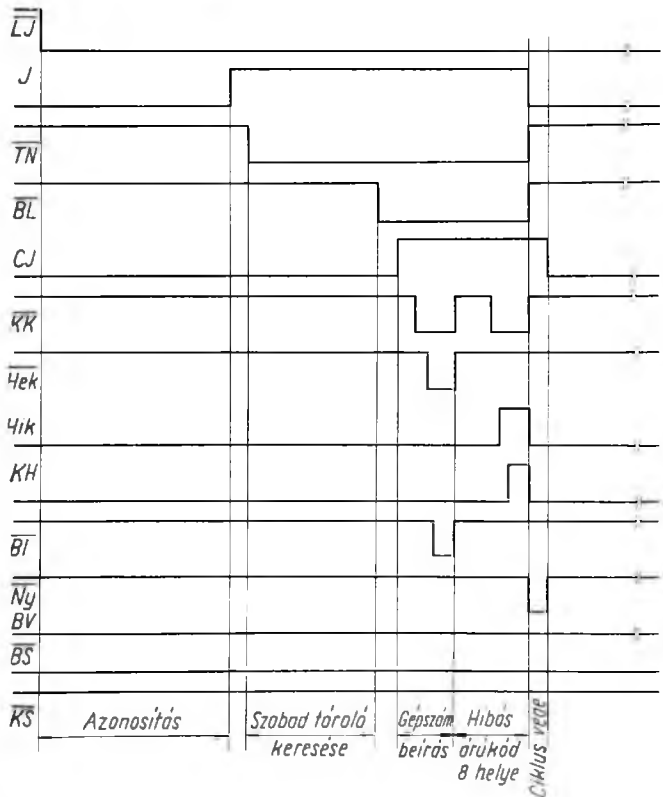


### A leolvasóciklus vége

Az utolsó számjegy leolvasása után a leolvasóprogram-tároló  $BX 4$ ,  $BY 2$  címre érkezik. Itt már számjegyleképező feszültség nem adódik ki, kimegy azonban a tárolók közösített vezetékére a  $BV = 1$  beírás vége jelzés. Ennek hatására a  $\overline{BL}$  vezetéken 0 szinttel lefoglalt tároló  $\overline{BS}$  kimenete 0-ból 1-be,  $\overline{KS}$  kimenete 1-ből 0-ba vált.  $\overline{BS} = 1$ -gyel a tároló a legközelebbi szabad tároló keresésekor jelzi a leolvasóprogram-tárolónak, hogy beírása foglalt,  $\overline{KS} = 0$ -val viszont a lyukasztóprogram-tárolónak hozza tudomására, hogy lyukasztandó információt tartalmaz. A leolvasóprogram-tároló utolsó tevékenysége, hogy  $\overline{Ny} = 0$  nyugtázójelzést küld az azonosítóáramkör felé. Az azonosítóáramkör erre a jelzésre a pénztárgép indítójelét „lekezelt”-nek veszi és megindul újabb indítójel keresésére. A leolvasóprogram-tároló ezután alaphelyzetbe kerül (nullázódik),  $\overline{BL}$  vezeték 1-be váltásával a tároló lefoglalása megszűnik,  $CJ$  újra 0 szintű lesz, így az azonosító az aktuális gépcímet tovább nem adja,  $\overline{TN} 1$  lesz, amelynek hatására a lyukasztóprogram-tároló a lyukasztási ciklust elkezdheti.

### Hibás számjegy

Ha a számjegyek leolvasása közben a pénztárgépből nem Johnson-kódban írt (hibás) számjegy érkezik, akkor a kódátalakító a leolvasóprogram-tároló  $\overline{KK} = 0$  átkérőjelére nem  $\overline{Hek} = 0$ -val, hanem  $Hik = 1$ -gyel (hibás kóddal) válaszol. Ez a jel-



13-6. ábra. A leolvasóciklus idődiagramja, ha a pénztárról leolvasott gépszámjegy hibásan érkezett meg

zés mutatja, hogy a pénztárgép egyik számjegy-áramkör — vagy a kiolvasóáramkör, vagy az összekötőkábel — hibás, mert a számjegy nem érkezett helyesen. A  $Hik = 1$  jelzésre a leolvasóprogram-tároló  $KH = 1$  kódhibajelzést továbbít a hibajelző áramkörnek, amely a  $G(A, B, C, D)$  vezetéken levő aktuális gépcímet átveszi és a hibás pénztárgépet a további működésből kireteszeli (l. 2.32 pont). A továbbiakban a leolvasóprogram-tároló alaphelyzetbe kerül,  $CJ = 1$  megszűnik, amivel az aktuális gépcímátkérés megszűnik,  $BL$  0-ról 1-be vált, amivel a tároló lefoglalása befejeződik,  $TN$  1-be vált, így a korábban helyesen beírt információk lyukasztása megkezdődhet. Minden úgy zajlik le, mintha az információ leolvasása és beírása rendben ment volna végbe, csak egy különbség van, a tárolóba nem megy  $BV = 1$  jelzés. Így a tároló beírásra (átírásra) továbbra is szabad.  $KS$  nem vált 0-ba, így a lyukasztóprogram-tároló a tároló tartalmát nem viszi lyukszalagra.

## 2.2 A pénztárgépekről leolvasott és az adatgyűjtőben tárolt információ lyukszalagra lyukasztása

### 2.21 A tárolók tartalmának kiolvasásában és a lyukszalagra lyukasztásban szerepet játszó információvezetékek

$TN$

A leolvasóprogram-tároló a  $TN$  vezetékre adott 0 szinttel jelzi, hogy egy leolvasási ciklus folyamatban van és a soron következő számjegyet lyukszalagra vinni még nem lehet.

$KS$

A tárolók a hozzájuk tartozó  $KS$  vezetéken 0-val jelzik a lyukasztóprogram-tárolónak, hogy lyukszalagra viendő információt tartalmaznak.

$KL$  (1...6)

A kiolvasandó tárolót a megfelelő sorszámú  $KL$  vezetéken 0 szinttel foglalja le a lyukasztóprogram-tároló.

$LN$

Ha a lyukasztóprogram-tároló egy számjegy lyukszalagra vitelét megkezdte, a számjegy kilyukasztásának időtartamára az  $LN$  vezetékre adott 0 szinttel tiltja az új leolvasási ciklus elkezdését.

$PR$

A lyukszalaglyukasztó a  $PR$  vezetékre adott 1 szinttel jelzi, hogy a  $CH 1 \dots CH 9$  bemeneti csatornáira adott információ lyukasztására kész. A  $PI$  lyukasztási parancsra  $PR$  logikai 0-ba vált és egészen addig 0-ban marad, amíg a lyukasztás ténylegesen be nem fejeződik. (FACIT 4070 esetén kb. 14 ms-ig.)

$PRK$

A lyukszalaglyukasztó az elektronikához logikai szinttájtájszó kapcsolásokkal illeszkedik. A  $PRK$  vezetéken a  $PR$  információ található, csak mások a logikai szintjeinek megfelelő tényleges feszültségszintek.

$KX 1 \dots KX 4, KY 1 \dots KY 4$

A mátrix elrendezésű tárolóban a kiolvasandó információ helyét a lyukasztóprogram-tároló egy-egy  $KX$ - $KY$  vezetékre adott logikai 1 szinttel koordinátaszerűen jelöli ki.

$KI$

A lyukasztóprogram-tároló a tárolóból a  $KK, KY$  címen a  $KI$  vezetékre adott 0 szintű impulzussal végzi el a kiolvasást.

$SI(A, B, C, D, PB); SO(A, B, C, D, PB)$

A tárolókból az információk ezekre a közös vezetékekre gyűlnek össze és továbbítódnak a lyukasztó vezérlőáramköréhez. A paritásbittel kiegészített BCD-kódnak megfelelően öt pár gyűjtővezeték van. A  $KI$  kiolvasóimpulzus ideje alatt az összetartozó  $SI, SO$  vezetékeken a logikai szintek egymás negáltjai. Ha egy adott bitpozícióban logikai 1-et tároltunk, akkor kiolvasáskor a bitpozíció  $SI$  vezetéke 0,  $SO$  vezetéke 1 szintű, 0 tárolása esetén  $SI$  1,  $SO$  0 szinten van. Ha a tárolót nem olvassuk ki, valamennyi gyűjtővezeték logikai szintje 1.

### PHN

Beírásakor a kódátalakító áramkör a beírandó információt paritásbittel egészítette ki. A tárolóból kiolvasott információ paritáshelyességét a lyukasztó vezérlőáramkör ellenőrzi. Ha paritáshiba nincs, akkor ezt a tényt a lyukasztóprogram-tárolónak a PHN vezetékre adott 0 szinten jelzi.

### PH

Ha a kiolvasott információban az 1-esek (vagy 0-k) száma páros, akkor az információ nem egyezik meg a beírt információval, paritáshibája van. Ebben az esetben a lyukasztó vezérlő a paritáshibát a PH vezetékre adott 0 szinttel jelzi a lyukasztóprogram-tárolónak.

### PI

Ez a szalaglyukasztó lyukasztási parancsának bemenete. Ha a lyukasztóvezérlő a PI vezetékre 1 szintet ad, akkor a szalaglyukasztó a CH 1...CH 9 bemeneti csatornájára adott információt belső memóriájába bevételezi és lyukszalagra lyukasztja.

### PIB

A lyukasztóprogram-tároló a szalaglyukasztónak a lyukasztóvezérlőben elhelyezett negáló szintátjátszón keresztül ad PI lyukasztási parancsot. A szintátjátszó bemenete PIB.

### CH 1...CH 8

A szalaglyukasztó információs bemenetei. A lyukszalagon egy adott lyukpozícióban akkor keletkezik lyuk, ha a lyukasztási parancs megérkezése előtt a lyukpozícióhoz tartozó bemeneti csatorna 1 szinten volt.

### CH 9

A szalaglyukasztó órányom (szinkronlyuk) bemenete. A szalaglyukasztó akkor lyukaszt szinkronlyukat, a CH 9 csatorna akkor 1 szintű, ha az ONK órányomkapcsoló t<sub>e</sub> van kapcsolva

### CT

Ha a tárolóból kiolvasott információk helyett mást kell kiadni, vagy az adott KX-KY címen levő információ előtt a lyukasztóvezérlőben külön beprogramozott karaktert kell lyukszalagra vinni akkor a lyukasztóvezérlő a CT vezetékre adott 0 segítségével a lyukasztóprogram-tárolót a tárolókiolvasás megszüntetésére és az adott címről való ellépés letiltására utasítja.

### KT

Ha a tárolókból jövő (külön programozott) karakter lyukasztási ciklusa végetért, akkor a lyukasztóprogram-tároló a lyukasztó vezérlőáramköre felé a KT vezetéken 1 szintű nyugtázójelzést küld.

### BP

Ha a tárolóból való kiolvasás folyamán paritáshibás információ érkezik a lyukasztó vezérlőáramkörbe (és ezt az a PH vezetéken jelzi), akkor a lyukasztóprogram-tároló a BP vezetékre adott 0 szinttel a lyukasztóvezérlőt a tároló információja helyett IBM 8-kódban értelmezett hibajelzésnek szalagra való lyukasztására utasítja.

### C 1...C 6

Ha az adott KX-KY címen levő beírt információ előtt a lyukasztóvezérlőben diódákkal programozott (nem a pénztárgépből származó) karaktert kell lyukszalagra vinni, akkor a C 1, C 2 vezeték-párt nem 0-ra, hanem a szükséges KX-KY címvezetékre kell kapcsolni. Két külön karakter esetén még C 3, C 4 is, három esetén mind a hat C vezeték beköthető. Ily módon a pénztárgép információja közé tetszőleges helyre három tetszőleges karakter beiktatható, csak arra kell vigyázni, hogy a növekvő sorszámú C vezetékre növekvő sorszámú címvezeték kerüljön. A nem használt C vezeték 0-ra kötendő.

### KV

Ha a tárolóból valamennyi számjegy lyukszalagra került, akkor a lyukasztóprogram-tároló a KV vezetékre 1 szintet ad. Ennek hatására a tároló beírásra felszabadul (B5 0 lesz), kiolvasásra foglaltá válik (K5 1 lesz).

### KO

Ha valamennyi kiadandó információ lyukszalagra került, a lyukasztóprogram-tároló alap helyzetbe vezérlődik. Ilyenkor a KO vezetékre adott 1-gyel a lyukasztóvezérlőt is alaphelyzetbe téríti.

### LH

Paritáshiba esetén a lyukasztóprogram-tároló reteszeli. A reteszelt állapotot az LH vezetékre adott 1 szinttel jelzi a hibajelző áramkörnek.

### *A kiolvasás előkészítése*

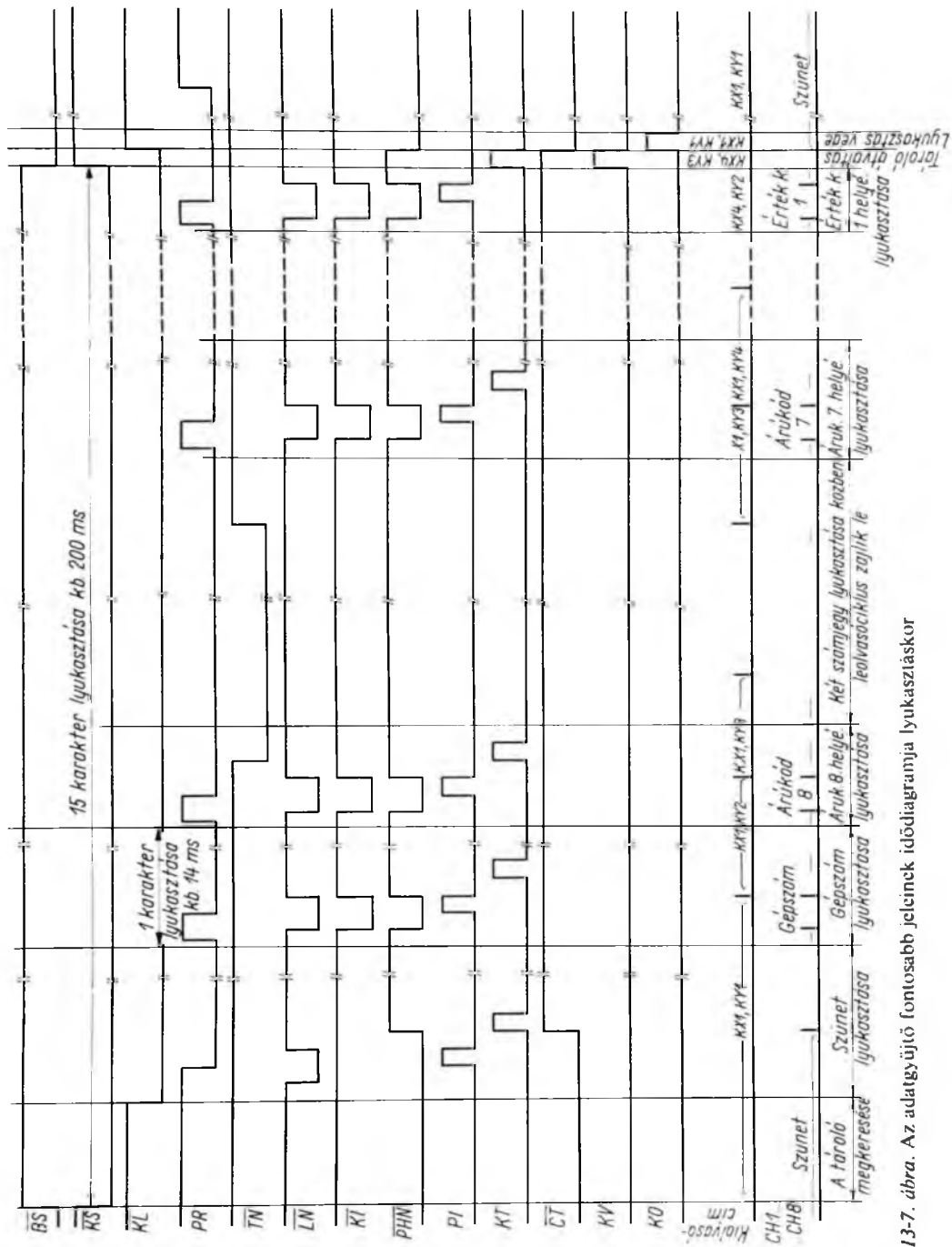
Ha valamelyik tárolóban kiolvasandó információ van, akkor a tároló a hozzárendelt  $\overline{KS}$  vezetéken logikai 0 szintet küld a lyukasztóprogram-tárolóba. A lyukasztóprogram-tároló érzékelve, hogy van lyukasztandó információ, elindítja keresőáramkörét, amely sorban megvizsgálja az egyes tárolók  $\overline{KS}$  vezetékeit és a 0 szintűnek talált  $\overline{KS}$  vezetéken megáll. Megállapítja a  $\overline{KS}$  vezeték sorszámát és az ugyanolyan sorszámú  $\overline{KL}$  vezetékre 0-t kapcsol. Ezzel kiolvasásra lefoglalja a tárolót.

### *A Szünet (térköz) karakter lyukasztása*

A tároló lefoglalása után megkezdődik a Szünet (5. csatornán lyuk) karakter kiadása. Ha éppen nincs leolvasási ciklus ( $\overline{TN} = 1$ ) és a szalaglyukasztó lyukasztóképes ( $\overline{PR} = 1$ ), a lyukasztóprogram-tároló belép az első lyukasztási ciklusba. A ciklus első ütemében  $\overline{LN} = 0$ -val megtiltja a leolvasóprogram-tárolónak, hogy új leolvasási ciklust kezdjen. A lyukasztóvezérlő áramkör és a lyukasztóprogram-tároló  $\overline{KX}$ – $\overline{KY}$  címeket előállító gyűrűs számláncain még alaphelyzetben vannak. A lefoglalt tárolóhoz a  $\overline{KX}$  1,  $\overline{KY}$  1 kiolvasócím továbbítódik, de a  $\overline{KI} = 0$  kiolvasójel nem tud kiadódni, mert a még alaphelyzetben levő lyukasztóvezérlő a  $\overline{CT}$  vezetékre 0 szintű tiltójelet ad. A kiolvasójel hiánya miatt a tároló valamennyi  $\overline{SI}$  és  $\overline{SO}$  vezetéke 1 szintű, így a lyukasztóvezérlő a tárolótól nem kap információt. Az első karaktert maga a lyukasztóvezérlő juttatja a  $\overline{CH}$  1... $\overline{CH}$  8 csatornára. Az első karakter a lyukasztóvezérlőben diódákkal programozható, az adatgyűjtő kívánságra jelenleg a  $\overline{CH}$  5 csatornát lyukasztja, amely IBM normál kód szerint Szünet. A lyukasztóvezérlő a  $\overline{PHN} = 0$  jelzéssel indítja a lyukasztást. Ezt érzékelve a lyukasztóprogram-tároló a szalaglyukasztónak kiadja a  $\overline{PI} = 1$  lyukasztási parancsot (a ciklus második üteme), a lyukasztás megindul.  $\overline{PR}$  1-ből 0-ba vált. A lyukasztás tartama alatt (FACIT 4070 esetén kb. 14 ms)  $\overline{PR} = 0$  szintű marad. Mivel egy pénztárgép teljes információjának leolvasása és beírása ennél rövidebb időt vesz igénybe, ezért  $\overline{PR}$  0-ba váltásakor a lyukasztóprogram-tároló az  $\overline{LN}$  vezetékre újra 1 szintet ad (a ciklus harmadik üteme), tehát ha van indított pénztárgép, akkor a leolvasóprogram-tároló új leolvasási és beírási ciklust kezdhet el, sőt be is fejezheti addig, amíg a szalaglyukasztó a lyukasztással el nem készül. A lyukasztóciklus következő (4.) ütemében a lyukasztóprogram-tároló a kiolvasócímzést változtató számláncainak továbbléptető impulzust adna, de az impulzus nem juthat el a számláncokig, mert még a lyukasztóvezérlőtől a  $\overline{CT} = 0$  kiolvasás és címzéspéptetés-tiltás adódik, így a tároló kiolvasó címe továbbra is  $\overline{KX}$  1,  $\overline{KY}$  1 marad. A lyukasztóciklus utolsó üteme a  $\overline{KT} = 1$  nyugtázójel kiadása. Erre a jelre a lyukasztóvezérlő első karaktert kiadó áramkörei lezárnak, a  $\overline{CT}$  vezetéken a kiolvasást és a címzéspéptetés-tiltást előidéző 0 szint megszűnik. A következő lyukasztóciklusban már kiolvashatók lesznek a tárolók és a 4. ütemben változni tud a tárolócímzés.

### *A tárolóból kiolvasott számjegyek lyukasztása*

A második lyukasztóciklus akkor kezdődhet, ha a szalaglyukasztó az első karakter lyukasztását befejezte ( $\overline{PR}$  újra 1-be váltott), valamint a leolvasóprogram-tároló az első ciklus 3. ütemében esetleg elkezdett leolvasóciklussal már végzett, vagyis leolvasás már nincs ( $\overline{TN} = 1$ ). Ha e feltételek teljesülnek, a lyukasztóciklus elkezdődik.



13-7. ábra. Az adatgyűjtő fontosabb jeleinek idődiagramja lyukasztáskor

Az első ütemben  $\overline{LN} = 0$  lesz, a leolvasás és tárolókba való beírás letiltódik,  $\overline{KI} 0$ -ba vált, a lefoglalt tároló  $KX 1$ ,  $KY 1$  címen levő tartalma (gépcím l. 2.11. pontnál) az  $SI (A, B, C, D, PB)$ ,  $S0 (A, B, C, D, PB)$  vezetékeken a lyukasztóvezérlőbe kerül. A lyukasztóvezérlő az információt egyrészt a  $CH 1 \dots CH 8$  csatornán a szalaglyukasztóhoz továbbítja, másrészt paritásellenőrzést végez rajta. Ha paritáshiba nincs, azaz a tárolóba paritáshelyesen beírt információ paritáshelyesen érkezett meg, akkor a lyukasztóvezérlő ezt a tényt a  $\overline{PHN}$  vezetékre adott 0 szinttel jelzi a lyukasztóprogram-tárolónak.  $\overline{PHN} = 0$ -val a második ütem kezdődik, amelyben a szalaglyukasztóba  $PI = 1$  lyukasztási parancs jut el. Ha a  $CH 1 \dots CH 8$  csatorna lyukasztása megkezdődik  $PR 0$ -ba vált, ez a jelváltás a lyukasztóciklus 3. ütemét indítja. Most  $\overline{LN} 1$ -be vált, amellyel a leolvasási ciklus megindulhat,  $\overline{KI} 1$  lesz, így a kiolvasás megszűnik. A 4. ütemben a lyukasztóprogram-tároló a kiolvasott tárolócímet  $KX 1$ ,  $KY 2$ -re változtatja, így a következő lyukasztóciklusban majd a  $KX 1$ ,  $KY 2$  címen levő információ (árúkkód legnagyobb helyérték) lyukasztódik. Az 5. ütemben most is kiadódik a  $KT = 1$  nyugtázójelzés, de ez ebben az esetben a lyukasztóvezérlőre hatástalan.

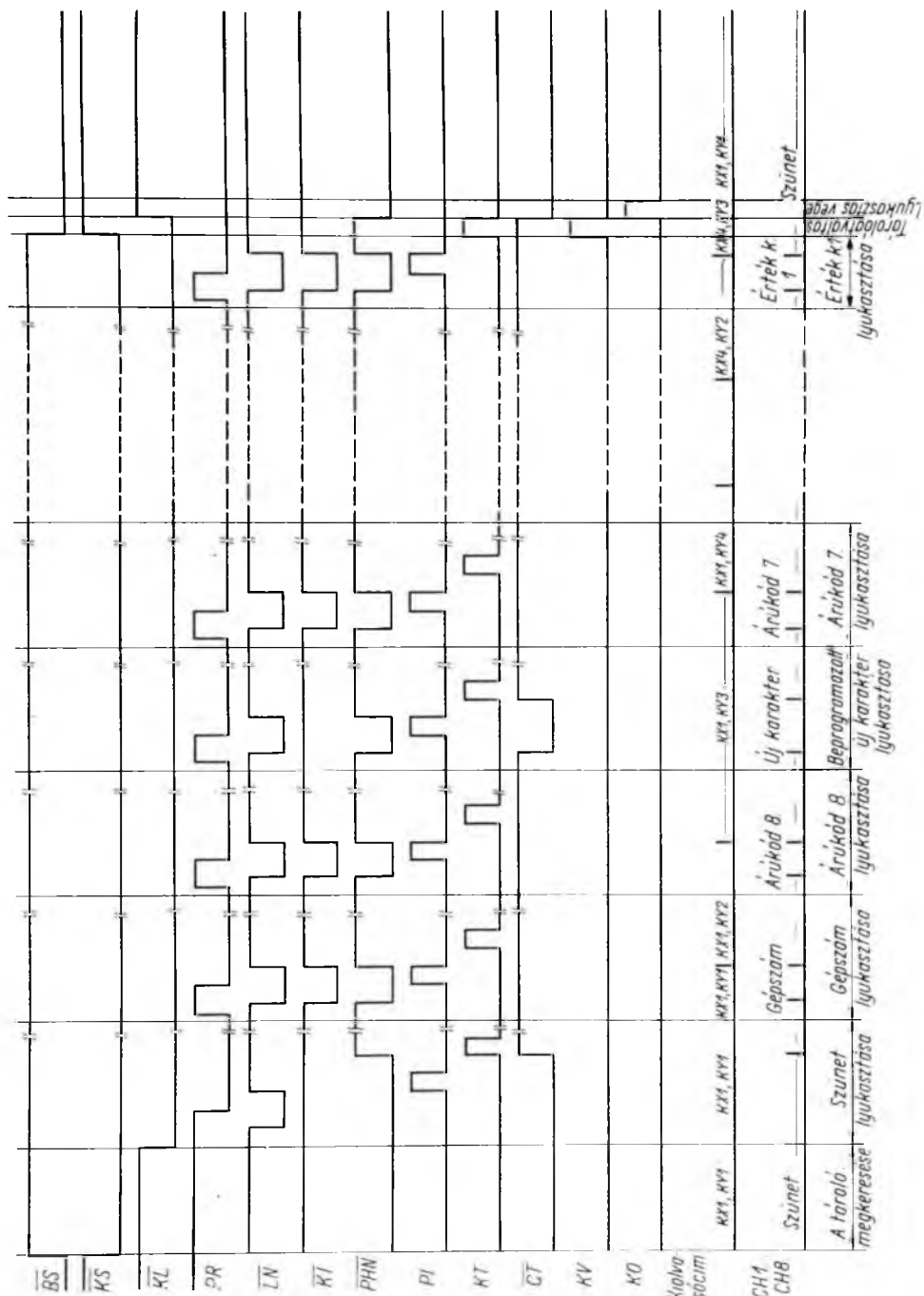
A harmadik lyukasztási ciklus, amely szintén  $PR = 1$  és  $\overline{TN} = 1$  feltételekkel kezdődik, ugyanúgy zajlik le, mint a második, feltételezve, hogy a  $KX 1$ ,  $KY 2$  címen levő információ paritáshelyes. A ciklus 4. ütemében a kiolvasócím  $KX 1$ ,  $KY 3$ -ra változik.

#### *A kiolvasás és lyukasztás vége*

A tárolótartalom lyukasztása valamennyi tárolócímen a leírt öt ütemű lyukasztóciklusban történik, feltételezve, hogy a kiolvasott információk mindig paritáshelyesek. Az utolsó lyukasztóciklus a  $KX 4$ ,  $KY 2$  címen levő tárolótartalmat (értékkód legkisebb helyérték) viszi lyukszalagra. A ciklus 4. ütemében a tárolócím  $KX 4$ ,  $KY 3$ -ra változik. A lyukasztó ekkor a  $KV$  vezetékre adott 1 szinttel jelzi a lefoglalt tárolónak, hogy a kiolvasás véget ért. A tárolóban  $KV = 1$  hatására a  $\overline{BS}$  kimenet 1-ből 0-ba, a  $\overline{KS} 0$ -ból 1-be vált.  $\overline{BS} = 0$  jelzi, hogy a tároló beírásra kész, a  $\overline{KS} = 1$  pedig, hogy nincs lyukasztandó információja. A  $KV$  kiolvasás vége jelzés kiadása után a lyukasztó programtároló alaphelyzetbe kerül (nullázódik), ilyenkor a  $KO$  vezetéken 1 szintű impulzust ad ki, amely a lyukasztóvezérlőt is alaphelyzetbe állítja. Így a következő pénztárgép információjának lyukszalagképe szintén Szünet karakterrel fog kezdődni. Az alaphelyzetbe került lyukasztóprogram-tároló megszünteti a tároló lefoglalását, mivel a  $\overline{KL}$  vezetéken a jelszint 0-ból 1-be vált. Ha van további tároló, amelyiknek lyukasztandó információja van ( $\overline{KS}$  vezetéke 0 szintű), akkor a lyukasztóprogram-tároló működése a beírt tároló megkeresésével újra kezdődik.

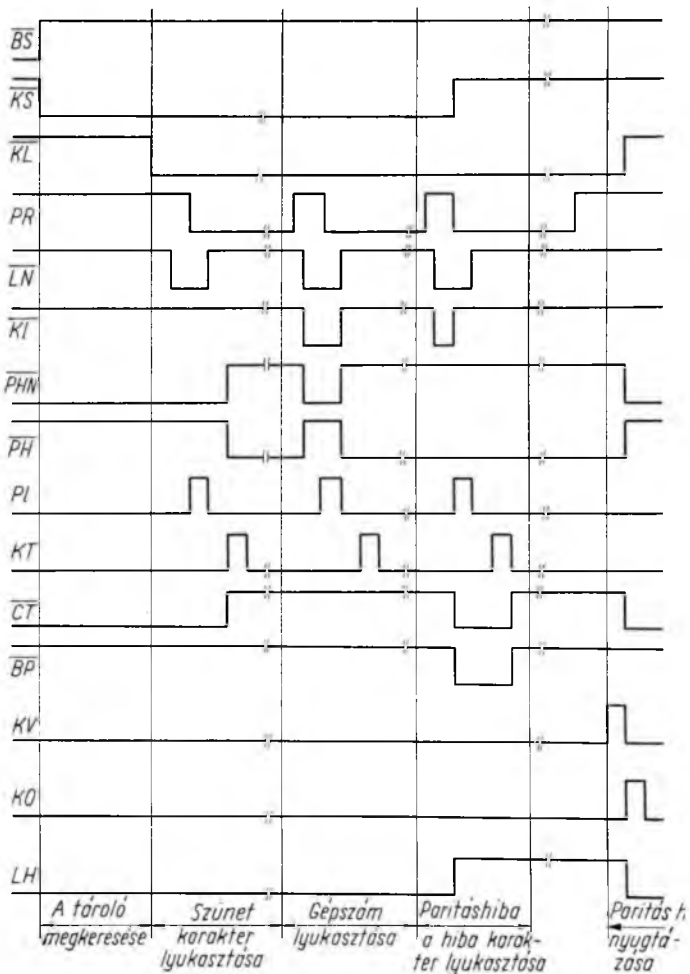
#### *Nem a pénztárgépből származó karakterek belyukasztása a pénztárgép-információk közé*

Ha a pénztárgépből leolvasott számjegyek lyukasztása közben két számjegy közé valamilyen nem a pénztárgépből származó, de IBM 8 kódban értelmezhető karaktert kell belyukasztani, akkor ismerni kell annak a számjegynek a tárolóban elfoglalt címét, amelyet a kérdéses karakter meg fog előzni. Ilyenkor a lyukasztóvezérlő  $C 1$  és  $C 2$  vezetékeit 0 helyett a kérdéses  $KX$ ,  $KY$  címvezetékre kell kapcsolni, a kiadandó karaktert a lyukasztóvezérlő áramkör nyomtatott áramköri paneljén diódákkal kell programozni. A programozott karakter lyukasztása a Szünet karakterhez hasonló módon történik. A beszúrandó karaktert megelőző számjegy lyukasztó-



13-8. ábra. A lyukasztás idődiagramja nem a pénztagéptől származó karakter bevitellekor

ciklusának 4. ütemében a lyukasztóprogram-tároló a  $C1$  és  $C2$  vezetékre kötött címre lép. Utána a ciklus végetér. A következő ciklus kezdetén a lyukasztóprogram-tároló  $\overline{LN} = 0$  jelzésére a lyukasztóvezérlő  $\overline{CT} = 0$  kiolvasás és címzésléptetést tiltó jelet küld vissza, tehát a kiolvasás a  $\overline{KI} = 0$  jel hiánya miatt elmarad. A tároló adott címen levő tartalma helyett a lyukasztóvezérlőben programozott karakter adódik ki a szalaglyukasztó  $CH1 \dots CH8$  bemenetére, amely a 2. ütemben érkező  $PI = 1$  parancsra ki is lyukasztja azt. Mivel  $\overline{CT} = 0$ , a kiolvasócím a ciklus folyamán nem változik. A kiolvasás- és címzésléptetés-tiltást a lyukasztóvezérlő a ciklus végén kapott  $KT = 1$  nyugtázóimpulzusra szünteti meg. A következő újabb ciklusban már a tároló tartalma fog lyukasztódni a korábban leírtak szerint. Ha a  $C1, C2$  vezetékek mellett a  $C3, C4$ , sőt a  $C5, C6$  vezetékeket is felhasználjuk, akkor a leírt módon a pénztárgép információja közé összesen három új karaktert iktathatunk be. Arra kell



13-9. ábra. A lyukasztás idődiagramja, ha a tárolóból kiolvasott 2. számjegy paritáshibás



csak vigyázni, hogy a növekvő sorszámú  $C 1 \dots C 6$  címző pontokra növekvő  $KX-KY$  címeket kössünk be, azonos címen két karakter nem lehet. A karakterek IBM 8 kódban értelmezhetők legyenek. A karaktereket fel lehet használni az egymás után érkező gépszám, árukód, értékkód egymástól való szétválasztására.

### *Paritáshibás számjegy helyett Hiba karakter lyukasztása*

A lyukasztóciklus első ütemében, mint már láttuk, a lyukasztóprogram-tároló  $\overline{KI} = 0$  jelzéssel kéri ki a tároló tartalmát. Tételezzük fel, hogy a tároló villamosan rossz, vagy a beírás hibásan történt, és az információ paritáshibás. Ekkor a lyukasztóvezérlő a lyukasztóprogram-tárolónak nem  $\overline{PHN} = 0$  (paritáshiba nincs), hanem  $\overline{PH} = 0$  (paritáshiba) jelzést küld vissza. A lyukasztóprogram-tároló ebben az esetben  $\overline{BP} = 0$ -val utasítja a lyukasztóvezérlőt, hogy a tárolótartalom helyett a diódákkal beprogramozott IBM 8 kódban értelmezett Hiba karaktert juttasson a szalaglyukasztó  $CH 1 \dots CH 8$  bemeneteire. A lyukasztóvezérlő ezt úgy végzi el, hogy  $\overline{CT} = 0$ -val visszajelezve azonnal leállítja a kiolvasást ( $\overline{KI} = 1$ -be vált). A második ütemben kiadott  $\overline{PI} = 1$  parancsra a „hiba” lyukszalagra kerül. A harmadik ütemben  $\overline{LN} 1$  lesz, amire esetleg leolvasás indul. A negyedik ütemben a még fennálló  $\overline{CT} = 0$  miatt a kiolvasócím nem változik. Az ötödik ütem  $\overline{KT} = 1$ -e hatástalan. A ciklus befejeződött. Ezután a pénztárgép információjából több számjegy nem adódik ki, sőt lyukasztás egyáltalán nem történhet, mert a lyukasztóprogram-tároló reteszeldődik. A reteszelt állapotot az  $\overline{LH}$  vezetékre adott 1 szinttel jelzi a hibajelzőnek. A hibajelző a hibás tároló sorszámát a 0 szintű  $\overline{KL}$  vezeték alapján megállapítja, a tárolót a további működésből kirekeszti és az összes pénztárgép reteszelésével hívja fel a kezelőszemélyzet figyelmét a paritáshibára (l. 2.32. pont).

### *Paritáshiba nyugtázása*

A lyukasztóprogram-tároló reteszelt állapotát megszüntetni, azaz a paritáshiba nyugtázását elvégezni a NYUGTÁZÁS nyomógombbal lehet. A nyomógomb benyomásakor a lyukasztóprogram-tároló alaphelyzetbe kerül. A lefoglalt tárolót  $\overline{KL} 0$ -ból 1-be váltásával felszabadítja,  $\overline{KO} = 1$ -gyel a lyukasztóvezérlőt is alaphelyzetbe állítja.

## **2.3 A pénztárgépek, a szalaglyukasztó és az elektronika lényeges áramköreinek figyelése, a hibajelzések előállítása**

### **2.31 A hibajelzésben szerepet játszó információvezetékek**

#### ***KH***

Ha a pénztárgépből nem Johnson-kódban írt számjegy érkezik be, akkor a kódátalakító a leolvasóprogram-tároló  $\overline{KK} = 0$  átkérőjelére  $\overline{Hik} = 1$ -gyel válaszol. Magát a számjegyhibát (gép-hibát) a leolvasóprogram-tároló  $\overline{KH} = 1$  jelzéssel hozza a hibajelző tudomására.

#### ***G (A, B, C, D)***

A hibás pénztárgép címét a leolvasóciklus közben az azonosítóáramkörből a  $G (A, B, C, D)$  vezetéken veheti át a hibajelző.

#### ***$\overline{IGH} \dots \overline{IOGH}$***

A hibás gép címét a Hibajelző I. tárolja. Ha van hibás pénztárgép, akkor a Hibajelző II-be a hibás gépnek megfelelő sorszámú  $\overline{IGH} \dots \overline{IOGH}$  vezetéken át logikai 0 adódik. Ha van hibás pénztárgép, akkor a GÉPHIBA lámpa ég.

#### ***$\overline{IGR} \dots \overline{IOGR}$***

Ha a pénztárgépet valamilyen okból reteszelni kell (l. 5.32. pont, LYUKASZTÓHIBA, ALAPHELYZET, VÁRAKOZÁS, GÉPHIBA, PARITÁSHIBA), akkor a hibajelző II. a pénztárgépnek megfelelő sorszámú GR vezetékre 0 V-ot ad. A reteszelés tényét az I GRL...10 GRL lámpák jelzik.

*LH*

Ha a kiolvasás folyamán a lyukasztóvezérlő a kiolvasott számjegyet paritáshibásnak (nullák száma páros) találta, akkor a tároló meghibásodott. Ilyenkor a lyukasztóvezérlő a lyukasztási ciklus 1. ütemében PH = 0 (paritáshiba) jelzést küld a lyukasztóprogram-tárolónak, amely a hibát LH = 1-el tudatja a hibajelzővel. A paritáshibát az elektronika PARITÁSHIBA lámpája jelzi.

*KL 1...KL 6*

A kiolvasásra lefoglalt és hibásnak talált tároló sorszámát a 0 szintű KL vezeték alapján jegyzi fel a hibajelző.

*1 TH...6 TH*

A hibás tárolót a hibajelző a megfelelő TH vezetékre adott 0 szinttel a további működésből kirekeszti

*ÖTH*

Ha az elektronika összes tárolója rossz, akkor az ÖTH vezeték logikai 1 szinten van. Ilyenkor az elektronika működésképtelen. Ezt a tényét az ELEKTRONIKAHIBA lámpa jelzi.

*NT*

Ha a leolvasóprogram-tároló a beírás számára nem talál tárolót, akkor az elektronika foglalt, a pénztárgépeknek valamelyik tároló felszabadulásáig várakozni kell. Az összes tároló foglaltságát a leolvasóprogram-tároló az NT vezetékre adott 0 szinttel jelzi. A tároló felszabadulásáig a VÁRAKOZÁS lámpa ég.

*NI*

Az elektronika bekapcsolása után alaphelyzetbe kerül. Azt az ALAPHELYZET lámpa jelzi. Az elektronikát működőképesé tenni az INDÍTÁS nyomógombbal lehet.

#### *A szalaglyukasztó hibái*

A lyukszalaglyukasztó hibajelző áramkörre az elektronikához a következő hibajelzéseket küldi:

- TAPE LOW    A lyukszalag kifogyott.
- ERROR      A szalag megfeszült vagy elszakadt.

Mindkét hiba esetén a megfelelő vezetékre +6 V adódik. Ha a lyukszalaglyukasztó nincs bekapcsolva, a kimeneti csatlakozó megfelelő pontján +6 V nem mérhető. Az elektronika ezt az állapotot is hibajelzésnek veszi. A lyukszalaglyukasztó hibái esetén az elektronika LYUKASZTÓHIBA lámpája ég, a hibák tételesen a lyukasztó lámpáiról olvashatók le.

### **2.32 A hibajelzés folyamata**

#### *A pénztárgépek reteszelése*

Ha valamelyik pénztárgépet a későbbiekben felsorolt hibák valamelyike miatt reteszelni kell, a hibajelző II. a pénztárgépnek megfelelő sorszámú GR vezetékre 0 V-ot ad. Ekkor a pénztárgépben elhelyezett reteszelő jelfogó meghúzza és a motorindító áramkört megszakítja. A pénztárgépet, ameddig a reteszelés fennáll, elindítani nem lehet. A reteszelést a géphez tartozó GRL lámpa égése jelzi.

#### *A tárolók reteszelése*

A hibás tároló reteszelését a hibajelző I. a tárolónak megfelelő sorszámú TH vezetékre adott 0 szinttel végzi. Ilyenkor a tároló BS és KS kimenete logikai 1 szintre vált, ezért a tárolót a leolvasóprogram-tároló beírásra, a lyukasztóprogram-tároló pedig kiolvasásra nem tudja lefoglalni.

#### *Hibajelzés hibás szalaglyukasztó esetén*

Ha a szalaglyukasztó nincs bekapcsolva vagy a lyukszalag kifogyott (TAPE LOW jelzés), esetleg a szalag megfeszült vagy elszakadt (ERROR jelzés), az elektronika

LYUKASZTÓHIBA lámpája kigyullad. A Hibajelző II. a szalaglyukasztótól bejövő hibajelzésre valamennyi pénztárgépet reteszeli, így pénztárgépinformáció a szalaglyukasztó hibája miatt nem vész el. A pénztárgépek reteszelésének okát a LYUKASZTÓHIBA lámpa jelzi.

#### *Bekapcsolás utáni alaphelyzet biztosítása*

Az elektronika bekapcsolása után a tárolók reteszeliődnek. Mivel még lyukasztandó információt nem tartalmaznak,  $\overline{KS}$  vezetékük a bekapcsolási tranziensek hatására sem lehet 0 szintű, különben a lyukasztóprogram-tároló lyukasztási ciklust kezdene és a lyukszalagra hibás információt juttatna. A tárolókat bekapcsolás után a Hibajelző I. az összes  $\overline{TH}$  vezetékre adott 0 szinttel reteszeli. A reteszelt tárolók miatt pénztárgépet sem lehet indítani, ezért a hibajelző az összes  $\overline{GH}$  vezetékre is 0 szintet ad, amelynek hatására a Hibajelző II. a pénztárgépeket reteszeli. A pénztárgépek reteszelésének okát az ALAPHELYZET lámpa jelzi, amelynek kigyújtását a Hibajelző I. az  $\overline{NI}$  vezetékre adott 1 szinttel vezérli. A bekapcsolás utáni alaphelyzet megszüntetésére az INDÍTÁS nyomógombot kell benyomni. Hatására a  $\overline{TH}$  és  $\overline{GH}$  vezetékről eltűnik a reteszelt előidéz 0 szint, és az elektronika működőképes állapotba kerül.

#### *Várakozás a szabad tárolók hiánya miatt*

Az elektronika üzemeltetése során véletlenszerűen előfordulhat, hogy hatnál több pénztárgépet indítanak egyszerre, így az elektronika valamennyi tárolója lefoglalódik. Számítva, hogy a pénztárgép indítóimpulzusa csak 0,4 s hosszúságú és bármelyik tároló csak a benne levő 14 számjegy lyukszalagra vitele után (kb. 0,2 s) szabadul fel, a további indított gépek információja könnyen elveszhet, ezért az indítást meg kell gátolni. Ha valamennyi tároló beírásra foglalt, a leolvasóprogram-tároló az  $\overline{NT}$  vezetéken 0-val jelzi a tárolók foglaltságát. Az  $\overline{NT} = 0$  jelzésre a Hibajelző II. valamennyi pénztárgépet reteszeli, valamint kigyújtja a VÁRAKOZÁS lámpát. A gépek reteszelt állapota (a várakozás) addig marad fenn, amíg a lyukasztóprogram-tároló valamelyik tárolót kiolvasva szabaddá nem teszi azt.

#### *A hibás pénztárgép reteszélése*

Az adatgyűjtő rendszer üzemeltetése során előfordulhat, hogy valamelyik pénztárgép meghibásodik. Hibaforrások a gép mechanikai szerkezetén túlmenően a következők lehetnek: valamelyik számjegyhez tartozó résiniciátorok, a kiolvasóáramkör, a gépet az elektronikával összekötő kábel. Ilyen hibák esetén a lyukszalagra helytelen információ kerülhetne, ezt meg kell gátolni. Az ellenőrzést és a hibajelzést nagymértékben megkönnyíti a pénztárgépből bejövő információ kódja, amely öt bites nagy redundanciájú Johnson-kód. A leolvasási ciklusban a kódátalakító áramkör valamennyi bejövő számjegyet ellenőrzi. Ha a számjegy a Johnson-kódnak megfelel, akkor  $\overline{Hek} = 0$ -val, ha a számjegy hibás, akkor  $\overline{Hik} = 1$ -gyel válaszol a leolvasóprogram-tároló  $\overline{KK} = 0$  átkérőjére.  $\overline{Hek} = 0$  esetén a leolvasó ciklus folytatódik,  $\overline{Hik} = 1$  hibás kód észlelésekor a leolvasóprogram-tároló a hibajelző I.-nek  $\overline{KH} = 1$  (kódhiba) jelzést küld, amelyre az a hibás gép címét a  $G(A, B, C, D)$  vezetékről átveszi és belső memóriájára beírja. A továbbiakban a leolvasóprogram-tároló alaphelyzetbe jut, a pénztárgép leolvasása nem fejeződik be. Az eddig leolvasott számjegyek a tárolókból nem kerülnek lyukszalagra, mivel a tároló  $\overline{BV}$  (betárolás vége) vezetékre a leolvasóprogram-tároló 1 szintet nem ad. Így a tároló  $\overline{BS}$  vezetéke továbbra is 0 szintű,

$\overline{KS}$  vezetőke 1 szintű marad, jelezve, hogy a beírásra szabad, lyukasztandó információja pedig nincs. A legközelebbi leolvasóciklus esetén a tároló tartalma átíródik. A hibajelző *I.* a hibás gép címét belső memóriájába betárolta, így a gépnek megfelelő sorszámú  $\overline{GH}$  vezetőkre 0 szintet ad. A hibajelző *II.* a hibás gépet reteszeli, reteszeltségét a megfelelő *GRL* lámpán jelzi, valamint a *GÉPHIBA* lámpát kigyújtja. A gép információja nem adódott ki lyukszalagra, hogy el ne vesszen, a gép indikátorairól fel kell jegyezni.

A hibás gép reteszeltségét megszüntetni, az indítást megkísérelni az *INDÍTÁS* nyomógombbal lehet.

#### *Az elektronika tárolóáramköreinek ellenőrzése. Paritáshiba*

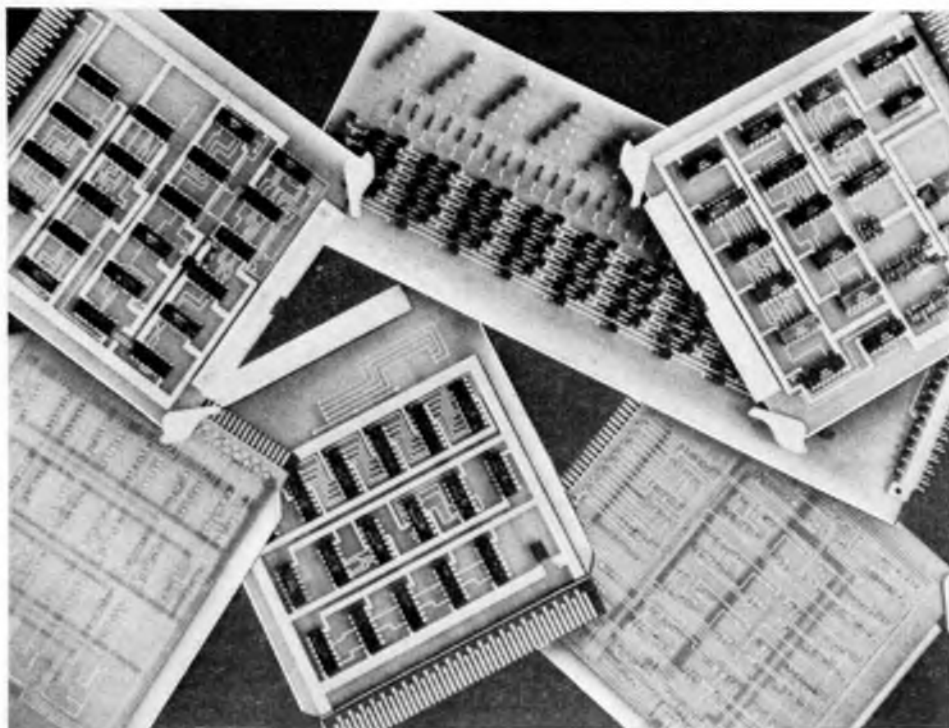
A kódátalakító a pénztárgépektől bejövő számjegyeken kódátalakítást végez: a Johnson-kódot *BCD*-kóddá írja át, amelyet paritásbittel egészít ki úgy, hogy az 1-esek száma páratlan legyen. Az információ így íródik be a tárolókba. Kiolvasáskor az 1-esek „páratlanságának” vizsgálatával a tárolók és a betárolás ellenőrzésére nyílik lehetőség. Ha ugyanis a lyukasztóvezérlő valamelyik kiolvasócímen levő tárolótartalmat paritáshibásnak (1-esek száma páros) találja, akkor a lyukasztóprogram-tárolónak a  $\overline{PHN} = 0$  (paritáshiba nincs) jelzés helyett  $\overline{PH} = 0$  (paritáshiba) jelzést küld vissza. A lyukasztóprogram-tároló ekkor megszünteti a kiolvasást és a tárolótartalom helyett a lyukszalagra IBM 8 kódban értelmezett „hiba” karakter lyukasztását vezérli. A lyukasztóprogram-tároló a hibáról az *LH* vezetőkre adott 1 szinttel értesíti a hibajelzőt, ezután reteszelt állapotba kerül. A hibajelző *I.* a hibás tároló sorszámát a 0 szintű  $\overline{KL}$  vezetőke alapján megállapítja és belső memóriájába tárolja. A megfelelő sorszámú  $\overline{TH}$  vezetőkre 0 szintet ad, ezzel a tárolót a további beírás és kiolvasás számára foglalttá teszi ( $\overline{BS}$  és  $\overline{KS}$  vezetőke 1 szintű lesz). A hibajelző *II.* az összes pénztárgépet reteszeli és a reteszelés okául kigyújtja a *PARITÁSHIBA* lámpát. Ezek szerint tehát az utolsó (de hibás) számjegy helyett a lyukszalagra „hiba” karakter adódott, az összes pénztárgép reteszelődőtt és kigyulladt a *PARITÁSHIBA* lámpa. A kezelőszemélyzet tudomásul véve a paritáshibát, benyomja a *NYUGTÁZÁS* gombot. Erre a *PARITÁSHIBA* lámpa kialszik, a pénztárgépek reteszelése megszűnik, a lyukasztóprogram-tároló alaphelyzetbe kerül, ahonnan egy másik tároló tartalmának lyukszalagra vezérlését kezdheti meg. Az elektronika tovább működik, kivéve a hibás tárolót, amelyet a hibajelző *I.* továbbra is reteszelve tart. A hibás tároló reteszelését megszüntetni, a forgalomba való visszaállítását megkísérelni az *INDÍTÁS* nyomógombbal lehet.

#### *Az elektronika működésképtelenségének jelzése*

Ha az előbbi pont szerint valamennyi tároló paritáshibásnak adódik és a forgalomból kireteszelődik, akkor az elektronika működésképtelen, mert valószínűleg a leolvasást és beírást végző áramkörei hibásodtak meg. Ebben az esetben a hibajelző *I.* az *ÓTH* vezetőkre 1 szintet ad. A hibajelző *II.* valamennyi pénztárgépet reteszeli és kigyújtja az *ELEKTRONIKAHIBA* lámpát, ezzel jelezve, hogy az elektronikát javítani kell.

### 3. Az adatgyűjtő mechanikai felépítése

A berendezésben levő elektronika kétoldalas lyukgalvanizált nyomtatott áramkörtől épül fel. A forrasztás hullámforrasztógéppel készült. A nyomtatott áramkörtől lapok ESZR méretű kártyák és 47 pólusú Socapex csatlakozóval csatlakoznak a kártyatartó keretbe. A kiemelőkül segítségével a kártyákat igen könnyen cserélni lehet a tartóból.



13-10. ábra. Szerelt ESZR kártyák



# 14.

## Erőművek automatikájának szünetmentes áramellátása

*FÜZESI ENDRE—DR. NAGY LÁSZLÓ*

### ÖSSZEFOGLALÁS

Erőművekben az automatikákat egyes esetekben váltakozófeszültség táplálja. Az áramellátásnak szünetmentesnek kell lennie, mert az automatikarendszerben alkalmazott mágneskapcsolók vagy közvetlenül a kazán égőfejeinek működtetésére használt mágnesszelepek néhány ms ejtési idejűek. Az erőművi segédüzemi feszültség erre a célra nem használható, mert egyrészt az egyes blokkok indításakor az átszakaszolások miatt az áramellátás rövid időre megszakad, másrészt a hálózati zárlatok miatt feszültségletörések lehetnek. A folyamatos áramellátás céljára tirisztoros szükségáramforrásokat dolgoztunk ki, amelyeket részletesen ismertetünk.

### НЕПРЕРЫВНОЕ ПИТАНИЕ ТОКОМ АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

*Э. Фюзеси—Д-р Л. Надь*

#### Резюме

Для питания автоматики на энергетических станциях в некоторых случаях применяют напряжение переменного тока. Снабжение током должно быть непрерывным, так как применяемые в автоматической системе магнитные пускатели или магнитные клапаны, использованные для непосредственного регулирования работы горелок, имеют время отпускания, составляющее несколько мс. Напряжения аварийных источников питания, имеющиеся на энергетических станциях, не могут быть использованы для этой цели, так как с одной стороны при запуске отдельных блоков в результате пересекционирования питание на краткий интервал времени прерывается, а с другой стороны в результате коротких замыканий может возникнуть спад напряжения. С целью непрерывного снабжения током разработаны тиристорные источники аварийного питания, которые подробно описываются в статье.

### UNTERBRECHUNGSLOSE STROMVERSORGUNG VON KRAFTWERK-AUTOMATIKEN

*E. Füzesi—Dr. L. Nagy*

#### Zusammenfassung

Für die Speisung der Automaten der Kraftwerke verwendet man in einigen Fällen Wechselspannung. Die Stromversorgung soll ununterbrochen sein, weil die in das Automatiksystem eingebauten Magnetschalter oder die für die Betätigung der Brenner direkt gebrauchten Magnetventile eine Abfallzeit von einigen msec haben. Die Hilfsspannung des Kraftwerkes ist dafür nicht verwendbar, einerseits, weil die Stromversorgung bei Einschaltung der einzelnen Blöcke wegen der Trennschaltungen für eine

kurze Zeit unterbrochen wird, andererseits können wegen Netzkurzschlüsse Spannungsabbrüche zustande kommen. Für die ununterbrochene Stromversorgung wurden Notstromanlagen mit Thyristoren ausgearbeitet, die hier ausführlich beschrieben werden.

## NO-BREAK POWER SUPPLY OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS IN POWER STATIONS

By E. Füzési—Dr. L. Nagy

### Summary

In certain cases a.c. sources are applied for supplying automatic control systems of power stations. No-break supply must be provided because contactors used in automatic systems and the magnetic valves controlling the burners have drop-out times of a few milliseconds. Conventional power-station auxiliary supplies must be precluded because short-time interruptions of the supply occur inevitably during switching operations associated with starting-up of turbine-generator sets, and voltage dips are caused by power-line faults. Thyristorized emergency power supplies developed for providing no-break supply are described in the paper.

### 1. Bevezetés

Egyes olaj- és gáztüzelésű erőművi kazánok automatikáját és mágnesszelepeit váltakozófeszültségről üzemeltetik. A kazán zavartalan üzeme szempontjából fontos, hogy a váltakozófeszültségű táplálás folyamatos legyen. Ha ugyanis a tápfeszültségben olyan zavarok lépnek fel, amelyek következtében a tüzelőanyag áramlását szabályozó mágnesszelepek elejtenek, akkor a kazán kiesik az üzemből és indításához a technológiai folyamattól függően esetleg több órára van szükség. A mágnesszelepek és az őket vezérlő mágneskapcsolók, valamint jelfogók 10 ms időtartamú teljes feszültségkimaradáskor már biztosan elejtenek. Ez azt jelenti, hogy a váltakozófeszültségű táplálásnak teljesen megszakításmentesnek kell lennie.

Az erőművi segédüzemi váltakozófeszültség nem folyamatos, jóllehet a blokk üzeme során gyakorlatilag mindig rendelkezésre áll. A segédüzemi feszültségforrás és az automatika között azonban több erőátviteli készülék van, amelyek meghibásodhatnak. A blokk üzemzavarai miatt is kimaradhat a segédüzemi feszültség. Ilyen zavarok felléptekor még célszerű a kazánt üzemben tartani, ezért indokolt az automatikát és a mágnesszelepeket szükségáramforrásról üzemeltetni és az erőművi segédüzemi táplálást csak tartalék-áramforrásként használni.

A mágnesszelepek bekapcsolási árama a névleges tartóáramnak kb. tízszerese. Az áramforrásnak olyannak kell lennie, hogy ez a bekapcsolási áram ne okozzon olyan mértékű feszültségletörést, aminek következtében a korábban bekapcsolt szelepek kiesnének.

A folyamatos áramellátás és a tranziens áramtúlterhelési igény figyelembevételével a Villamosipari Kutató Intézetben két különböző típusú tirisztoros inverteres szükségáramforrást dolgoztunk ki kazánautomatika táplálására. Az egyik 25 MW teljesítményű blokk gáztüzelésű kazánjához készült. A kazán üzeme során aránylag ritkán és akkor is kézi vezérléssel szabályozzák az üzemelő égők számát, ezért megengedhető, hogy az áramellátás a segédüzemi feszültség és tirisztoros inverter kombinációja legyen. Ehhez hozzátartozik, hogy a mágnesszelepek bekapcsolása mindig a segédüzemi feszültségről történik. Az áttérés a segédüzemi táplálásról az inverterre



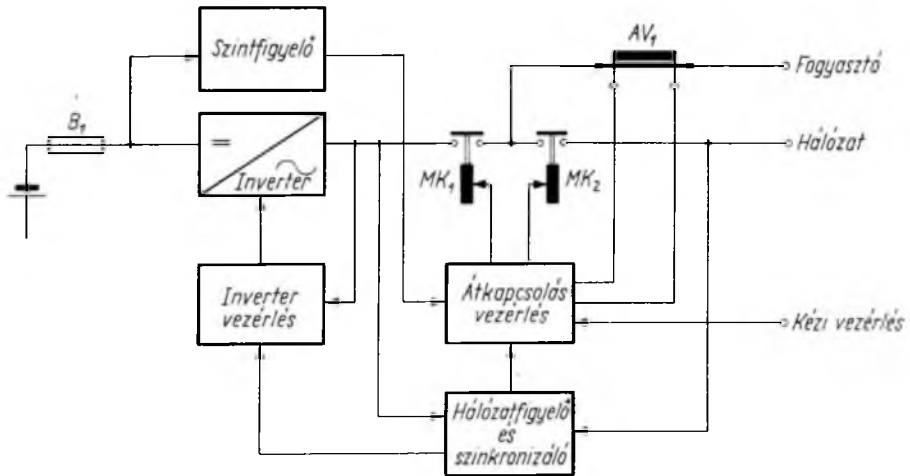
és vissza megszakítás nélkül megy végbe. Ezzel a megoldással egyetlen kisebb teljesítményű inverter biztosítja a szünetmentes áramellátást.

A másik szükségáramforrás 200 MW teljesítményű blokk olaj- és gáztüzelésű kazánjának automatikáját és szelepeit táplálja. E blokk esetében aránylag gyakran és automatikusan történik szelep be- és kikapcsolása, ezért nem engedhető meg, hogy minden egyes szelep bekapcsolásakor át kelljen térni a segédüzemi feszültségre. Az automatikát és a szelepeket állandóan két párhuzamosan kapcsolt inverter táplálja, amelyek teljesítménye elegendő a bekapcsolási áramokhoz. Az egyik inverter meghibásodása esetén a másik tovább táplálja a fogyasztókat.

## 2. Tirisztoros inverter és segédüzemi feszültség kombinációjából álló rendszer

A rendszer elvi vázlata a 14-1. ábrán látható. Az akkumulátor  $B_1$  biztosítón keresztül táplálja az inverter áramkört, amely egyenfeszültségből szinuszos váltakozófeszültséget állít elő. Az inverter vezérlése az inverter váltakozófeszültségének a függvényében vezérli a főáramkört.

A hálózatfigyelő és szinkronizáló egység szinkronizáló feszültséget kapcsol az inverter vezérlésére, ha a hálózat feszültsége és frekvenciája megfelelő és a hálózati feszültség szinkronban van az inverter feszültségével. A hálózati feszültség kimaradását követően a feszültségvisszatérés után a szinkronizálás folyamata késleltetve van.



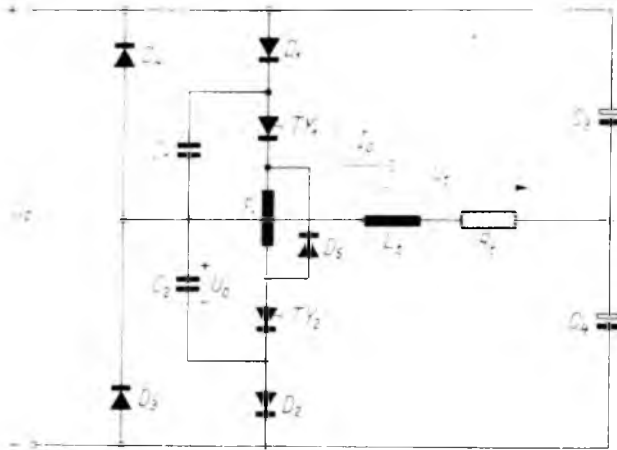
14-1. ábra. Tirisztoros inverter és segédüzemi hálózat kombinációjából álló áramellátás elvi vázlata

A fogyasztókra  $AV_1$  áramváltón keresztül  $MK_1$  mágneskapcsoló az inverter,  $MK_2$  mágneskapcsoló pedig a hálózati váltakozófeszültséget kapcsolja. A mágneskapcsolókat az átkapcsolásvezérlés működteti, a szintfigyelő, a hálózatfigyelő és szinkronizáló, az  $AV_1$  áramváltó jele és a kézi vezérlés függvényében.

Átkapcsoláskor a mágneskapcsolók átfedéssel váltják egymást, ezért a fogyasztók áramellátása az átkapcsolás alatt nem szakad meg. Kézi vezérléses átkapcsolás bármely irányban csak akkor végezhető, ha a hálózati feszültség és az inverter feszültség

sege szinkronban van. Szinkron átkapcsoláskor a tranziensek lényegesen kisebbek, mint aszinkron átkapcsoláskor.

A szintfigyelő és az  $AV_1$  áramváltó csak inverter/hálózat irányú átkapcsolást indít, ha  $B_1$  biztosító kiolvadása vagy az egyenfeszültség kimaradása miatt az inverter kiesik, vagy ha a fogyasztó felőli zárlat az invertert túlterheli. Utóbbi esetben az átkapcsolást az indokolja, hogy ha az egyik fogyasztó zárlatos lesz, akkor a zárlat szelektív leoldása alatt az inverter feszültsége olyan mértékben lecsökkenne, hogy a többi mágnesszelep valószínűleg elejtene. A túlterhelés felléptekor a hálózatra való gyors átkapcsolás megakadályozza a tápfeszültség csökkenését.

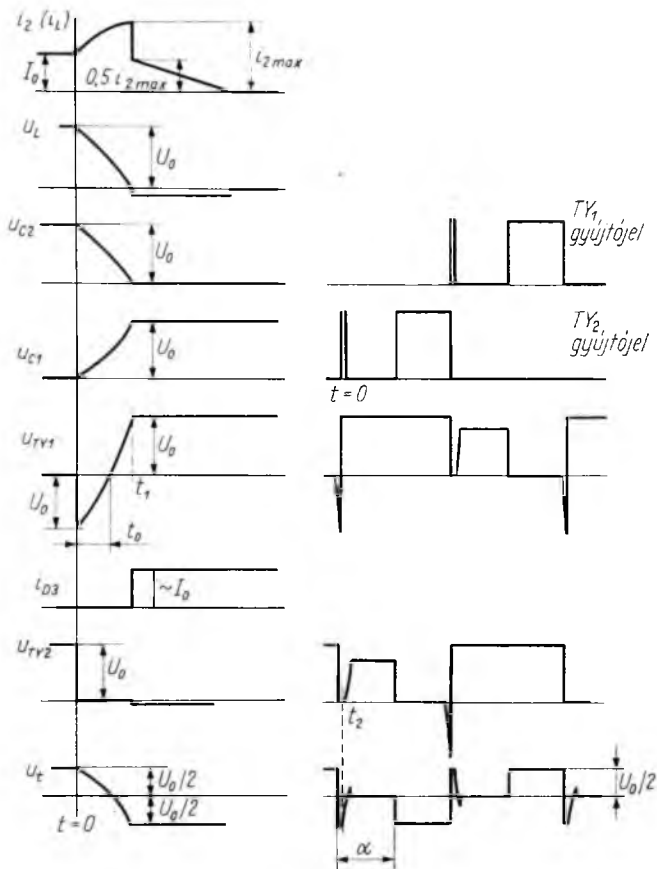


14-2. ábra. Hidkapcsolású tirisztoros inverter kapcsolása

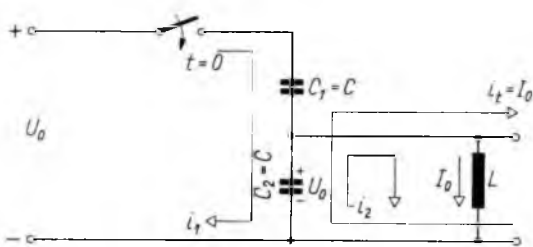
A következőkben részletesen ismertetjük a 14-1. ábra szerinti inverter főáramkörének felépítését, kommutációs folyamatát és a kommutáló áramkör elemeinek meghatározási módját. A hidkapcsolású inverteráramkör felépítése a 14-2. ábrán látható. Az  $R_t$  ellenállással és  $L_t$  induktivitással helyettesített terhelés egyik vége a tápfeszültséget felező  $C_3$  és  $C_4$  kondenzátorok közös pontjára, a másik vége pedig  $F_1$  fojtó középpontjára csatlakozik.  $TY_1$  és  $TY_2$  tirisztorok a terhelésnek ezt a pontját félperiódusonként váltakozva a periódus szabályozott részében a tápfeszültség pozitív és negatív pontjával kötik össze, aminek eredményeként — a 14-3. ábra jobb oldali részén látható — hullámformájú  $u_t$  feszültség jelenik meg. A feszültség nagysága az  $\alpha$  szabályozási szöggel változtatható.

$u_t$  hullámformája eltér a 14-2. ábra szerinti áramkörrel a szokásos módon előállított teljes négyszög hullámformától. Ezt az eltérést  $D_5$  dióda beiktatása és a tirisztoroknak a 14-3. ábra szerinti gyújtójelei okozzák, amelyek félperiódusonként váltakozva egyetlen gyújtóimpulzusból és azt  $\alpha$  szabályozási szöggel követő, a félperiódus végéig tartó gyújtójelből állnak.

A tirisztorok kommutációja a 14-2. ábra alapján a következőképpen megy végbe. A  $t = 0$  pillanatot megelőzően a  $TY_1$  tirisztor vezet és rajta keresztül  $I_0$  nagyságú terhelőáram folyik,  $C_2$  kondenzátor  $U_0$  tápfeszültségre van feltöltve. A  $t = 0$  pillanatban  $TY_2$  egyetlen impulzus hatására begyűjt, és a tápfeszültségre töltött  $C_2$  kondenzátor párhuzamosan kapcsolódik az  $F_1$  fojtónak a  $TY_1$  tirisztor felőli féltekercsével.  $F_1$  fojtó másik féltekercsében is  $U_0$  nagyságú feszültség indukálódik, aminek következtében  $TY_1$  tirisztorra negatív zárófeszültség jut, és így az kialszik.  $F_1$  fojtó  $I_0$  árama



14-3. ábra. A 14-2. ábra szerinti inverteráramkör hullámformái



14-4. ábra. A 14-2. ábra szerinti inverter helyettesítő kapcsolása a kommutáció alatt

a  $TY_2$  tirisztor felőli féltekercsbe tevődik át. Ebben az állapotban a kommutáló áramkör a 14-4. ábra szerinti kapcsolással helyettesíthető,  $C$  a  $C_1$  és  $C_2$  kondenzátor kapacitása,  $L$  az  $F_1$  kommutáló fojtó féltekercsének az inductivitása és  $i_t = I_0$  a kommutáció alatt állandónak feltételezett terhelőáram. Ez a feltételezés helytálló, ha a hídáramkör terhelése szinuszosító áramkört is tartalmaz, mert ebben az esetben a terhelés a kommutáció alatt a soros rezgőkör inductívitasával helyettesíthető.

A 14-4. ábra szerinti kapcsolásra a következő Laplace-egyenletek írhatók fel:

$$\frac{U_0}{p} = I_1 \left( \frac{1}{pC_1} + \frac{1}{pC_2} \right) + \frac{U_0}{p} - \frac{I_2}{pC_2} - \frac{I_1}{pC_2}, \quad (1)$$

és

$$\frac{U_0}{p} = \frac{I_2}{pC_2} - \frac{I_1}{pC_2} - I_0L + I_2pL + \frac{I_1}{pC_2}, \quad (2)$$

$C_1 = C_2 = C$ -t és  $I_1 = I_0/p$ -t helyettesítve:

$$\frac{U_0}{p} = \frac{2I_1}{pC} + \frac{U_0}{p} - \frac{I_2}{pC} - \frac{I_0}{p^2C} \quad (3)$$

és

$$\frac{U_0}{p} = \frac{I_2}{pC} - \frac{I_1}{pC} - I_0L + L_2pL + \frac{I_0}{p^2C}. \quad (4)$$

A (3) és (4) egyenletekből:

$$I_2 = \frac{U_0}{\sqrt{\frac{L}{2C}}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{1}{2LC}}}{p^2 + \frac{1}{2LC}} + I_0 \frac{p}{p^2 + \frac{1}{2LC}} - I_0 \frac{\frac{1}{2LC}}{p \left( p^2 + \frac{1}{2LC} \right)} \quad (5)$$

Az (5) egyenletet visszatranszformálva és  $\omega = \frac{1}{2LC}$ -t helyettesítve az

$$i_2(t) = U_0 \sqrt{\frac{2C}{L}} \sin \omega t + I_0 \cos \omega t - I_0(1 - \cos \omega t) \quad (6)$$

egyenletet kapjuk. A (3) egyenletből

$$\frac{2I_1}{pC} = \frac{I_2}{pC} + \frac{I_0}{p^2C}, \quad (7)$$

amelybe  $I_2$ -t helyettesítve és visszatranszformálva, meghatározható  $i_1(t)$ .

$$i_1(t) = \sqrt{U_0^2 \frac{2C}{L} + 4I_0^2} \sin \left( \omega t + \arctg \frac{2I_0}{U_0 \sqrt{\frac{2C}{L}}} \right) \quad (8)$$

(8) felhasználásával meghatározható  $u_{C1}$ :

$$u_{C1} = U_0 - \sqrt{U_0^2 + \frac{2L}{C}} I^2 \cos \left( \omega t + \arctg \frac{2I_0}{U_0 \sqrt{\frac{2C}{L}}} \right). \quad (9)$$

A  $TY_2$  tirisztorra addig jut negatív zárófeszültség, amíg  $u_{C1}$  kisebb  $U_0/2$ -nél. Ezt a feltételt alkalmazva és behelyettesítve

$$k = \frac{I_0}{U_0} \sqrt{\frac{2L}{C}}$$

értékét, a

$$2\sqrt{1+k^2} \cos(\omega t + \arctg k) = 1 \quad (10)$$

egyenletet kapjuk, amelyben  $t_0$  az áramkör által  $TY_1$  tirisztornak biztosított oltási idő.

A számításokat szemléltetik a 14-3. ábra bal oldali hullámformái.  $i_2$  áram  $I_0$  értékről indulva  $t_1$  időpontban  $i_{2\max}$  értékre növekszik, közben az  $L$  induktivitás  $u_L$  feszültsége  $u_{C2}$ -vel azonos módon  $U_0$ -ról nullára csökken,  $u_{C1}$  feszültség pedig nulláról  $U_0$ -ra növekszik. A  $TY_1$  tirisztor feszültsége  $t_0$  időpontig negatív. Az  $u_t$  fogyasztói feszültség a kommutáció alatt előjelet vált,  $+U_0/2$ -ről  $-U_0/2$ -re változik. A  $TY_2$  tirisztor  $u_{TY2}$  feszültsége  $t_1$  időpontig a nyitóirányú feszültségesés. Ezalatt a tirisztoron  $i_2$  áram folyik keresztül.

A  $t_1$  időpontot követően az áramkör helyettesítésére nem megfelelő a 14-4. ábra, mivel ekkor már érvényesül  $D_3$  és  $D_5$  diódák hatása. Az  $L_1$  induktivitáson továbbra is a kezdeti  $I_0$  árammal azonos irányú áram folyik, amelyet  $L_1$  induktivitás  $C_2$  kisülése után a  $D_3$  diódán keresztül tart fenn ( $i_{D3}$ ).  $F_1$  fojtó  $i_L$  árama viszont a  $D_5$  diódán keresztül fog záródni, mivel ez kisebb impedanciájú áramút, mint a  $TY_2$  tirisztoron,  $D_2$  és  $D_3$  diódákon keresztül.  $F_1$  fojtó árama most a teljes menetszámú tekercsben folyik, ezért ebben a szakaszban a kezdeti áram  $i_{2\max}$  fele lesz. Ily módon  $TY_2$  tirisztoron nem folyik áram és a tirisztor kialszik.  $TY_2$  tirisztorra kis értékű negatív zárófeszültség jut egészen addig, amíg  $D_3$  dióda áramot vezet.  $TY_2$  kialakítása lehetővé teszi az  $u_t$  feszültség szabályozását oly módon, hogy a  $TY_2$  tirisztor a szabályozási szögnek megfelelő idő elteltével újból gyűjtjük. Ezt a gyűjtést követően a tirisztor a félperiódus végéig vezet, amikor  $TY_1$  gyűjtésével az ismertetett kommutáció megy végbe felcserélt tirisztorokkal.

$t_2$  időpontban megszűnik az áramvissavezetés  $D_3$  diódán keresztül. Ekkor az  $L_1$  induktivitás árama nulla. Ezt követően a  $C_2$  kondenzátor a  $D_2$  diódán és a terhelésen keresztül feltöltődik  $U_0/2$  és  $U_0$  közötti értékre. A pontos értéket a soros rezgőkör csillapítása határozza meg.

A kommutáló áramkör  $L$  és  $C$  paramétereinek meghatározásához kiindulásképpen a (10) egyenlet használható. Ez azonban önmagában nem elegendő. További feltételként bevezethető az, hogy a kommutáció alatt mekkora legyen  $i_2$  maximális értéke. A (6) egyenletet átalakítva kapjuk, hogy

$$i_2(t) = \sqrt{U_0^2 \frac{2C}{L} + 4I_0^2} \sin(\omega t + \arctan k) - I_0. \quad (11)$$

$$i_{2\max} = mI_0 \quad (12)$$

értéket helyettesítve

$$k = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1+m}{2}\right)^2 - 1}} \quad (13)$$

Ily módon  $U_0$ ,  $I_0$ ,  $t_0$  és  $m$  ismeretében meghatározható  $L$  és  $C$  a következők szerint:  $m$  ismeretében a (13) egyenletből  $k$  számítható.  $k$  és  $t_0$  ismeretében (10) egyenlet alapján számítható  $\omega \cdot U_0$ ,  $I_0$ ,  $\omega$  és  $k$  felhasználásával pedig

$$C = \frac{I_0}{kU_0\omega} \quad (14)$$

$$L = \frac{kU_0}{2\omega I_0} \quad (15)$$

Példaképpen határozzuk meg  $L$  és  $C$  értékét arra az esetre, ha 200 V tápfeszültségnél 30 A-t kívánunk kommutálni olyan feltételekkel, hogy az áramtúllendülés kétszeres és a  $t_0$  oltási idő  $50 \mu\text{s}$ .  $m = 2$  ismeretében  $k = 0,9$ .

$\arctg 0,9 = 0,732$  radián

$\arccos 1/2 \sqrt{1+k^2} = \arccos 0,372 = 1,19$  radián

$t_0 = 1,19 - 0,732 = 0,458$  radián

$\omega = 9,16$  kHz

A megfelelő értékeket behelyettesítve a (14) és a (15) egyenletekbe, kapjuk  $C = 18,2 \mu\text{F}$ ,  $L = 328 \mu\text{H}$ .

### 3. Állandó üzemű párhuzamos inverterekből álló szükségáramforrás-rendszer

Ennek a szükségáramforrás-rendszernek az a lényege, hogy a szünetmentes táplálást igénylő kazánautomatikát állandó üzemű inverterek táplálják, a váltakozófeszültségű erőművi segédüzemi hálózatot biztonsági tartalékként sem alkalmazzuk, hanem úgy növeljük a tápberendezés üzembiztonságát, hogy  $(n+1)$ -es rendszerben állandó üzemű melegtartalékkal dolgozunk. Az általunk kifejlesztett rendszerben, ahol a szünetmentes áramforrás csak két párhuzamos inverterből áll, ez 100%-os, teljes értékű tartaléket jelent.

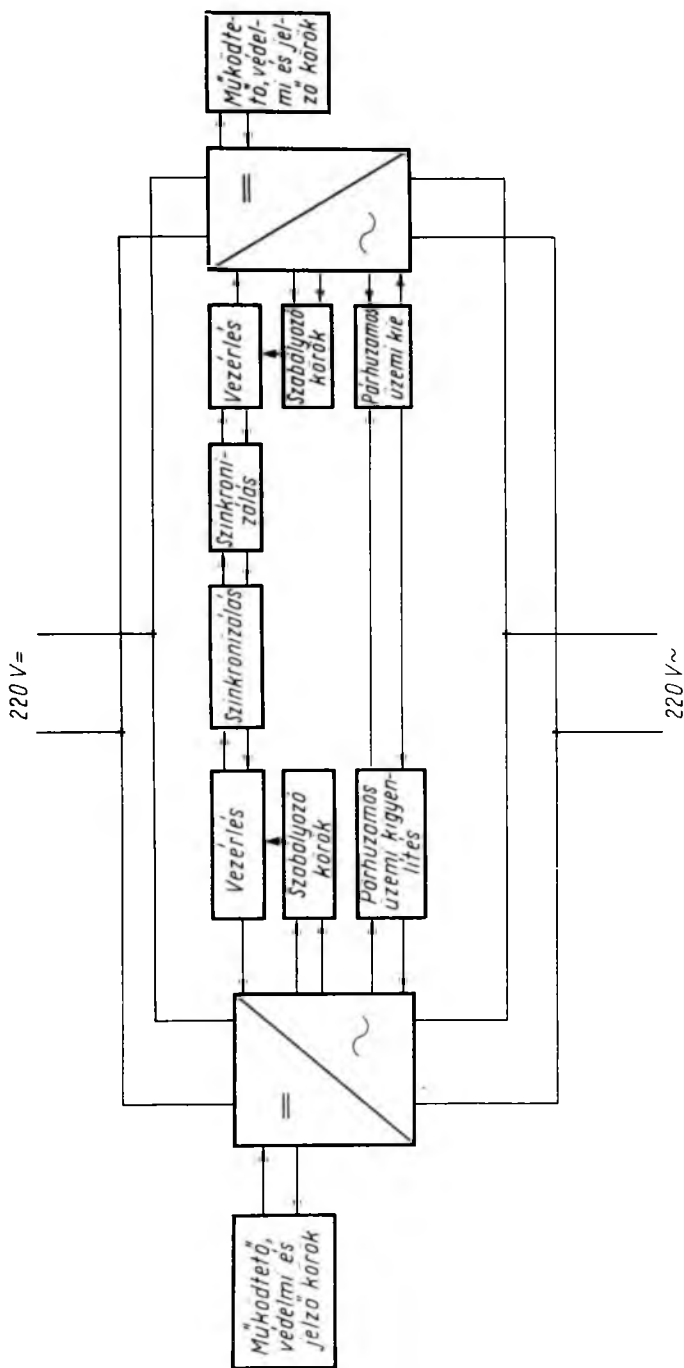
Százhalombattán, ahol ezt az áramellátási módot először alkalmazták, a 200 MW-os blokk kazánautomatikája maximálisan 6 kVA-nyi, alapvetően mágneskapcsolókból álló terhelést jelentett. Az elmondottaknak megfelelően erre a terhelésre 2 db párhuzamosan járó 6,3 kVA teljesítményű invertert építettek be. Mivel a párhuzamos berendezések a terhelést egymás között egyenlően osztják el, normális, zavarmentes üzemállapotban a két inverter egyformán, legfeljebb félterheléssel jár. Ha az egyik inverter meghibásodik, akkor a másik egymaga is képes a teljes terhelés átvételére. A két párhuzamos inverterből álló egység felépítését mutatja a 14-5. ábra.

Tekintettel a 220 V egyenfeszültségű táplálásra, célszerű hídkapcsolású főáramkört választani. A 14-6. ábra szerinti főáramkörü változatot valósítottuk meg, amely egyfázisú hídkapcsolás, a tirisztorok egymás alatti, kondenzátorral és csatolt induktivitással történő oltásával, a kommutálókörből visszatápláló áramváltókkal.

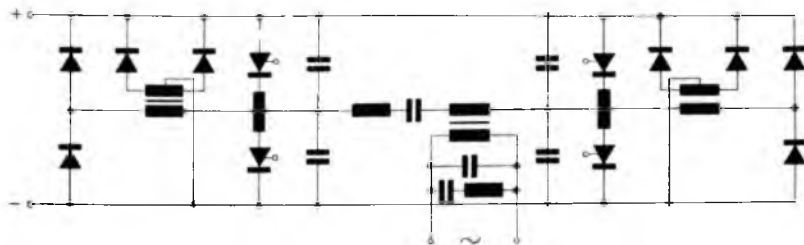
Inverterek párhuzamos üzemeltetésének biztosítása érdekében két alapvető feladatcsoportot kell megoldani:

- a) A két párhuzamosan járó berendezés közül tetszőleges időpontban bármelyiket ki kell tudni venni az üzemből a bent maradó inverter és a terhelőkör megzavarása nélkül, és a másik, továbbra is üzemelő berendezéstől galvanikusan teljes mértékben le kell tudni választani. Ugyanennek a műveletnek visszafelé is megismételhetőnek kell lennie, vagyis az éppen üzemen kívül levő invertert tetszőleges időpontban vissza kell tudnunk léptetni párhuzamos üzembe.
- b) Ha bármelyik berendezés belső meghibásodás következtében üzemképtelenné válik, akkor a párhuzamos üzemből a másik megzavarása nélkül ki kell lépnie és saját magát az a) pont szerinti módon le kell választania.

Először az a) pont szerinti követelményeket vizsgáljuk meg részletesebben, mert ezek megvalósulása a b) pont teljesítésének is feltétele. Mindenekelőtt tisztáznunk kell, hogy mit értünk az alatt, hogy az üzemben maradó készülék megzavarása nélkül kell a műveleteket végrehajtani. Erre, mint minden üzem közbeni tranzienst folyamat



14-5. ábra. Állandó üzemi párhuzamos inverterekből álló szükségáramforrás-rendszer elvi vázlata



14-6. ábra. Hidkapcsolású tirisztoros inverter főáramköri kapcsolása

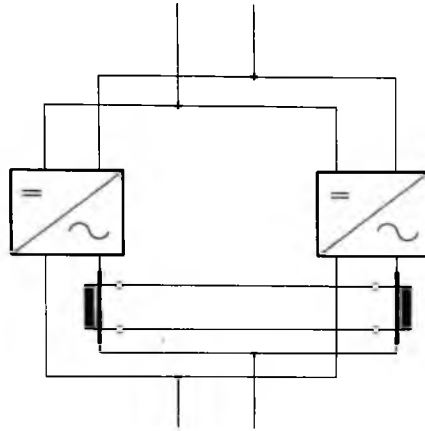
megengedhetőségének elbírálására, végsősoron egyetlen mértékadó kritériumot lehet felállítani: a táplálандó kazánautomatika működésében nem szabad észrevehetőnek lenni, hogy a tápoldalon történt valami változás. Ennek a követelménynek a megítélésére csak annyit jegyzünk meg, hogy a kazánautomatikákat általában olyan gyors működésű mágneskapcsolókból építik fel, amelyek ejtési ideje többnyire 10 ms alatt van.

A két inverter párhuzamos üzeme eleve feltételezi, hogy az inverterek tökéletes szinkronban járnak és kimeneti feszültségük is megegyezik. Mínt hogy az követelmény, hogy az egyes inverterek tetszőleges sorrendben ki- és bekapcsolhatók legyenek, a szinkronkapcsolatnak olyannak kell lennie, hogy az utóbb belépő berendezés szinkronozódjék hozzá a már üzemelőhöz, anélkül, hogy ezáltal alárendelt viszonyba kerülne vele. A korábban bekapcsolt készülék esetleges kilépése már semmilyen módon nem hat vissza a másik vezérlésére. Ez a gyakorlati megvalósításban a következőt jelenti: amikor bekapcsoljuk az első invertert, annak vezérosszcillátora a beállított frekvencián rezegni kezd és a két berendezés vezérléseit összekötő szinkron vezetékekre állandó frekvenciájú szinkron impulzussort bocsát ki. A második inverternek először csak a vezérlése kapcsolódik be. Ez fogadja az első berendezés szinkron impulzusait, amelyek hatására vezérosszcillátora csak azokkal szinkron helyzetben tudja saját rezgését megkezdeni. Ezt követően ez az oszcillátor is szinkron impulzusokat kapcsol a szinkron vezetékekre. Mivel azonban a két vezérlést összekötő szinkron vezetékek közösek, azokon valójában csak egyetlen impulzussor van, amelyet mindkét vezérlés egyszerre ad ki és egyszerre fogad, tehát a két vezérlés teljesen egyenrangú állapotban van. Most már akármelyik vezérlést kapcsoljuk is ki, az üzembe való szinkron visszalépést biztosító impulzussor mindenképpen megmarad és mindig az „alkalmazkodik” hozzá, amelyiknek be kell lépnie.

Mínt láttuk, az üzembe való belépés mindig a vezérlés bekapcsolásával kezdődik. Ekkor még a főáramkör mind az egyen-, mind pedig a váltakozóáramú oldalon le van választva. A vezérlések szinkronizálása után kap tápfeszültséget a főáramkör, majd a stabil üzemállapot beállta után kapcsolódik csak rá a terhelés az inverter kimenetére.

A két berendezés megfelelő paraleljáráshoz természetesen nem elegendő önmagában a kimeneti feszültségek szinkronizmusa, hanem a két feszültség amplitúdójának tökéletes azonossága is szükséges még ahhoz, hogy a terhelőáramot egymás között egyformán osszák, ill. hogy az egyik ne táplálhasson rá a másikra. Ez a követelmény a kimenetek közvetlen merev összekötése esetén tartósan nem teljesíthető, különös tekintettel az inverterek viszonylag kis kimeneti impedanciájára. Párhuzamos üzem esetén feltétlenül szükséges az inverterek kimeneteire áramkiegyenlítő elemeket elhelyezni, amelyek a két berendezés közötti mindenkor pontos áramosztást biztosítják. Esetünkben erre a célra szekunder tekerccsel keresztbe csatolt áramváltókat alkalmaztunk (lásd 14-7. ábra).





14-7. ábra. Az áramkiegyenlítés megoldása két párhuzamos inverter esetén

A *b*) pont szerinti követelményeket, vagyis azt, hogy ha valamelyik berendezés meghibásodik, akkor az a másik megzavarása nélkül essen ki az üzemből, szintén több szempontból kell megvizsgálni.

A hiba alapvetően két helyen következhet be: a főáramkörben és a vezérlőkörökben. Ha a hiba az egyenáramú tápoldalon van az inverter előtt (pl. zárlat a bemeneti pufferkondenzátor-telepben), akkor ez nem jelent közvetlen zavart a kimenetre, mert például a meghibásodott kondenzátort tartalmazó egységet saját biztosítója gyorsan leválasztja és ha a kondenzátortelep  $(n+1)$ -es rendszerben van felépítve, az inverter még tovább is üzemelhet. (Ebben az esetben a védelem csak két kondenzátoregység kiesése esetén lépteti ki a berendezést.) Ha a hiba magában az inverter főáramkörben van, például félvezető-meghibásodás, akkor a hidas védő gyorsbiztosító olvad ki és ad a védelmi körökön keresztül lekapcsolási parancsot. A kimeneti szinuszosító belső zárlatait külön védelmi egység figyeli, amely akkor is leválasztja a berendezést, ha nem belső zárlat van ugyan, de a másik inverter bármely okból rátáplál annak a kimenetére.

A vezérlésben bekövetkező hibák hatása kettős lehet. Egyrészt általában főáramkörü hibát is okozhat (pl. a hídban levő tiriszorok összegyújtása következtében biztosító olvad ki), ami magával vonja a berendezés azonnali kikapcsolását. Másrészt a közös szinkron vezetékeken keresztül a hibás vezérlés közvetlenül megzavarhatja a másik vezérlést. Ennek elkerülésére egyrészt a szinkronozó köröket transzformatóroson szét kell választani, hogy hiba esetén az esetleges téves statikus szintek ne kerülhessenek át, másrészt sávszűrők beiktatásával hamis frekvencia átjutása is kiküszöbölhető, bár ez utóbbi alkalmazását a meghibásodási statisztikák nem indokolják, és berendezésünkbe sem építettük be.

A két szünetmentes áramellátási rendszer rövid ismertetéséből is kitűnik, hogy kazánautomatikák táplálására mindkét változat egyaránt alkalmas, a követelményeket mindkét módon maradéktalanul teljesíteni lehet. Azt, hogy mikor melyik változatot kell választani, mindig a helyi adottságok döntik el, például az, hogy milyen minőségű, felépítésű és kiterjedtségű a helyi erőművi, biztonsági, segédüzemi váltakozófeszültségű hálózat.



# 15.

## Hibrid táplálású, villamos hajtású autóbusz

*NAGY PÉTER*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A növekvő légszennyeződés és az elektrotechnika újabb eredményei kapcsán előtérbe kerültek a villamos közúti járművek fejlesztésének kérdései. Ezzel kapcsolatban összehasonlítjuk az ólomakkumulátor és a belsőégésű motor folyékony üzemanyagos energiatárolását. Meghatározzuk és indokoljuk a hibrid táplálást. Ismertetjük a járműüzemi követelményeket és egy külföldi hibrid autóbusz adatait. Leírjuk a VKI-ban összeállított modellt és ismertetjük a tervezett IK 260/1. HIBRID főbb adatait.

### АВТОБУС ГИБРИДНОГО ПИТАНИЯ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

*П. Надь*

#### Резюме

Растущее загрязнение воздуха и новые достижения электротехники поставили на первый план вопросы разработки электрических транспортных машин.

В связи с этим сравниваем энергоемкость свинцовых аккумуляторов и двигателя внутреннего сгорания с жидким горючем. Определим и мотивируем гибридное питание. Излагаем требования к режиму и параметры одного заграничного гибридного автобуса. Опишем модель, созданный в ИИЭП (Исследовательский Институт Электрической Промышленности) и приводим основные данные планированного автобуса IK 260/1. HIBRID.

### HYBRID-GESPEISTER OMNIBUS MIT ELEKTRISCHEM ANTRIEB

*P. Nagy*

#### Zusammenfassung

Die anwachsende Luftverunreinigung und die neueren Ergebnisse der Elektrotechnik stellen die Entwicklungsfragen der elektrischen Strassen-Fahrzeuge in den Vordergrund. In diesem Aufsatz werden die Energiespeicherung der Bleiakkumulatoren und die von flüssigem Brennstoff der Verbrennungsmotoren verglichen. Die Hybrid-Speisung wird bestimmt und begründet. Die Fahrzeug-Betriebsanforderungen und die Daten eines ausländischen Hybrid-Omnibusses werden dargelegt. Das im Forschungsinstitut der Elektroindustrie zusammengestellte Modell wird beschrieben und die wichtigsten Daten des geplanten IK 260/1. HYBRID Omnibusses dargelegt.

## HYBRID SUPPLIED, ELECTRIC DRIVEN BUS

P. Nagy

### Summary

The increasing air pollution and the newer results of the electrical engineering took up the question of the electric vehicle development. The paper deals with the comparison of the power storage of the lead-acid battery and that of the liquid fuel of the internal combustion engines. The hybrid supply is determined and motivated. The requirements of the vehicle running performance and the data of a foreign hybrid bus are described. The model assembled at the Research Institut of the Electrical Industry and the main data of the planned IK 260/1. HIBRID are described.

### 1. Bevezetés

Harminc év szünet után, az 1950-es évek vége óta ismét erőteljesen folyik a pályához nem kötött üzemű villamos közúti járművek — régi nevükön elektromobilok — fejlesztése. Ennek oka egyrészt, hogy a légszennyeződés és zaj egyre nő a nagyvárosokban, másrészt, hogy az erősáramú elektronika, az akkumulátorok, a tüzelőanyag-cellák és az elektrotechnika más területei sokat fejlődtek, és további idevágó eredmények várhatók. Az egyik közúti villamos járműtípus a hibrid táplálású autóbusz, amelynek a VKI által végzett fejlesztéséről kívánunk beszámolni.

Villamos járművek tárgyalásakor célszerűen különválasztható az energiaellátás és a hajtás kérdése.

Az energiaellátás három legrégebben kialakult alapvető rendszere közül a munkavezeték és a járművön elhelyezett áramfejlesztős megoldás elsősorban a sínjárművek, a villamos energiatárolós — akkumulátoros — megoldás pedig főleg a villamos közúti gépjárművek táplálására használatos. A járművön elhelyezett áramfejlesztős táplálás — a sínjárművekkel ellentétben — a közúti járműveknél ritka, s akár az akkumulátoros sínjárművet, csak különleges célokra szokták alkalmazni.

Figyelmen kívül hagyva a munkavezeték közúti villamos járműveket, a troli-buszokat, vizsgáljuk meg a közúti villamos járművek energiaellátásának villamos energiatárolós megoldását.

Ahhoz, hogy tiszta képet nyerjünk, összehasonlítjuk tárolóképeség szempontjából a villamos tárolást és a belsőégésű motoros járművek folyékony üzemanyaggal való energiatárolását.

### 2. Ólomakkumulátor és folyékony üzemanyag összehasonlítása önmagában, a hatásfok figyelembevételével

A villamos hajtású közúti járművek villamos energiatárolóról való táplálására — gazdasági okokból — ma még csak az ólomakkumulátor áll rendelkezésre. A jelenlegi hazai járművontató ólomakkumulátorok 1 cellára vonatkoztatott 5 órás energiatároló képessége legfeljebb  $Q_c = 27 \text{ Wh/kg}$ . Egyrészt az összekötések, a tartóládák és az egyéb szerelvények járulékos tömege miatt, másrészt mivel nem süthetjük ki teljesen az elemeket, a ténylegesen figyelembevehető érték csak kb.  $Q_t = 22 \text{ Wh/kg}$ . Ha ezt megnöveljük a visszatáplálással nyerhető kb.  $r = 12\%$  hozzászámításával, akkor a  $G_{\text{össz}} = 3 \text{ tonna} = 3 \text{ Mg}$  össztömegben felüli, városi közúti villamos járműveknek, a tároló kimenetére vonatkoztatott energiaigényére — ha a hajtásra  $\eta_e = 75\%$ -kal,

a kerékre pedig  $A = 75 \text{ Wh/tkm}$  fajlagos energiafogyasztás-értékkel számolunk — durván  $M = 4 \text{ kg/tkm}$  fajlagos tárolási súly adódik.

$$M = \frac{A}{Q_h} = A \cdot \frac{(1-r)}{\eta_e \cdot Q_t} \approx 4 \text{ kg/tkm.}$$

Ez azt jelenti, hogy az összsúly 1 tonnájának 1 km-re való továbbításához közel 4 kg tömegű hazai ólomakkumulátor-telep kell.

A belsőégésű motoros járművek folyékony üzemanyagának fűtőértékére vegyünk fel  $Q_c = C = 10\,000 \text{ kcal/kg} = 11\,630 \text{ Wh/kg}$  fajlagos értéket. Ha ehhez  $\eta_e = 21,5\%$  eredő hatásfokot ( $\eta_{\text{motor}} \cdot \eta_{\text{áttelek}}$ ) tételezünk fel az üzemanyag és a hajtóerő között, akkor az üzemanyagtartályra vonatkoztatott fajlagos energiatároló képességre kb.  $Q_h = 2500 \text{ Wh/kg}$ , ill. ha  $A = 75 \text{ Wh/tkm}$ , a fajlagos tárolási súlyra kb.  $M = 0,03 \text{ kg/tkm}$  adódik.

Látható, hogy a felvett értékekkel a folyékony üzemanyag energiatároló képessége — az üzemanyagtartály és az útfelület közötti részek hatásfokának a figyelembevételével — nagyjából kereken 130-szorosa az ólomakkumulátorénak. A pontosabb érték egyébként 100...180, a kisebb értékek a kisebb, benzinmotoros, a nagyobbak a nagyobb, dieselmotoros járművekre értendők.

### 3. Ólomakkumulátor és folyékony üzemanyag összehasonlítása a hatásfok, a motor-, a szabályozó-, ill. a sebességváltósúly és a futásteljesítmény figyelembevételével

A járműveken való alkalmazás szempontjából az összehasonlítás céljára az ólomakkumulátor-telep teljes tömegéhez a villamos szabályozó, a villamos motor és azok segédberendezéseinek, a folyékony üzemanyag és tartálya tömegéhez pedig a belsőégésű motor, a sebességváltó és azok segédberendezéseinek tömegét is hozzá kell vennünk. Korszerű,  $G_{\text{össz}} = 16 \text{ t}$  összsúlyú, kéttengelyes trolibusz, ill. dieselmotoros autóbusz adatai alapján a motor- stb. súlyok együttes fajlagos értéke kb.  $G_m = 50$ , ill.  $90 \text{ kg/t}$ . Egy szokványos közúti jármű teljes tömegének legfeljebb 20...30%-át teheti ki a tároló és a motor, valamint a szabályozó és segédberendezéseik együttes tömege. Tételezzünk fel 25%-ot. Villamos motor hajtás esetében ekkor kb.  $G_t = 250 - 50 = 200 \text{ kg/t}$  fajlagos súly marad a tárolóra.

A közbenső tankolás nélküli futásteljesítmény szokásos értéke belsőégésű motoros közúti járműveknél  $F \approx 500 \text{ km}$ . Városi autóbusz esetében a napi futásteljesítmény ennek kb. a fele. Az ismertetett (kerekített) tájékoztató értékekkel táblázatot állítottunk össze, amely a kisebb önsúlyú és a benzinmotoros járművekre is helyes minőségi összehasonlító képet ad.

#### Jelölések

Cella (üzemanyag-) tárolási képessége

Telep tárolási képessége

Hatásos tárolási képesség

Motor stb. fajlagos tömege

Tároló fajlagos tömege

Futásteljesítmény két feltöltés (tankolás) között

Eredő tárolási képesség

$Q_c$  Wh/kg

$Q_t = (0,8 \dots 0,9) Q_c$  Wh/kg

$Q_h = \frac{\eta_e}{1-r} Q_t = \frac{FA}{G_t}$  Wh/kg

$G_m$  kg/t

$G_t$  kg/t

$F = \frac{Q_h G_t}{A}$  km

$Q_e = Q_h \frac{G_t}{G_t + G_m}$  Wh/kg

*Hatásos tárolóképeségek és futásteljesítmények összehasonlítása:*

	$Q_c$ Wh/kg	$Q_t$ Wh/kg	$Q_h$ Wh/kg	$G_m$ kg/t	$G_t$ kg/t	$G_t + G_m$ kg/t	$F$ km	$Q_e$ Wh/kg
Ólom- akkumulátor— villamos motor	27	22	19	50	200	250	50	15
Gázolaj— diesel motor	11 630	10 000	2500	90	160	250	5333	1600
Szükséges villamos tároló villamos— motor	130	110	94	50	200	250	250	75
	260	220	188	50	200	250	500	150

A táblázat első sorában az ólomakkumulátoros jármű adatai vannak. Látható, hogy az ólomakkumulátoros jármű — közbenső töltés vagy telepcsere nélkül — még a közeljövőben várható  $Q_t = 50$  Wh/kg tárolóképeségű ólomakkumulátor-telepek használata esetén is csak kis hatósugarú lehet.

A második sorban ugyancsak 25%-os  $G_t + G_m$  együttes súly esetére számítottuk ki a belsőégésű motoros jármű  $F$  futásteljesítményét, míg a harmadik sorban a szokásos  $F$  értékhez szükséges  $G_t$ -vel számoltunk.

Végül a negyedik és az ötödik sorban 25%-os  $G_t + G_m$  tömeg esetén valóban szükséges villamos tároló értékeit adjuk meg. A felvett  $F = 250$ , ill. 500 km futásteljesítményhez az ólomakkumulátor tárolóképeségéhez képest csak kb. öt-, ill. tízszeres tárolóképeségű energiatároló szükséges. Ennek oka, hogy egyrészt az ön-, ill. az összsúly nagyobb része lehet a tárolóra eső rész, mint amekkora a belsőégésű motoros járműveknél szokásos, másrészt a villamos hajtás súlya kevesebb, mint a dieselmotoros hajtásé.

#### 4. A hibrid táplálás előtérbe kerülése

Az egyes közúti járműfajtákkal szemben támasztott üzemi követelmények meghatározzák e járművek energia- és teljesítményigényét, ill. egyrészt a hasznos súlyt, az összsúlyt és a hatósugarat, másrészt a gyorsítási, az emelkedési és a haladási készséget. A fejlődés során üzemi okokból műszaki adataik szempontjából egyre inkább elválnak egymástól a nagy sebességű és nagy futásteljesítményű (hatósugarú) városközi és a  $V_{e\max} = 50$  km/h legnagyobb engedélyezett sebességű, kisebb futásteljesítményű városi közúti járművek. Ez a szétválás igen kedvező a villamos közúti járművek közeljövője szempontjából. A városi személyautókhöz ugyanis és kb.  $G_{\text{össz}} = 3,5$  t összsúlyig a városi kis teherautókhöz, valamint a városi kis autóbuszokhoz az ólomakkumulátoros energiatárolás is megfelel, mivel e három járműfajta két feltöltés közötti napi futásteljesítménye  $F = 50 \dots 100$  km.

A városi közúti járművek menete lényegében gyorsítás, lassítás és várakozás egymásutánjából áll. 50 km/h sebességű haladásra a menetidőnek csak pár százaléka esik. Menetben a két megállás közötti időköz általában  $T_{\text{meg}} = 0,4 \dots 3,0$  min. A vil-

lamos motor a várakozás idején áll, s a pár perc időtartamú terhelési szakaszok utáni terhelésszünet határozottan előnyös az ólomakkumulátor szempontjából.

Az újrendszerű könnyű akkumulátorok és a tüzelőanyagcellák tárolóképesége már eléri az  $F = 250$ , ill.  $500$  km futásteljesítmény-igényű közúti járműfajtákhoz szükséges értékeket. Mihelyt ezek gazdaságilag használhatóvá válnak, megvalósulhatnak nagyobb futásteljesítményű villamos közúti járművek is.

Az átmeneti időre vált ismét időszzerűvé a *hibrid táplálás*. Ezzel a rendszerrel a tápegység együttes tárolóképesége 4. . 8-szorosa az ólomakkumulátorénak. Például a VKI-ban tervezett összesen 16 t tömegű városi autóbusz tápegységének tárolóképesége  $Q_t \approx 100$  Wh/kg, a határos tárolási képesség  $Q_h = 85$  Wh/kg, az eredő tárolóképeség pedig  $Q_e \approx 70$  Wh/kg.

Villamos közúti járművek esetén hibrid tápláláson két különböző rendszerű villamos áramforrás párhuzamos, puffer jellegű üzemét értjük. Kísérleti járművekben tüzelőanyagcella—akkumulátor és többféle változatú akkumulátor hibrid tápegység is előfordul, mégis a töltőgenerátor—ólomakkumulátor táplálást értjük leginkább hibrid táplálás alatt. A generátort hajtó gép rendszerint dieselmotor, bár benzinmotort, gázturbinát, sőt Stirling-motort is alkalmaztak már ilyen célra. A hibrid táplálás tehát általában a villamos energiatárolós és a jármű-áramfejlesztős megoldás kombinációja.

A hibrid tápegység tárolási súlya városi autóbuszoknál szükséges napi  $F \approx 250$  km futásteljesítmény szempontjából megfelelő, maga a tápegység azonban bonyolultabb, terjedelmesebb és súlyosabb, mint a robbanómotor-üzemanyag-tárolós megoldásé. Városi üzemben mégis alkalmazható, mert egyrészt kihatártható a puffer üzem és a villamos hajtás, másrészt városban döntően fontos a légszennyezés és a zaj csökkenése. Hibrid tápegység esetén városi üzemben lehetőség van az akkumulátor üzem közbeni töltésére. Városi autóbusz esetében a gyorsítás alatti teljesítményszükséglet az átlagosnak a 2,5-szeresét is eléri. Hibrid táplálással a motorgenerátor csak a veszteségekkel növelt átlagteljesítményt szolgáltatja, a gyorsítás ideje alatt az akkumulátor adja a többletet. Az átlagnál kisebb teljesítményigénynél viszont a fennmaradó résszel tölthető az akkumulátor.

## 5. Járműüzemi követelmények

A városi üzemű, nem hegyvidéki autóbusz járműüzemi követelményei (együttal kb. a VKI által tervezett hibrid táplálású villamos autóbusz adatai):

elől egyes, hátul kettős kerekkel ellátott, kéttengelyes közúti jármű engedélyezett összsúlya:	$G_{\text{össz}} = 16$ t
hasznos súly legkevesebb:	$G_h = 4,2$ t (60 utas)
a KRESZ által előírt, megengedett legnagyobb sebesség:	$V_{e \text{ max}} = 50$ km/h
indítási gyorsulás kb. 15 km/h-ig:	$a_{\text{gy}} \approx 1,0$ m/s <sup>2</sup>
felgyorsulás ideje $V_{e \text{ max}}$ -ra, sík úton legfeljebb:	$t_{\text{gy}} = 23$ s
emelkedőképesség (hegymászó képesség):	11%
átmeneti emelkedőképesség:	16%
futásteljesítmény legalább:	$F_{\text{nap}} = 240$ km
legnagyobb fékllassulás:	$a_f = 5,5$ m/s <sup>2</sup>

## 6. Külföldi kísérleti jármű adatai

Kísérleti célra már a legtöbb iparilag fejlett nagy országban készített hibrid táplálású autóbust, így Angliában, Japánban, az NSZK-ban, Olaszországban, a SZU-ban és az USA-ban is. Nagyobb darabszámról nincsen tudomásunk. Részletes adataink vannak a Daimler-Benz—Bosch—Varta (NSZK) cégek hibrid táplálású villamos autóbuszának két változatáról. Ezek a fő adatok a következők:

*Járműtípus:* Mercedes-Benz OM 302

összsúly:	$G_{\text{össz}} = 16 \text{ t}$
hasznos súly:	$G_{\text{h}} = 4,5 \text{ t}$
teljes hossz:	$H = 11 \text{ m}$
legnagyobb sebesség sík úton:	$V_{\text{max}} = 70 \text{ km/h}$
indítási gyorsulás 20 km/h sebességig:	$a_{\text{gy}} = 1,0 \text{ m/s}^2$
felgyorsulás ideje $V = 50 \text{ km/h}$ -ra, sík úton:	$t_{\text{gy}} = 22 \text{ s}$
emelkedőképesség:	11%
átmeneti emelkedőképesség:	16% (0...22 km/h)

*Tápegység*

*Dieselmotor:* Daimler-Benz OM 352 (OM 314)  
(Zárójelben a kisebb motorú változat értékei.)

teljesítmény DIN 6270 B szerint:	80 (65) LE
állandó fordulatszám:	2200 $\text{min}^{-1}$
hengerszám:	6 (4) db
összes lökettérfogat:	5,68 (3,8) l
motor tömege:	380 kg

*Töltőgenerátor:* Robert Bosch

háromfázisú váltakozóáramú generátor, feszültségszabályozással,  
háromfázisú egyenirányító híd.

*Akkumulátortelep:* Varta páncéllemez olomakkumulátorok, külön szellőzéssel

névleges 5 órás kapacitás:	250 Ah
cellaszám (valamennyi cella sorbakötve):	189 db
tömeg:	2300 (3500) kg

*Hajtás*

*Egyenáramú szaggató:* Robert Bosch

kétpontszabályozás; az áram ingadozása szabja meg a bekapcsolási és a periódusidőt;  
a legnagyobb frekvencia (a szabályozási tartomány közepén): kb. 200 Hz

*Vontatómotor:* Robert Bosch.

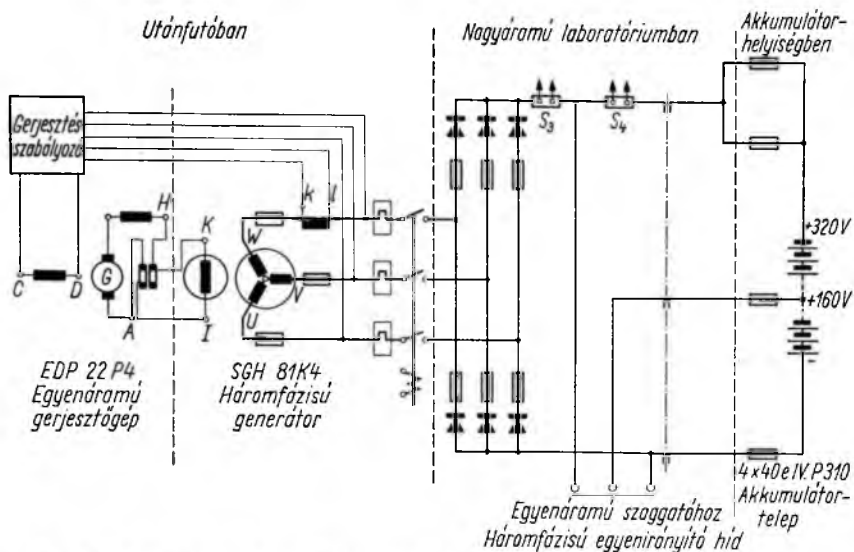
külső gerjesztésű egyenáramú motor; mezőgyöngítés impulzusszélesség szabályozással	
állandó teljesítmény ( $n = 1600 \dots 4800 \text{ min}^{-1}$ között):	115 kW
tömeg:	500 kg
lassító áttétel:	$i = 2,14$

*Pedálok:* Csak menet- és fékpedál. A menetpedál alapjele és a fordulatszámadó jele közötti eltérés vezérli a szaggató tirisztorainak a gyújtását. A menetpedál felengedése kismérvű visszatápláló fékezést jelent. A fékpedál lenyomása először a villamos visszatápláló fékezést működteti, s csak további lenyomása hat a légfékre.

## 7. Hibrid táplálású villamos hajtású autóbusz kísérleti laboratóriumi modellje

A VKI-ban a hibrid táplálású villamos autóbusz kérdésének a tanulmányozására kísérleti modellt állítottunk össze. A laboratóriumi modell részei:





15-1. ábra. Laboratóriumi modell. Tápegység elvi kapcsolása

*Tápegység* (l. 15-1. ábra).

A modellhez GANZ-MÁVAG MD 613 típusú járműves utánfutó áramfejlesztő gépcsoportot vásároltunk. Ennek adatai:

**Dieselmotor:**

tartós állandó teljesítmény  
szabályozott állandó fordulatszám  
hengerszám  
összes lökettérfogat

**CSEPEL D 613**

$P_{\text{diesel}} = 75 \text{ LE}$   
 $n_{\text{diesel}} = 1500 \text{ min}^{-1} \pm 3\%$   
 $Z = 6 \text{ db}$   
 $V = 7,98 \text{ l}$

**Háromfázisú generátor:**

névleges periódusszám  
névleges látszólagos teljesítmény  
névleges láncolt feszültség  
vonali áram  
a generátor forgórészfeszültsége  
a generátor forgórészárama

**EVIG SGH 81 K4.**

$f = 50 \text{ Hz}$   
 $P_{\text{gen}} = 60 \text{ kVA}$   
 $U_{\text{gen}} = 400 \text{ V}_{\text{eff}}$   
 $I_{\text{gen}} = 86,6 \text{ A}_{\text{eff}}$   
 $U_{\text{IK}} = 64 \text{ V}$   
 $I_{\text{IK}} = 10,8 \text{ A}$

Ráépített EVIG EDP 22 R4 típusú, 1,5 kW-os egyenáramú gerjesztőgéppel. A VISZÉK GENSTAT 0,5/50 típusú gerjesztésszabályozó feszültség szabályozóját az ólomakkumulátoros puffer üzemnek megfelelően átalakítottuk és kiegészítettük tranzisztoros áramkorlátozással.

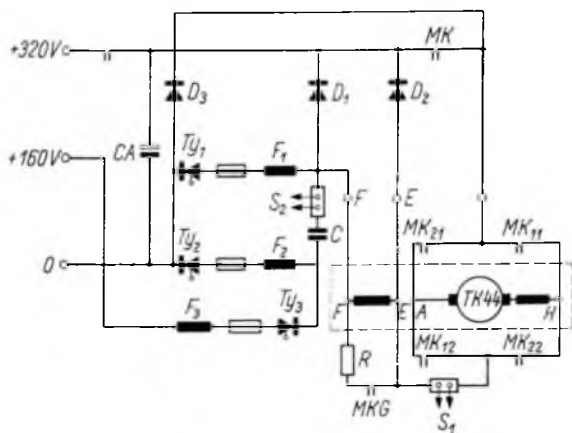
**Háromfázisú egyenirányító híd.**

A főgyenirányító háromfázisú hidkapcsolású. A VKI-ben kialakított berendezésben szaranszki gyártmányú VL 200 típusú diódákat alkalmaztunk. Az akkumulátortelep töltés alatti gázképződésének elkerülésére cellánként maximum 2,4 V-tal töltünk. Ezért a főgyenirányító legnagyobb kimenő feszültsége  $U = 384 \text{ V}$ . A fedés és egyéb tényezők okozta terhelés alatti feszültségesésre 5%-ot számítva, ehhez a generátort

$U_{\text{eff}} = 0,74 \cdot 384 \cdot \frac{1}{0,95} = 299 \text{ V}$  feszültségre kell szabályozni. Mivel a generátor névleges vonali árama  $I_{\text{gen}} = 86,6 \text{ A}$ , az egyenirányító híd kimenő árama legfeljebb kb.  $I = 1,225 \cdot 86,6 = 106 \text{ A}$  lehet. Erre az értékre állítottuk be az áramkorlátozást.

**Akkumulátortelep:** 4 db VBKM 40 e. IV. P 310 műanyagszövet-táskás, páncéllemezes járművontató ólomakkumulátor-telep

névleges 5 órás kapacitás  $C_5 = 260 \text{ Ah}$   
 cellaszám  $B = 160 \text{ db}$



15-2. ábra. Laboratóriumi modell. Egyenáramú szaggató és vontatómotor

A 4 db 80 V-os telepet sorbakötöttük és az egyes cellákat összekötő lamellákat a  $C_5$ -nek megfelelő 52 A-nál nagyobb áramokra való tekintettel nagyobb keresztmetszűre cseréltük ki.

### Hajtás.

Egyenáramú szaggató és egyenáramú vontatómotor (l. a 15-2. ábrát).

#### Szaggató.

Az egyenáramú szaggatót a VKI-ban alakítottuk ki. Főáramú elemeit a főgyenirányítóval közös, fölülről szívott levegőhűtésű szekrénybe szereltük.

egyenáramú szaggató főtirisztor ( $Ty_1$ )	AEG 171 F
segédtirisztorok ( $Ty_2$ és $Ty_3$ )	Szaranszk VKDU 150
főáramkörü diódák ( $D_1, D_2, D_3$ )	Szaranszk VL 200

A főtirisztor oltását a  $Ty_2$  segédtirisztor gyújtásakor a  $C$  oltókapacitátor végzi. A főtirisztor gyújtásával egyidejűleg gyújtjuk a  $Ty_3$  segédtirisztor az oltókapacitátor teljes feltöltése céljából. Amíg a  $Ty_1$  zárt, addig a  $D_1$  diódán át folyik az áram. Féküzemben az  $MK$  fékkontaktor kikapcsolódik, majd a két mágneskapcsoló-pár megfordítja az  $AH$  kapcsok bekötését.

A főtirisztor gyújtásakor a  $D_3$  diódán át rövidrezáródik a motor, míg a zárás idején a fékező áram a  $D_1$  diódán át az akkumulátort tölti. A  $D_2$  dióda önműködő mezőgyöngítést végez ha az  $AH$  kapcsokon túlságosan emelkedik a feszültség.

### Menetszabályozó és vezérlés.

Az egyenáramú szaggató és az egyenáramú vontatómotor vezérlőrendszer kiseréinek gerjesztése, a főáramköri kontaktorok működtetése és az elektronikus menetszabályozó energiaellátása +24 V-ról történik. A szaggató főtirisztora 12 ms-onként kap gyújtóimpulzust, tehát  $f = \frac{1}{T} = \frac{10^3}{12} = 83,3$  Hz alaphfrekvenciával dolgozik. A gyújtás és oltás közötti időtartam változtatásával a menet- és fékpedálnak megfelelő potenciométerekkel állítható a szaggató közepes kimenő feszültsége.

A motor indításakor a motor, ill. a szaggató áramát külön áramkorlátozó érzékelő és a beállított árammaximumnál gyújtja az oltótirisztort. Teljes kivezérlésnél  $Ty_2$  gyújtása letiltható abból a célból, hogy az akkumulátor feszültségét tartósan rákapcsolhassuk a motorra.

Ha ugyanis  $U_{sz}$  a szaggató közepes kimeneti feszültsége,  $U_a$  az akkumulátor kapcsolófeszültsége és  $\Delta U$  az összes feszültségesés az akkumulátortól a motorig, akkor elméletileg:

$$U_{sz} = U_a \frac{t_{be}}{t_{be} + t_{ki}} - \Delta U.$$

A főtirisztort oltásakor a szabaddáválási idő, a tartalékidő és az újabb oltás előtt szükséges kondenzátorfeltöltési idő stb. csökkenti  $U_{sz}$  értékét. Az oltás letiltásával  $t_{ki}$ -t nullára csökkenthetjük.

*Kontaktorok*: 6 db; GVM Baja EGm 214 B típus.

állandó áram:

$$I_{\text{áll}} = 280 \text{ A}_-$$

névleges feszültség:

$$U = 600 \text{ V}_-$$

*Vontatómotor*: EVIG (GVM) TK 44 típusú egyenáramú soros motor:

állandó teljesítmény:

$$P_{\text{áll}} = 61 \text{ kW}$$

névleges feszültség:

$$U_n = 300 \text{ V}$$

állandó áram:

$$I_{\text{áll}} = 230 \text{ A}$$

legnagyobb fordulatszám:

$$n_{\text{max}} = 3500 \text{ min}^{-1}$$

forgórész lendítőnyomatéka:

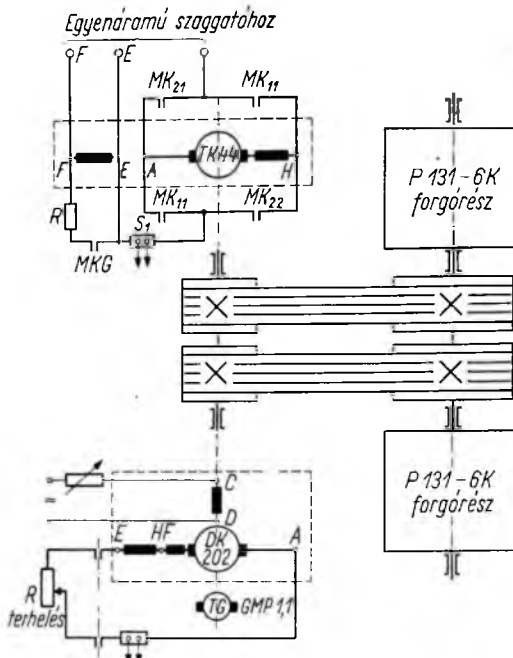
$$GD^2 = 6,5 \text{ kgm}^2$$

A motor irányváltását két kontaktorpár végzi. A kontaktorok indulás előtt kézi kapcsolással is működtethetők. A mezőgyöngítő kontaktor működtetését az egyenáramú fordulatszámjelző generátorról vett jelről elektronikus érzékelőkapcsolás vezérli automatikusan. A motor áramérzékelést e célra készített sönttel, a fordulatszám-érzékelést pedig Hübner GMP 1,1 típusú egyenáramú, kommutátoros tachogenerátorral végezzük.

*Terhelés* (l. 15-3. ábra).

Az autóbusz-hajtást terhelő nyomatékok modellezését részben villamos terhelő generátorral, részben ékszíjtáttétellel hajtott, nagy tehetetlenségi nyomatékú, villamosmotor-forgórészekkel oldottuk meg.

Szögvaskeret két oldalára szereltük a TK 44 típusú vontatómotort és a terhelőgenerátor céljára szolgáló DK 202 típusú vontatómotort. A két gép forgórészét bakcsapágyakba ágyazott tengely köti össze. A tengelyre 2 db 5—5 hornyos ékszíjtárcsát ékelünk.



15-3. ábra. Laboratóriumi modell. Terhelés elvi vázlata

*Terhelőgenerátor*: GVM DK 202 (vegyes gerjesztésű vontatómotor)

névleges órás teljesítmény:

$$P = 86 \text{ kW}$$

névleges feszültség:

$$U = 600 \text{ V}$$

névleges órás áram:

$$I = 160 \text{ A}$$

külső gerjesztőtekercs névleges árama:

$$I_{sh} = 1,72 \text{ A}$$

legnagyobb fordulatszám:

$$n_{max} = 3000 \text{ min}^{-1}$$

forgórész lendítőnyomatéka:

$$GD^2 = 9,5 \text{ kgm}^2$$

Külső áramforrásról gerjesztjük a külső gerjesztőtekercssel és generátorként fém terhelőellenállásra terheljük.

*Külön lendítőtömeg*: 2 db Elektrotlyazmas P 131-6 K motor forgórésze, 2×5 ék-szíjas áttétellel

névleges fordulatszám:

$$n = 1100 \text{ min}^{-1}$$

egy motor forgórészének lendítőnyomatéka:

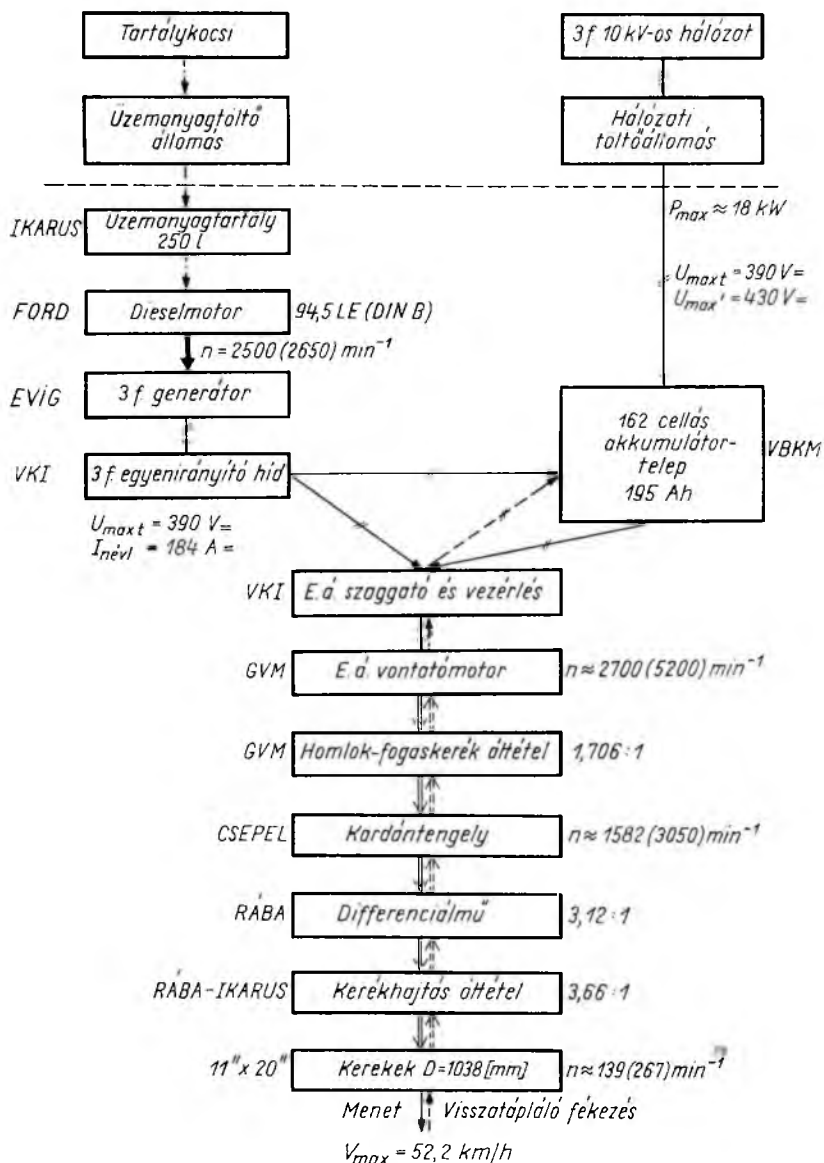
$$GD^2 = 62 \text{ kgm}^2$$

lassító áttétel értéke:

$$i = 1,6$$

## 8. A VKI által fejlesztett IK 260/1. HIBRID prototípus, hibrid táplálású egyenáramú egymotoros városi autóbusz

A BKV-val és az IKARUS-szal egyetértésben a prototípus alapjául az IKARUS IK 260.00 típusú városi autóbusz szolgál. A dieselmotoros autóbusz külső fő méretei változatlanok maradnak, a tápegység miatt azonban a hibrid autóbusz önsúlya megnő. Mivel az összsúly nem nőhet, az álló utasok számára rendelkezésre álló felületet



15-4. ábra. IK 260/1. HIBRID. Vontatásra fordított energia útja

csökkentjük, több ülőhely elhelyezésével. A járműszerkezet átalakításának és a beépítésnek terveit a VKI útmutatása alapján az AUTÓKUT készíti. Az IKARUS gyár által adott IK 260 dieselmotoros városi autóbusz vázszerkezetének átalakítását és a főberendezések beszerelését az AUTÓKUT végzi. A jármű üzemi követelményeknél megadott adatoknak megfelelnek a VKI által tervezett alapadatok. A főberendezéseknek a vontatásra fordított energia szempontjából való összefüggése és az alapadatok láthatók a 15-4. ábrán.

A háromfázisú generátor félvezetős gerjesztőjét és gerjesztésszabályozóját, az egyenirányító hidat, a szaggatót, a szaggató és a motor vezérlését, ill. az elektronikus—elektromechanikus menetszabályozót a VKI-ban fejlesztjük ki.

A VKI számításai és terveit alapján megadott adatoknak megfelelően készülő főberendezések:

*Dieselmotor:* Ford 2704 ET (átalakítás); álló, soros hengerelevezésű, turbófeltöltős dieselmotor

állandó teljesítmény (turbófeltöltő nélkül):	$P_{\text{dies}} = 94,5 \text{ LE}$ DIN 6270 B
állandó fordulatszám:	$n_{\text{dies}} = 2500 \text{ min}^{-1}$
hengerszám:	$Z = 6 \text{ db}$
összes lökettérfogat:	$V = 5,95 \text{ l}$
dieselmotor tömege (nettó):	$G_{\text{dies}} \approx 455 \text{ kg}$

*Háromfázisú generátor:* EVIG SHX 200 M4 (átalakítás)

névleges periódusszám:	$f = 83,3 \text{ Hz}$
névleges látszólagos teljesítmény:	$P_{\text{gen}} = 70 \text{ kVA}$
névleges láncolt feszültség:	$U_{\text{gen}} = 300 \text{ V}_{\text{eff}}$
vonali áram:	$I_{\text{gen}} = 135 \text{ A}_{\text{eff}}$
generátor tömege:	$G_{\text{gen}} = 300 \text{ kg}$

*Akkumulátortelep:* VBKM III.P 310 (átalakítás)

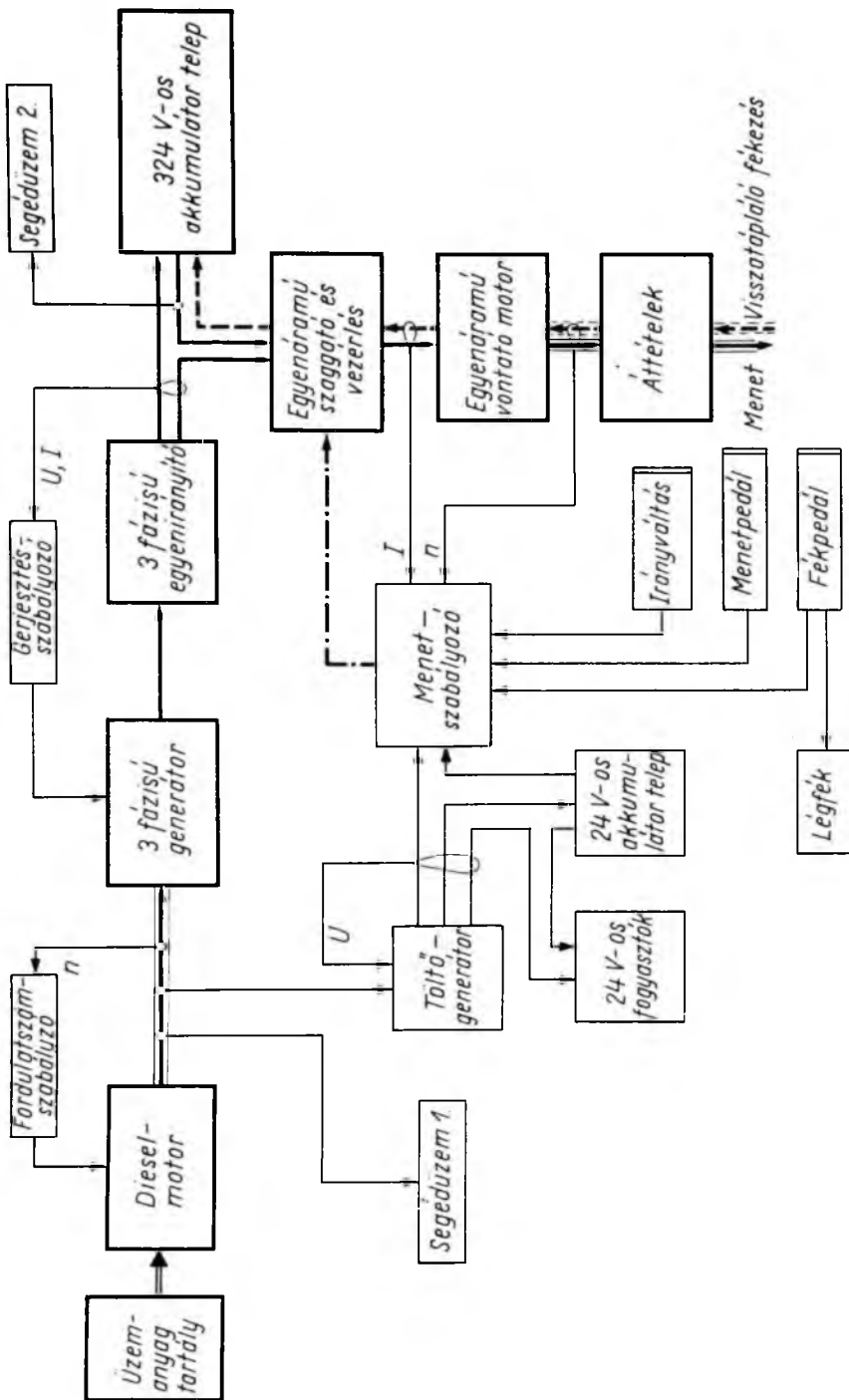
névleges 5 órás kapacitás:	$C_5 = 195 \text{ Ah}$
cellaszám (6 ládában $3 \cdot 9 = 27$ ):	$B = 162 \text{ db}$
tárolt energia:	$L = 63,18 \text{ kWh}$
tömeg:	$G_{\text{akku}} = 2600 \text{ kg}$

*Egyenáramú vontatómotor:* GVM THK 34 (új fejlesztés); külső szellőzésű soros motor, mezőgyöngítéssel

névleges teljesítmény:	$P_{\text{mot}} = 95 \text{ kW}$
névleges feszültség:	$U_n = 300 \text{ V}$
állandó áram:	$I_n = 340 \text{ A}$
legnagyobb üzemi fordulatszám:	$n_{\text{max}} = 5200 \text{ min}^{-1}$
lassító homlokfogaskerék-áttétel	$i_m = 1,706$
motor és áttétel tömege, szellőző nélkül	$G_{\text{mot}} \approx 420 \text{ kg}$

*Áttételek* (átalakítás)

Az egyenáramú motort a GVM ráépített fogaskerékszekrényvel készíti. Az ezzel az áttétellel maximum  $n = 3050 \text{ min}^{-1}$ -nel forgatott kardántengely hajtja a főhajtómű (differenciál) áttételt. A dieselmotoros IK 260 főhajtóművét kicseréljük a győri RÁBA gyárnak a szovjet trolibuszokhoz gyártott főhajtóművével. Ennek áttétele:  $i_f = 3,12$ . A hátsókerék-hajtás áttétel, amelynek értéke  $i_h = 3,66$ , változatlan marad.



15-5. ábra. IK 260/1. HIBRID. Blokkvázlat

*Jármű össz-átétel:*

$$i_{\text{HIBRID}} = i_m \cdot i_f \cdot i_h = 1,706 \cdot 3,12 \cdot 3,66 = 19,46.$$

A jármű tápegység, a hajtás, valamint a *menetszabályozás* és a segédüzem tervezett működési vázolata a 15-5. ábrán látható. A *Segédüzem 1* a légsűrítő és a szervokormány szivattyú, a *Segédüzem 2* pedig az akkumulátortelep és az egyenáramú vontatómotor szellőzőit jelenti. Az autóbusz továbbfejlesztése során a *Segédüzem 1* villamos hajtású lesz, a töltőgenerátor helyére pedig 324/24 V-os egyenfeszültség-átalakító kerül. Az *irányváltás* kézi billenőkapcsolóval, az irányváltó mágneskapcsolók működtetésével végezhető, álló jármű esetén. A *menetpedál* és a *fékpedál* induktív adó útján hat. A menetpedál felengedése kismértékű fékezést, a fékpedál erősebb lenyomása légfékműködtetést jelent.

Az autóbusz kísérleti futását, a vonali próbákat a VKI, az AUTÓKUT, az IKARUS és a BKV együttműködve fogja végezni.

## 9. További munkák

A laboratóriumi modellel szerzett tapasztalatok felhasználásával a VKI a BKV-val közösen kísérleti ólomakkumulátoros autóbusszá alakított át egy IK 60 típusú troli-buszt. Ezzel jármű-kísérleteket folytatunk, s az eredményeket az IK 260/1. HIBRID prototípusnál hasznosítjuk. Később váltakozóáramú motoros autóbusz fejlesztésére is sor kerül.

A modell mérések eredményeiről, a kísérleti akkumulátoros autóbusról, az első, egyenáramú motoros hibridhez a VKI által fejlesztett erősáramú elektronikai berendezésekről és szabályozókról, valamint a prototípusról további közleményekben fogunk beszámolni.

## Irodalom

- [1] *Alessi, T. A.—Fagan, G. R.—Hines, E.*: Progress Report on Electric Vehicles. Edison Electric Institut Bull. 1968. **8.** p. 238—243.
- [2] *Kurth, F.*: Möglichkeiten und Grenzen der Energiespeicherung auf dem Fahrzeug. Bull. SEV 63 (1972) **8.** 15. April. p. 398—403.
- [3] *Weigel, W. D.*: Fahrzyklen für Stadtfahrzeuge mit Elektroantrieb und Methoden Ihrer Aufstellung. ETZ-A Bd. 94 (1973) p. 142—146.
- [4] *Salihü, T.*: The electric car — fact and fancy. IEEE Spectrum 1972. **6.** p. 44—48.
- [5] *Benezech, J.*: Le moteur électrique et ses générateurs. Ingenieurs de l'automobile 5—71. p. 281—306.
- [6] *Dr. Plust, H. G.*: Aktuelle Probleme bei elektrischen Antriebssystemen für Strassenfahrzeuge. ATZ-73. (1971) **9.** p. 336—342, **11.** p. 428—432.
- [7] *Dr. Ing. Müller A.—Bernert, A. H.—Striffler, P.*: Elektrobuss mit Hybridantrieb für den Stadtverkehr. ATZ 72. (1970) **3.** p. 78—84.
- [8] *Zeccola, R.—Weiser, E.*: Thyristor (SCR) Chopper Control System for Transportation Equipment. IEEE Trans. on Ind. and Gen. Appl. 1969. **4.** p. 470—475.



# 16.

## Ipari elektronikus berendezések megbízhatósági kérdései

LAKATOS GYÖRGY

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az ipari elektronikus berendezések megbízhatóságának jelentősége a gyártó, a felhasználó és a népgazdaság szempontjából. A megbízhatóság megállapításának elméleti és gyakorlati módszerei. A legjellemzőbb megbízhatósági mutatóknak, a két meghibásodás közt eltelt átlagos időnek meghatározása a berendezésben alkalmazott alkatrészek meghibásodási rakétájából. Az alkatrészek meghibásodási rátája és annak függése különböző tényezőktől. A megbízhatóság okozásának módjai. A megbízhatóság növelésének hazai lehetőségei az ipari elektronikus berendezéseknél. Megbízhatósági példák.

### ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ УСТРОЙСТВ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

*Д-р. Лакатос*

#### Резюме

Значение надежности промышленных электронных устройств с точки зрения производителя, потребителя и народного хозяйства. Теоретические и практические методы определения надежности. Наиболее характерным показателем надежности является время безотказной работы между двумя отказами. Может быть определено на основе вероятности отказа деталей, используемых в устройстве. Вероятность отказа и ее зависимость от различных факторов. Методы повышения надежности: резервирование с обновлением и без обновления. Оптимизация надежности с точки зрения сокращения до минимума расходов. Положение стандартизации основных понятий надежности в Венгрии и за рубежом. Отечественные возможности повышения надежности устройств промышленной электроники.

### ZUVERLÄSSIGKEITSFRAGEN DER INDUSTRIELLEN ELEKTRONISCHEN EINRICHTUNGEN

*Gy. Lakatos*

#### Zusammenfassung

Bedeutung der Zuverlässigkeit der industriellen elektronischen Einrichtungen aus dem Gesichtspunkte des Herstellers, des Verbrauchers und der Volkswirtschaft. Theoretische und praktische Methoden der Feststellung der Zuverlässigkeit. Bestimmung des am meisten bezeichnenden Zuverlässigkeitskennwertes, der mittleren Zeitdauer zwischen zwei Ausfällen, aus der Ausfallrate der Bauteile der Einrichtung. Ausfallrate der Bauteile und deren Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren: Arten der Erhöhung der Zuverlässigkeit; Reservierung mit und ohne Erneuerung. Optimierung der Zuverlässigkeit zwecks Kostenminimalisierung. Lage der Standardisierung

der Grundbegriffe für die Zuverlässigkeit im Inland und im internationalen Masstabe. Einheimische Möglichkeiten für die Erhöhung der Zuverlässigkeit der industriellen elektronischen Einrichtungen.

## RELIABILITY ASPECTS OF INDUSTRIAL ELECTRONIC EQUIPMENTS

By Gy. Lakatos

### Summary

The significance of the reliability of industrial electronic equipment from the point of view of manufacturer, user and national economy. Theoretical and practical methods of determining reliability. Determination of the most informative characteristic of reliability, the mean time between failures, from the failure rate of components used in the equipment. Failure rate of components and its dependence on various factors. Methods of improving reliability; redundancy with and without renewal. Optimization of reliability with respect to minimizing of costs. Present state of international and national standardization of the basic concepts of reliability. Possibilities of increasing reliability of industrial electronic equipments produced or used in Hungary.

### Bevezetés

A megbízhatóság definíciója az IEC 56. sz. Technikai Bizottsága szerint a következő: „A megbízhatóság egy terméknek az a képessége, hogy a megkövetelt feladatokat — megállapított feltételek között — megállapított ideig teljesíti.”

A megbízhatósági technika nem új tervezési technika és nem helyettesíti a jó mérnöki gyakorlatot, hanem nagyon fontos segédeszköz ahhoz, hogy a tervezőket ellássuk a szükséges információkkal még mielőtt a részletes konstrukciót elkészítik, abból a célból, hogy a tervezés önmagában helyes legyen.

Ilyen szükséges információkat szolgáltat a megbízhatóság elmélete, amely — többek között — alkatrészek, belőlük összeállított egységek, berendezések és rendszerek megbízhatóságának számításával, a meghibásodások várható alakulásával, a megbízhatóság növelésének lehetőségeivel, a tartalékolással, felújítással stb. foglalkozik.

Rá kell mutatni arra, hogy a megbízhatóság — akár az ipari elektronikus berendezéseket gyártó, akár az azokat felhasználó vállalatok szempontjából — csakis gazdasági megfontolásokkal összefüggésben ítélni lehet meg. Mindig figyelembe kell venni, hogy adott megbízhatóság milyen költségek árán érhető el. Gyakran felmerül az a kívánság is, hogy optimális megbízhatóságot alakítsunk ki; az optimum vonatkozhat a berendezés költségének, esetleg súlyának vagy térfogatának minimalizálására.

Az ipari elektronikus rendszerek egyre összetettebbek és mind több alkatrészt tartalmaznak; mindezek növelik a meghibásodás lehetőségét. Dr. Tarnay külföldi forrásból idézve rámutat pl. a következőkre [1]:

1. Az elektronikus rendszerek meghibásodásának 30...80%-át alkatrészhibák okozzák.
2. Az alkatrészhibák felét magának az alkatrésznek a hibája, második felét pedig az alkatrész nem megfelelő alkalmazása okozza.
3. Az alkatrészek megbízhatatlanságának fő oka az instabilitás és a teljesítő-képesség csökkenése, másodlagos ok a mechanikus igénybevétel által előidézett hibák bekövetkezése.

4. A hibáknak legalább a felét ellenállások, kondenzátorok és csatlakozók meghibásodása okozza, ugyanis ezek az alkatrészek teszik ki a felhasznált alkatrészek kétharmadát.
5. Az elterjedten alkalmazott alkatrészek általában megbízhatóbbak. Ha tehát ezeket nagy számban alkalmazzák, a megbízhatóság növekszik; ha viszont igen sok fajta, ritkán alkalmazott alkatrészből kis darabszámot használnak fel, akkor a megbízhatóság csökken. A gyakorlatban az összes előforduló hibák fele-fele arányban oszlanak meg e két csoport között.
6. Ritkán alkalmazott alkatrészekből kis darabszámú tétel felhasználása jelentős gondot okoz a gyártás, az alkatrész-utánpótlás és a karbantartás fázisában egyaránt.

E cikk a megbízhatósági elméletből csak néhány kiindulási feltételt és a végeredményt tartalmaz általában, az elmélet levezetését nem, utal azonban azokra a forrásmunkákra, amelyek e levezetéseket tartalmazzák. E cikk az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság megbízásából a Villamosipari Kutató Intézetben végzett megbízhatósági tanulmányok főbb eredményeit ismerteti, ipari elektronikus berendezésekre vonatkozóan.

## 1. A megbízhatóság jelentősége

A megbízhatóság a terméknek olyan tulajdonsága, amely az egész népgazdaság szempontjából is nagy jelentőségű. Masing, a Német Szövetségi Köztársaság minőség-ellenőrzési szervezetének elnöke, egyik cikkében [2] a következőket állapította meg: A megbízhatóság egyrészt pénzbe kerül, másrészt pénzt takarít meg. Ez tipikus optimalizálási probléma. Szerinte egy ország, amelynek ipara megbízhatatlan árukat termel, kénytelen sok szakembert lekötni a javítással, szervizzel. E szakemberek viszont hiányoznak a fejlesztésből és termelésből. A kérdéses gyártmány hírneve romlik, exportja visszaesik. Az egész népgazdaság nehéz helyzetbe kerülhet ilyen módon és a nemzeti presztízs veszélybe kerül. Hasonló vonatkozik magára a gyártó cégére is. Másrészt viszont akár egy ország, akár egy cég, ha túl magas árakat szab, biztosan elveszti piacait. Kompromisszumot kell tehát keresni és találni egyrészt a kis megbízhatóság által okozott költségek, másrészt a túl magas megbízhatóság okozta árak között. Ez a felismerés nem új, évszázadok óta fennálló probléma. A felhasználónak is vannak hasonló szempontjai, de ellentétes értelemben. Találón mutat rá Masing arra is, hogy az előállító, a gyártó viszonylag jól ismeri az általa termelt berendezés megbízhatóságát, és ezért épp olyan jól áttekinti egy tökéletesítés költségét, mint ahogy a megbízhatóság csökkenéséből származó megtakarításait. A vevő, a felhasználó viszont ismeri a felhasználási körülményeket és a megbízhatóság csökkenéséből eredő következményeket. Ha pl. drótkötelet vesz kötélpálya céljára, kipróbált minőségre van szüksége, és annál magasabb árat kell adnia érte, minél nagyobb baja származhat egy kötélszakadás okozta balesetből. Ha pl. teherszállítást végez a drótkötélpálya, kisebb megbízhatóság is elfogadható, mintha személyeket akar szállítani. A piac áttekinthetőségének kérdése tehát az, hogy az optimális megbízhatóságot megtaláljuk. A gyakorlat sajnos azt mutatja, hogy ettől messze vagyunk. Igen találón összegezi Masing, hogy a megbízhatóság — akár a gyártó, akár a berendezést felhasználó szempontjából — csak a gazdaságossági megfontolásokkal összefüggésben ítéltető meg. Sok félreértést el lehetne kerülni, ha ezt az egyszerű ténnyt mindenütt tudomásul vennék és elfogadnák: persze döntő előfeltétel a piac megfelelő áttekintése.

Az ipari elektronikus berendezések, rendszerek megbízhatóságának jelentősége évről évre jobban növekszik, hiszen a legkülönbözőbb iparágakban kapnak egyre nagyobb szerepet a fokozódó automatizálásban. A megbízhatóság megfelelő kialakításának fontosságát támasztja alá az a hazai körülmény is, hogy export piacok megszerzéséhez ma már előfeltétellé kezd válni a megbízhatósági adatok ismerete és közlése.

Az ipari elektronikus rendszerek, kapcsolások megbízhatóságának fokozása több okból is rendkívül lényeges. Az egyik ok pl. az, hogy az ilyen kapcsolásokból felépülő rendszerektől lehetőleg minél zavartalanabb üzemelést kívánnak meg az üzembentartók. Másik ok az, hogy az előforduló üzemzavar által okozott termelés kiesés, vagy egyéb következmény veszteségkölségei éppen az ipari elektronikus rendszerekben rendszerint igen magasak, pl. automatizált termelési vonalak esetében [19]. Ezeket a rendszereket olyan optimális megbízhatóságúra kell tervezni, hogy az üzembentartó beruházási, gyártási, karbantartási költségeinek és az üzemzavar okozta termelés kiesés veszteségének összege minimális legyen.

Az ipari elektronikus kapcsolások és rendszerek megbízhatóságának fokozására irányuló módszerek, lehetőségek tárgyalásához röviden össze kell foglalnunk a legfontosabb megbízhatósági fogalmakat és tervezési elveket.

## 2. A megbízhatóság alapjai

### 2.1 A meghibásodás fajtái

A hiba természete szerint megkülönböztetünk katasztrofális és degradációs meghibásodást.

*Katasztrofális* meghibásodás a szakadás, zárlat és más olyan meghibásodás, amely az alkatrész teljes működőképételenségét okozza.

*Degradációs* meghibásodás esetén az alkatrész működőképes marad, de jellemző értéke (pl. ellenállása vagy kapacitása stb.) már kívül esik az előírt tűréshatárokon.

### 2.2 Meghibásodási ráta ( $p$ faktor)

A meghibásodási ráta az azonos típusú alkatrészek vagy készülékek meghatározott mennyiségének az a hányada, amely időegység alatt meghibásodik. Ezt a meghibásodási rátát szokás  $p$  faktornak is nevezni. A  $p$  faktort rendszerint az ezer óra időegység alatti meghibásodásokra szokták vonatkoztatni és vagy  $\%/1000$  h-ban, vagy  $\%/_{00}/1000$  h-ban, vagy  $10^{-6}/h$  egységekben szokták megadni.

Mint később látni fogjuk, a  $p$  faktornak jelentős szerepe van a megbízhatóság gyakorlati számításában, és pedig minél kisebb a  $p$  faktor, annál nagyobb megbízhatóságot érhetünk el egyébként azonos környezeti körülmények között.

Figyelemreméltó, hogy az 1968-ban megadott egyes minimális  $p$  faktorok egy nagyságrenddel jobbak, mint az ugyanarra a gyártmányra 1966-ban megadott, kiváló minőséghez tartozó  $p$  faktorok.

A  $p$  faktor értékei az alkatrészeknek arra a hasznos élettartamára vonatkoznak, amelyet egy későbbi szakasz definiál, és amelybe nem számítanak bele a korai meghibásodások. Az említett  $p$  faktorok egy ún. névleges igénybevételi szint esetére érvényesek. Az igénybevétel pl. meghatározott feszültség, áram, frekvencia, teljesítmény, hőmérséklet, rázás, rezgés, gyorsulás, nedvesség, korrózió, csavarás, nyomás, súrlódás vagy hasonló tényezők kombinációja lehet.

Ezek a  $p$  faktorok laboratóriumi körülményekre vonatkoznak. Ha más környezetben működnek az alkatrészek, akkor a  $p$  faktort még meg kell szorozni bizonyos tapasztalati tényezővel, amelynek hozzávetőleges értékeit Hummitzsch és mások [3], [4], [5] tárgyalják. Igen fontos tehát az, hogy a  $p$  faktor szorzótényezőjét hogyan becsüljük, hiszen — mint a 2.3 pontban később látjuk — a  $p$  faktor jelentősen befolyásolja a megbízhatóság értékét.

### 2.3 A $p$ faktor befolyása a megbízhatóságra

Legyen valamely vizsgálatnak alávetett alkatrészek száma  $t$  idő zérus értéke mellett  $n_0$ , és legyen ez a szám véges  $t$  idő múlva  $n$ . Legyen az alkatrészek megbízhatósága  $r$ , ami annak a valószínűsége, hogy az  $n$  számú alkatrész  $t$  idő eltelte után még nem hibásodott meg. Ekkor felírható a következő összefüggés:

$$r = \frac{n}{n_0} \tag{1}$$

A megbízhatóságelmélet szerint kimutatható, hogy az alkatrészek  $r$  megbízhatósága a  $p$  faktortól függ, éspedig rendszerint az

$$r = e^{-pt^b} \tag{2}$$

egyenlet szerint,

ahol  $e$  a természetes logaritmus alapja;

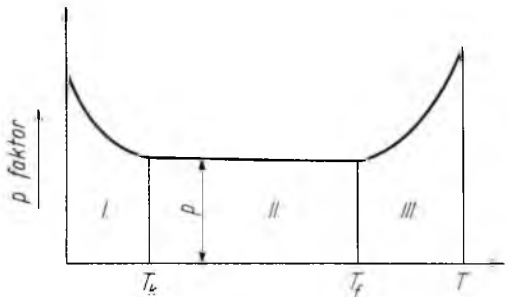
$t$  az alkatrészek igénybevételének időtartama;

$b$  egy állandó.

(Lásd pl. a megbízhatóság elméletével foglalkozó [1], [6] és [7] munkákat.)

### 2.4 A $p$ faktor időfüggése

A gyakorlati tapasztalatok szerint az alkatrészek vagy berendezések  $p$  faktora a 16-1. ábra „kádgörbéje” szerint függ azok  $T$  életkorától. Az ábrán szereplő  $I$  szakasz a korai meghibásodások szakasza, amelyben a  $p$  faktor igen nagy értékből kiindulva, eleinte rohamosan csökken, majd a  $T$  életkor növekedésével a csökkenés mérséklődik, és a  $T_k$  időpontban beáll egy  $p$  értékre. Az ábra  $II$  szakaszában  $p$  állandó; ez a véletlen meghibásodások szakasza, amit hasznos élettartamnak is szokás nevezni; a  $III$  szakaszban jelentkeznek a kifáradási vagy elhasználódási jelenségek, amelyek hatására a  $p$  faktor ismét növekedni kezd.



16-1. ábra. A  $p$  faktor függése a  $T$  életkortól  
 I a korai meghibásodások szakasza; II a véletlenszerű meghibásodások szakasza, más néven hasznos élettartam; III a kifáradási meghibásodások szakasza

A 16-1. ábra  $II$  szakaszában

szereplő  $p$  faktossal szokták az alkatrészt vagy berendezést jellemezni; ennek megfelelő értékek szerepelnek az irodalomban található táblázatokban is.

## 2.5 A megbízhatóság állandó $p$ faktor esetén

A 2.3 pontbeli (2) egyenlet — állandó  $p$  faktor és egységnyi  $b$  esetén — az  $r$  megbízhatóság következő képletéhez vezet:

$$r = e^{-pt}, \quad (3)$$

ahol  $t$  az üzemidő. Mint később látni fogjuk, ez az exponenciális összefüggés igen egyszerűvé teszi, hogy az alkatrészek  $p$  faktorából meghatározzuk a belőlük összeállított elektronikus berendezés megbízhatóságát. Az egyszerűség kedvéért akkor is feltételezzük egyes esetekben a  $p$  faktor állandóságát, amikor az a valóságban nem áll fenn. Ilyen módon ugyanis eléggé jól meg lehet becsülni az elektronikus berendezés megbízhatóságát.

## 2.6 Az első meghibásodásig eltelt átlagidő

Ez az idő főleg olyan berendezések esetében döntő, amelyek vagy egyáltalán nem, vagy csak nagyon nehezen javíthatók (pl. tenger alatti kábel, ember nélküli űrrakéta stb).

## 2.7 Két meghibásodás közti átlagidő

Javítható berendezések esetén van jelentősége, különösen ha folytonosan működő berendezésekről van szó. Ha feltételezzük a  $p$  faktor állandó voltát, akkor ez a  $t_m$  átlagidő a

$$t_m = \frac{1}{p} \quad (4)$$

egyenletből határozható meg, ahogyan azt pl. Tarnay levezeti [1].

## 2.8 Meghibásodási okok

Az elhasználódási vagy kifáradási meghibásodások oka az, hogy az alkatrészekben bizonyos idő után kimerülés lép fel. Az alkatrész jellemző paraméterei egyre jobban romlanak, még a névleges terhelés hatására is (például elektroncsövekben leromlik a katód emittálóképessége, az elektrolitkondenzátorban módosul a vegyi összetétel). A meghibásodások eloszlása ilyenkor a Gauss-görbének felel meg. A véletlen meghibásodásokat az alkatrészgyártás technológiájának egyenlőtlensége okozza. A meghibásodások eloszlási görbéje ez esetben exponenciális.

## 3. Soros rendszerek megbízhatósága

### 3.1 Általános soros rendszer

A soros rendszer az alkatrészek olyan kombinációja, amelyben egyetlen alkatrész meghibásodása az egész rendszer meghibásodását okozza. Feltételezzük, hogy az alkatrészek meghibásodás szempontjából egymástól függetlenek. Ha az  $n$  alkatrészből álló

soros rendszer alkatrészeinek megbízhatósága rendre  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ , akkor a soros rendszer  $R$  megbízhatósága — azaz túlélési valószínűsége — az alkatrészek megbízhatóságának megfelelő valószínűségek szorzatából adódik [1]:

$$R = r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \dots r_n. \quad (5)$$

A szorzatokra a  $\Pi$  (produkt) jelölést alkalmazva, az (5) egyenlet helyett felírhatjuk, hogy

$$R = \prod_{i=1}^n r_i, \quad (6)$$

ahol  $r_i$  az  $i$ -edik alkatrész megbízhatósága.

A soros rendszer  $Q$  megbízhatatlansága, azaz annak valószínűsége, hogy a rendszer  $t$  időn belül meghibásodik, a következő egyszerű összefüggésből határozható meg:

$$Q = 1 - R. \quad (7)$$

### 3.2 Soros rendszer állandó $p$ faktorú alkatrészekből

Mint már a 2.5 pontban jeleztük, a  $p$  faktor állandó volta igen egyszerűvé teszi a soros rendszer megbízhatóságának az alkatrészek  $p$  faktorából való meghatározását. Kimutatható, hogy a soros rendszer megbízhatóságát kifejező (5) egyenlet a következő alakba írható:

$$R = e^{-(p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_i \dots + p_n)t}. \quad (8)$$

Az állandó  $p$  faktorú alkatrészekből álló soros rendszer eredő megbízhatóságát egyszerűen úgy kaphatjuk meg, hogy az alkatrészek  $p$  faktorainak összegéből képezzük a soros rendszer eredő  $p$  faktorát, majd az ennek megfelelő  $P$  értéket helyettesítjük be az egyszerű (3) képletbe.

Eddig feltételeztük, hogy minden alkatrész névleges terhelésnek van kitéve. A valóságban a terhelés általában kisebb a névlegesnél és — mint később látni fogjuk — ez a  $p$  faktorok csökkenésére, tehát a megbízhatóság nagyobb számértékére vezet.

## 4. Soros rendszerek várható élettartama

### 4.1 Két meghibásodás közötti $t_m$ átlagidő számítása

A számítást soros, állandó  $p$  faktorú alkatrészekből álló ipari elektronikus rendszerre végeztük el. A (4) egyenlet alkalmazásából kiadódott, hogy

$$t_m = \frac{1}{P}. \quad (9)$$

Így számítható ki tehát a berendezés két meghibásodása közötti  $t_m$  átlagidő, a (9) egyenlet szerint. A két meghibásodás közötti  $t_m$  átlagidőnek a gyakorlatban több szempontból is nagy jelentősége van, pl. a javítás ellátásához szükséges személyzet létszámának megállapításakor [8], vagy pl. a költségek minimalizálásakor.

*Példa.* Egy fénycsőinverter esetében az eredő  $p$  faktor

$$p = 242,7 \cdot 10^{-6}/h.$$

Ennek megfelelően a (9) egyenletből

$$t_m = \frac{1}{242,7 \cdot 10^{-6}/h} = 4130 \text{ h.}$$

Ez a kb. négyezer óra azt mutatja, hogy ha a fénycsőinverter éjjel-nappal működne, akkor átlagosan kb. félévenként egyszer hibásodna meg.

#### 4.2 A várható élettartam számítása

A soros rendszer  $t$  várható élettartama  $R\%$ -os megbízhatósági szinten a következőképpen számítható ki a két meghibásodás közötti  $t_m$  átlagidőből:

$$t = t_m \ln \frac{1}{R}. \quad (10)$$

Ez azt jelenti, hogy a  $t$  várható élettartamot a soros rendszer  $R\%$  valószínűséggel el fogja érni meghibásodás nélkül. Az  $R$  megbízhatóságot előre kiköthetjük és akkor  $t_m$  segítségével a várható  $t$  élettartamot a (10) egyenletből meghatározhatjuk.

*Példa.* Egy fénycsőinverter adatai a 4.1 pontbeli példa szerintiék, és így az inverter két meghibásodása közötti átlagidő:

$$t_m = 4130 \text{ h.}$$

$R = 90\%$ -os megbízhatósági szinten mennyi a fénycsőinverter várható élettartama? A (10) egyenlet alapján

$$t = t_m \ln \frac{1}{R} = 4130 \ln \frac{1}{0,9}.$$

Így  $t = 4130 \cdot 0,1053 = 435 \text{ h}$ . A példa szerint  $90\%$ -os megbízhatósági szinten a fénycsőinverter várható élettartama  $435 \text{ h}$ .

#### 5. A $p$ faktort befolyásoló további tényezők

Az előzőkben szereplő  $p$  faktorok névleges terhelésű alkatrészekre, ill. berendezésekre vonatkoztak. Az ettől eltérő esetekre a  $p$  faktor más értékeket vesz fel. Ezt az eltérő esetet többek között Szentai [9] tárgyalja igen áttekinthetően és a legtöbb fizikai állandó feltüntetésével.

#### 6. Elektronikus kapcsolások megbízhatóságának fokozása

A megbízhatóság fokozásának főbb módszerei a következők: A kapcsolások egyszerű kialakítása, a korai meghibásodások kiküszöbölése, aláterhelés, hűtés, nagyobb megbízhatóságú alkatrészek alkalmazása, a környezeti hatások elleni védelem, tartalékolás, ellenőrzési lehetőségek alkalmazása, hibajelző berendezés beiktatása, a konstrukciós és szerelési ajánlások betartása, a javítás gyorsítása, karbantartás, szerviz, a szak-képzettség növelése, integrált áramkörök alkalmazása. E szempontok közül itt csak néhányat ismertetünk röviden.



## 6.1 Aláterhelés

Aláterhelésen azt értjük, hogy az illető alkatrészt vagy berendezést kisebb igénybevételnek vetjük alá, mint amire készült. Remix-gyártmányú ellenállások és kondenzátorok ilyen aláterhelésének a  $p$  faktorra gyakorolt csökkentő hatását részletesen mutatja be számszerű értékekkel és grafikonokkal a [10] irodalom.

Az ellenállások aláterhelése nemcsak a  $p$  faktort javítja, hanem adott esetben csökkenti az ellenállások értékének adott idő alatt bekövetkező százalékos megváltozását is.

Félvezető diódák és tranzisztorok aláterhelésére vonatkozó adatokat a [6] irodalomból tanulmányoztuk és azokat sikerrel alkalmaztuk konkrét ipari elektronikus berendezések megbízhatóságának számításához.

Tranzisztorok aláterhelésének a  $p$  faktorra való hatását igen részletesen tárgyalja a TOSHIBA egyik közleménye szilícium epoxi tranzisztorokra [11].

## 6.2 Nagyobb megbízhatóságú alkatrészek alkalmazása

A nagyobb megbízhatóság kisebb  $p$  faktorokkal érhető el. A gyakorlatban a tervezőnek mégis nagy nehézséget okoz az, hogy a megfelelő, nagy megbízhatóságú alkatrészeket kiválassza, ugyanis az alkatrészgyártó vállalatok katalógusai általában nem tartalmaznak elég adatot a  $p$  faktorra vonatkozóan. Márpedig a  $p$  faktorok ismerete nélkül a tervező nem alkalmazhatja a 2. pontban tárgyalt elveket, képleteket. Mindenesetre célszerű, ha az elektronikus kapcsolást minél több olyan alkatrésszel tervezzük, amelyek  $p$  faktora ismert.

Ennek elősegítésére meg kell szervezni a megbízhatósági adatok rendszeres gyűjtését, feldolgozását és hozzáférhetőségét az ipari elektronikus berendezésekben, kapcsolásokban alkalmazott alkatrészekre vonatkozóan. Erre anyagi fedezetet kell teremteni központi alapból. Hasonlót kell kezdeményezni KGST szinten. Az 1970. februárban Moszkvában rendezett megbízhatósági KGST szimpózium szovjet, lengyel jugoszláv és magyar delegációi mind egyetértettek abban, hogy az alkatrészek  $p$  faktorának és annak különböző paraméterektől való függésére vonatkozó számszerű adatoknak a hiánya az egyik legkomolyabb akadály a megbízhatóságelmélet gyakorlati alkalmazásának. Ezeket a nehézségeket tárgyalja Hadas János is [13].

Rámutatunk még arra, hogy a nagyobb megbízhatóságú alkatrészek és berendezések ára a nemzetközi piacon magasabb, mint a kisebb megbízhatóságúaké. Ezt a kérdést érinti a szerzőnek az a két cikke, amely a megbízhatóság optimalizálásával foglalkozott [14], [15].

## 7. Tartalékolás, optimalizálás, szabványosítás

E kérdésekben a Villamosipari Kutató Intézet Villamos Berendezések Főosztályán évtizedes kutató, tervező, fejlesztő és kivitelező munka nyomán, a felhasználóknál mutatkozó eredmények és meghibásodások figyelembevételével, elemzésével, a felhasználókkal való jó együttműködés révén sikerült a megbízhatóságelméletet kellő összhangba hozni a gyakorlattal, amiről hazai [16], [17] és nemzetközi [18] fórumok előtt számolt be a szerző, részben társszerzővel együtt.

Ezekről az eredményekről egy későbbi cikk keretében fogunk beszámolni. Végezetül elmondható, hogy a Villamosipari Kutató Intézet fel van készülve ipari elektronikus berendezések megbízhatóságával kapcsolatos kutatómunkára.

## 8. A hazai ipari elektronikus berendezések megbízhatóságának növelési lehetőségei

Hangsúlyozzuk, hogy a nagyobb megbízhatóság több pénzbe kerül, ezért nem maximális, hanem optimális megbízhatóságra kell törekedni. A Villamosipari Kutató Intézetben már végeztünk optimalizálást hazai mammutüzem számára, és az optimalizálás eredménye azt mutatta, hogy az ipari elektronikus berendezés árának többszörösét lehet megtakarítani a berendezés teljes tervezett üzemideje alatt. Ilyen megtakarításra nyílik lehetőség a legkülönbözőbb iparágakban alkalmazott ipari elektronikus berendezések megbízhatóságának optimalizálásakor, még akkor is, ha azok már üzemelnek bizonyos ideje. Ez az optimalizálás emeli a gyártó, ill. felhasználó vállalatok nyereségét és ezáltal az állam bevételét is.

## 9. Köszönetnyilvánítás

A szerző ezúton is köszönetet mond az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottságnak, egyrészt a tanulmány elkészítésére kiadott megbízásért, másrészt a tanulmány anyagából készített cikk közlésének engedélyezéséért. Köszönetet mond továbbá Szász Györgynek, az MHSZ minőségfejlesztési osztálya vezetőjének, az EOQC Magyar Nemzeti Bizottsága titkárának, Hadas Jánosnak, az Igazságügyi Műszaki Szakértői Iroda vezetőjének, a Minőség és Megbízhatóság szerkesztő bizottsága tagjának és Dr. Szentai Endrének, az MTA Automatizálási Kutató Intézete tudományos főmunkatársának, a jelen cikk anyagának összegyűjtésében nyújtott értékes tanácsaikért és segítségükért.

Szerző külön köszönetet mond Dr. Gádor Lászlónak, a VKI tudományos tanácsadójának a megbízhatósági kutató munka megalapozásáért, előfeltételeinek megteremtéséért és állandó tanácsaiért és buzdításáért, továbbá Kiss Miklós és Dr. Ganszky Károly tud. főosztályvezetőnek támogatásukért, érdeklődésükért, a megbízhatóság témájának felkarolásáért és értékes tanácsaikért.

## Irodalom

- [1] *Dr. Tarnay K.—Kovács I.*: Bevezetés a megbízhatóság elméletébe. MTA Aut. Kutató Int. Közlemények. 1965. évi 11. szám. 15. old.
- [2] *Masing, W.*: Zuverlässigkeit als wirtschaftliches Problem. Technische Zuverlässigkeit in Einzeldarstellungen. Heft. 1. 1964. S. 33.
- [3] *Hummitzsch, P.*: Automatika rendszerek megbízhatósága. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
- [4] *Caroll*: Reliability 1962. Electronica, 1962. nov. 30. p. 53—76.
- [5] *Eddins, Ch.*: A theory of component part life expectancies. Eight National Symposium on Reliability and Quality Control, 1962. jan. p. 252—267.
- [6] *Balogh A.*: Híradástechnikai alkatrészek élettartam és megbízhatóság vizsgálatának egyes kérdései. MTA Aut. Kutató Int. Közlemények, 1965. évi 11. szám. 119. old.
- [7] *Gnyegyenko, B. V.—Beljajev, J. K.—Szolovjev, A. D.*: A megbízhatóságelmélet matematikai módszerei. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970.
- [8] *Nagy E.*: A javíthatóság, mint műszaki megbízhatósági fogalom. KGM MTTI Elektronikai Műszaki Tájékoztató, 1966. évi 2. sz. 27. old.
- [9] *Dr. Szentai E.*: Gyorsított élettartamvizsgálatok. MTA Automatizálási Kutató Intézet Közlemények, 1965. évi 11. szám, 205. old.
- [10] Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet: Felhasználási Tájékoztató a híradástechnikai passzív alkatrészek megbízhatósági adatainak alkalmazásához. 1972.

- [11] Reliability of Toshiba silicon transistors for communication and industrial use (Híradástechnika<sup>1</sup> és ipari Toshiba szilícium tranzisztorok megbízhatósága). Part 1. Epoxy transistors. Toshiba Component News No. 13. Ápr. 25. 1969.
- [12] *Lakatos Gy.*: Útjelentés a moszkvai megbízhatósági szimpóziumról és KGST értekezletről VKI, 1970. március.
- [13] *Hadas J.*: Nagyteljesítményű félvezetős egyenirányító berendezések megbízhatósága. Minőség és Megbízhatóság. V. évf. 2. szám.
- [14] *Lakatos Gy.*: A megbízhatóság optimalizálásáról. Automatizálás. II. évf. 6. szám 18. old.
- [15] *Drabik I.*—*Lakatos Gy.*: Az alkatrészek megbízhatóságáról. Elektromodul Tájékoztató, III. évf. 4. szám, 7. old.
- [16] *Lakatos Gy.*: VBKM gyártmányú 75 Hz inverterek számított és megfigyelt megbízhatóságáról. Előadás CONSTRONIC '72 konferencia B szekciójában, 1972. ápr. 19.
- [17] *Lakatos Gy.*: Néhány gondolat a „Nagyteljesítményű félvezetős egyenirányító berendezések megbízhatósága” című tanulmányhoz. Minőség és Megbízhatóság. V. évf. 2. szám.
- [18] *Kondor T.*—*Lakatos Gy.*: Inverterek megbízhatóságának növelésére irányuló vizsgálatok tapasztalatai. Előadás az Európai Minőségellenőrzési Szervezet 16. konferenciáján. 1972. június 27. Oslo. 144. sz. előadás.
- [19] *Móga Gy.*—*Szász Gy.*: A minőség és megbízhatóság gyakorlati megvalósítása. Az EOQC 1967. évi londoni és az 1968. évi madridi konferenciájának ismertetése. KGM MTTI 1969.



# 17.

## Hőtehetetlen nemlineáris híd

*DR. GÁDOR LÁSZLÓ*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A VKI Közlemények 4. kötetében megjelent 5. számú cikk (Nemlineáris híd termikus viselkedése) foglalkozott azzal, hogy a feszültségérzékelő nemlineáris híd ellenállásanyagának hőmérsékleti tényezője és melegezése hogyan hozza létre a nemlinearitást. E vizsgálódások folytatásaként ez a cikk a hőtehetetlenség szerepét tisztázza. A hőtehetetlenség egy adott munkaponton közelíti egymáshoz a statikus és dinamikus ellenállás értékét, csökkentti a kimenő jelben a felharmonikusok arányát, továbbá késlelteti az állandósult hibajel beállítását, ami feleslegessé teheti külön időtag alkalmazását.

### НЕЛИНЕЙНЫЙ МОСТ С ТЕРМИЧЕСКОЙ ИНЕРЦИЕЙ

*Д-р Л. Гадор*

#### Резюме

Статья, опубликованная в четвертом томе Вестника Научно-Исследовательского Института Электрической Промышленности (термическое поведение нелинейного моста), рассматривала образование нелинейности в результате нагрева и температурного коэффициента материала сопротивлений чувствительного к напряжению нелинейного моста. В качестве продолжения исследований настоящая статья выясняет роль тепловой инерции. Тепловая инерция в данной рабочей точке приближает друг к другу величины статического и динамического сопротивлений, уменьшает долю высших гармоник в выходном сигнале, далее задерживает установление установившегося сигнала рассогласования, благодаря чему может стать лишним применение отдельного элемента задержки.

### WÄRMETRÄGE NICHTLINEARE BRÜCKENSCHALTUNG

*Dr. L. Gádor*

#### Zusammenfassung

Der im Band 4 der VKI-Mitteilungen veröffentlichte Aufsatz (Das thermische Verhalten der nichtlinearen Brückenschaltung) befasst sich mit dem Problem der Erzeugung der Nichtlinearität durch den Temperaturbeiwert und die Erwärmung der Widerstände der nichtlinearen Spannungsfühlerbrücke. Zur Fortsetzung der obigen Untersuchungen wird im vorliegenden Aufsatz die Wirkung der Wärmeträgheit geklärt. Bei einem bestimmten Arbeitspunkt werden durch die Wärmeträgheit die Werte des statischen und des dynamischen Widerstandes einander genähert, der Anteil der Oberwellen im Ausgangssignal gemindert und die Einstellung der stationären Stellgröße verzögert, wodurch die Anwendung eines speziellen Zeitgliedes überflüssig werden kann.

## NON-LINEAR BRIDGE OF HIGH THERMAL INERTIA

By Dr. L. Gábor

### Summary

In a paper published in Vol. 4 of VKI Publications (Thermal Behaviour of Non-Linear Bridges) the problem was how non-linearity had been produced by the temperature coefficient and temperature rise of the resistance material of a voltage sensing non-linear bridge. As a continuation of this work, the role of thermal inertia is discussed in this paper. At a given working point, thermal inertia causes the values of static and dynamic resistances to come close to each other, the upper harmonic content of the output signal is reduced, and the stabilization of steady-state error signal is delayed, which may dispense with the need for a separate delay element.

Korábbi cikkünkben [1] vizsgáltuk azt, hogy a feszültségérzékelőként alkalmazott nemlineáris híd a hidat alkotó ellenállásokon áthaladó áram hőhatása következtében válik voltaképpen nemlineárisrá. Ennek feltétele, hogy a szomszédos ágellenállások termikus viselkedése — a hőleadás, a rezisztencia hőmérsékleti tényezője — eltérő legyen. Ha ez így van, akkor a híd csak egy meghatározott hőmérsékleten válik kiegyenlítetté, ettől eltérő hőmérsékleteken az egyensúly megbomlik. Mivel pedig a hőmérséklet a hídon áthaladó áram, ill. a híd kapcsaira helyezett feszültség gyakorlatilag egyértelmű függvénye, az előbbi kijelentés egyenértékű azzal a megállapítással, hogy a híd egy adott feszültségen kiegyenlített, s éppen ez a viselkedés teszi alkalmassá a feszültség érzékelésére.

Ezek a megállapítások egyszerű viszonyokra érvényesek: a híd sarkaira egyenfeszültséget kapcsolunk és beáll egy mind termikus, mind villamos szempontból állandósult állapot.

Váltakozófeszültségű táplálás esetén a viszonyok már akkor is jóval bonyolultabbak, ha a rendszer termikusan tökéletesen tehetetlenségmentes, pillanatról pillanatra követi állapotával a külső paramétereket, a viselkedését leíró egyenletekben idő szerinti differenciáhányadosok nem jelennek meg, pillanatnyi állapota a megelőző állapottól független. A paraméterek nemlineáris kapcsolata miatt szinuszos bemenő feszültség esetén mind a hídágakon, mind a kimenő kapcsokon nemlineáris áramok és feszültségek jelennek meg. Kiegyenlített állapotban a kimenő kapcsokon csak az alapharmonikus tűnik el, egy sor felharmonikus továbbra is fennmarad.

Pontosabban nem is beszélhetünk kiegyenlített állapotról, mert a szimmetrikus híd mind a négy ellenállásának azonos rezisztenciájával jellemzett kiegyenlített állapot csak a periódus egy-egy pillanatában következik be, a folytonosan változó állapotok sorában a rendszer csak áthalad a kiegyenlítési ponton.

Még bonyolultabbá válik a helyzet, ha a termikus rendszerben valamilyen mértékben mindig jelen levő hőtehetetlenséget is számításba vesszük.

Vizsgáljuk egyelőre egyetlen ellenállás viselkedését. Az ellenálláson keletkező hőteljesítmény részben átadással és sugárással a környezetbe távozik, részben az ellenállás hőkapacitásában felhalmozódik:

$$\frac{u^2}{R} = a(T - T_k) + b(T^4 - T_k^4) + c \frac{dT}{dt}, \quad (1)$$

ahol  $u$  a feszültség az ellenállás sarkain;

$R$  az ellenállás rezisztenciája;

$T$  az ellenállás hőmérséklete K-ban;

$T_k$  a környezet hőmérséklete K-ban;

- $a$  a lineáris hőátadási tényező;
- $b$  a sugárzási tényező;
- $c$  az ellenállás hőkapacitása;
- $t$  az idő.

Az  $R$  rezisztencia értéke a hőmérséklettel lineárisan változik:

$$R = R_0[1 + k(T - T_0)], \quad (2)$$

ahol  $R_0$  a  $T_0$  hőmérsékleten mérhető rezisztencia;  
 $k$  a rezisztencia hőmérsékleti tényezője.

Ha  $u = U_0 \sin \omega t$  váltakozófeszültség, akkor  $u$  és  $R$  értékének a behelyettesítésével (1) a következő alakot ölti:

$$cR_0[(1 - kT_0) + kT] \frac{dT}{dt} + bkR_0T^3 + bR_0(1 - kT_0)T^4 + akR_0T^2 + \\ + R_0[(1 - kT_0) - k(aT_k + bT_k^4)]T - R_0(1 - kT_0)(aT_k + bT_k^4) = U_0^2 \sin^2 \omega t. \quad (3)$$

A hőtehetetlen híd kimenő jele a feszültség változását némi időkésséssel követi és benne a felharmónikus tartalom csökken. Fenti differenciálegyenlet megoldása minden kérdésre választ ad. Először megkapjuk a hőmérsékletet az idő függvényében. Hirtelen feszültségugrást feltételezve a bemeneti oldalon a hőmérsékletben egy tranzienst tapasztalnak, majd állandósult állapotban valamilyen középhelyzet körüli oszcillációt. A hőmérséklettel együtt változik a rezisztencia és ezzel a híd kiegyenlítetttségi állapota. Mindez pedig meghatározza a kimenő jel alakulását.

A (3) egyenlet szabatos megoldását azonban meg sem kíséreljük, ez sok munkát jelentene a várható eredményhez viszonyítva. A túl bonyolult megoldásoknak az is hátránya, hogy elhomályosítják a gyakran nagyon is egyszerű és szemléletes összefüggéseket. Ezért itt is ahhoz a műszaki gyakorlati módszerhez folyamodunk, hogy az egyszerűsítő feltevéseket nem az eredmény értékelésekor, hanem — azok torzító hatásának a mérlegelésével — már a számítások elvégzése előtt bevezetjük.

Minél nagyobb a rendszer hőtehetetlensége, annál lassabban éri el állandósult állapotát és annál kisebb amplitúdójú lengéseket végez az állandósult állapot középhelyzete körül. Első közelítésként tételezzünk fel olyan nagy hőkapacitást, amely állandósult állapotban gyakorlatilag megszünteti a lengéseket.

A (3) egyenlet jobb oldalán álló gerjesztőfüggvény két részre bontható, egy állandó tagra, amelynek értéke a feszültség  $U$  effektív értékének a négyzete és egy erre szuperponálódó oszcillálótagra, amelynek amplitúdója a feszültség  $U$  effektív értéke,  $\omega_2$  körfrekvenciája a hálózati körfrekvencia kétszerese.

Igen nagy hőkapacitás esetén az állandósult állapotot a gerjesztőfüggvény állandó tagja határozza meg, az oszcillálótag okozta lengések nem érvényesülnek. Állandósult állapotban  $dT/dt = 0$ . Az állandósult állapotot tehát a

$$bkR_0T^3 + bR_0(1 - kT_0)T^4 + akR_0T^2 + R_0[(1 - kT_0) - k(aT_k + bT_k^4)] - \\ - R_0(1 - kT_0)(aT_k + bT_k^4) = U^2 \quad (4)$$

egyenlet határozza meg. Az egyenlet bal oldalán  $T$  kivételével csupa állandó szerepel, tehát minden  $U$  feszültséghez kiszámítható a hozzá tartozó  $T_a$  állandósult hőmérséklet. Gyakorlatilag egyszerűbb fordítva számolni: felvett  $T_a$  állandósult hőmérsékletekhez meghatározni az őt létrehozó  $U$  értéket. Az állandósult állapot az egyébként

bonyolult nemlineáris rendszer egyetlen olyan állapota, amelyet pontosan meg tudunk határozni.

Most az állandósult állapotból kiindulva csökkentjük lassan a rendszer hőkapacitását. Ezzel megindulnak az állandósult állapot körüli lengések, eleinte igen kis amplitúdóval. A kis amplitúdók tartományában megengedhetjük a jelenség linearizálását. E célból, a kezelés megkönnyítésére, a rendszer differenciálegyenletét kissé átalakítjuk. A nyert eredmények értelmén nem változtat, ha feltételezzük, hogy  $T_0 = T_k = 0^\circ\text{C}$  és a továbbiakban a  $T$  hőmérsékletet  $^\circ\text{C}$ -ban számoljuk. Ezzel

$$R = R_0(1 + kT), \quad (5)$$

és a rendszer hőleadása

$$aT + b[(T + 273)^4 - 273^4].$$

Definiáljuk a  $T$ -től függő  $a_T$  hőközlési tényezőt úgy, hogy

$$a_T T = aT + b[(T + 273)^4 - 273^4],$$

vagyis

$$a_T = a + b \frac{(T + 273)^4 - 273^4}{T}. \quad (6)$$

Ezeknek a felvételeknek a bevezetésével az (1) differenciálegyenlet az alábbi alakú:

$$u^2 = a_T R T + c R T', \quad (7)$$

ahol  $a_T$  és  $R$  a hőmérséklettől függő, tehát nem állandó szorzók, ettől válik az egyenlet nemlineárisává;

$T'$  a hőmérséklet idő szerinti differenciálhányadosa.

Az  $a_T$  és  $R$  szorzók  $a$ ,  $b$  és  $k$  ismeretében  $T$  minden értékéhez egyszerűen adódnak.

Az állandósult hőmérséklet körüli lengések gerjesztőfüggvénye  $U^2 \sin \omega_2 t$ , ahol  $U$  a hálózati feszültség effektív értéke,  $\omega_2$  a hálózati körfrekvencia kétszerese. Kis környezetben lineáris viszonyokat feltételezve  $T$  is ugyanezzel a frekvenciával szinuszosan leng, fázisban a gerjesztőfüggvény mögött elmaradva.

A hőmérséklet ingadozásának  $T_c$  amplitúdója a (7) differenciálegyenletből egyszerűen meghatározható:

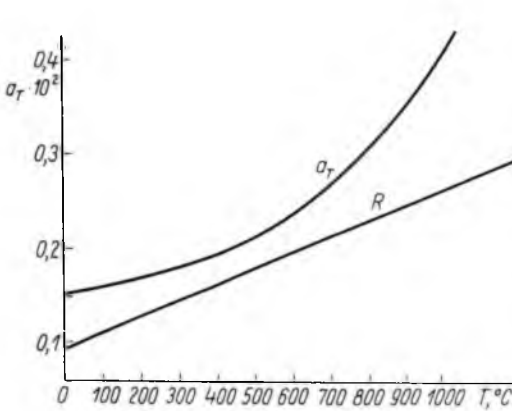
$$T_c = \frac{U^2}{R \sqrt{a_T^2 + c^2 \omega_2^2}}, \quad (8)$$

megjegyezve, hogy itt  $R$  és  $a_T$  a  $T_a$  állandósult hőmérséklethez tartozó — e számításban állandónak tekintett — értékek.

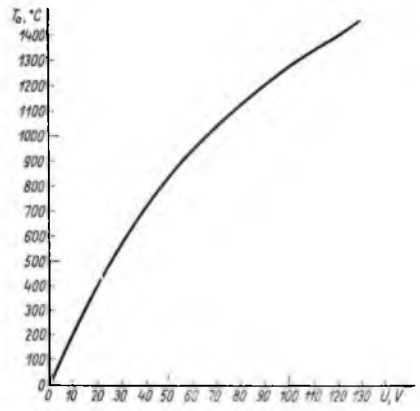
A további megfontolásokhoz érdemes reálisan felvett számszerű értékeket figyelembe venni. Vizsgáljuk a már hivatkozott, korábbi cikkben szereplő izzólámpa iselkedését, feltételezve, hogy azt — például a rádiócsövek izzószálán alkalmazott — hasonló bevonattal — különböző mértékű hőkapacitással látjuk el. Adatai az alábbiak:

$$\begin{aligned} R_0 &= 180 \Omega, \\ k &= 4,7 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot ^\circ\text{C}^{-1}, \\ T_0 &= T_k = 293 \text{ K}, \\ a &= 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}, \\ b &= 10^{-12} \text{ W} \cdot ^\circ\text{C}^{-4}, \\ \omega_2 &= 628. \end{aligned}$$





17-1. ábra. Az  $a_T$  kombinált hőközlési tényező és az  $R$  rezisztencia a  $T$  hőmérséklet függvényében



17-2. ábra. A  $T_a$  állandósult hőmérséklet az  $U$  effektív feszültség függvényében

Az 17-1. ábra  $a_T$  és  $R$  értékét ábrázolja a  $T$  hőmérséklet függvényében, a 17-2. ábra a  $T_a$  állandósult hőmérsékletet  $U$  függvényében. A (8) kifejezés nevezőjében  $a_T^2$  értéke  $10^{-5} \dots 10^{-6}$  nagyságrendű. Ha a hőkapacitás kis érték, például  $c = 0,001$  Ws/°C, akkor a  $c^2\omega^2$  még mindig négy-öt nagyságrenddel meghaladja az  $a_T$  hőátadási tényezőt, és így utóbbi az összegben gyakorlatilag elhanyagolható. Ezzel a (8) kifejezés az alábbi alakra egyszerűsödik:

$$T_c = \frac{U^2}{Rc\omega^2} \quad (9)$$

A (7) differenciálegyenlet nem alkalmas arra, hogy belőle a hőmérséklet  $T_a$  állandósult értékét egyszerűen meghatározzuk, mert  $a_T$  és  $R$  függvényei  $T$ -nek, de igaz az, hogy

$$U^2 = a_T R T_a,$$

illetőleg

$$T_a = \frac{U^2}{a_T R}, \quad (10)$$

ahol  $a_T$  és  $R$  a  $T_a$  hőmérsékletnek megfelelő értékek.

Ha már most arra vagyunk kíváncsiak, hogy a stationer hőmérsékleti érték körüli lengések amplitúdója a stationer hőmérséklethez viszonyítva mekkora, akkor ezt (9)-ből és (10)-ből igen egyszerűen nyerjük:

$$\frac{T_c}{T_a} = \frac{a_T}{c\omega^2} \quad (11)$$

A nemlineáris rendszernek olyan értelemben vett időállandója, mint a lineáris rendszernek, nincsen, hiszen a felfutás nem exponenciális, csak ahhoz hasonló. Mégis a felfutás sebességét jellemezhetjük a  $T(t)$  jelleggörbén a kezdő érintő és az állandósult hőmérséklet metszéspontjának  $\tau$  időkoordinátájával.

A kezdő érintő (7)-ből egyszerűen adódik  $u^2 = U^2$  és  $T = 0$  behelyettesítésével:

$$T_0' = \frac{U^2}{R_0 c}$$

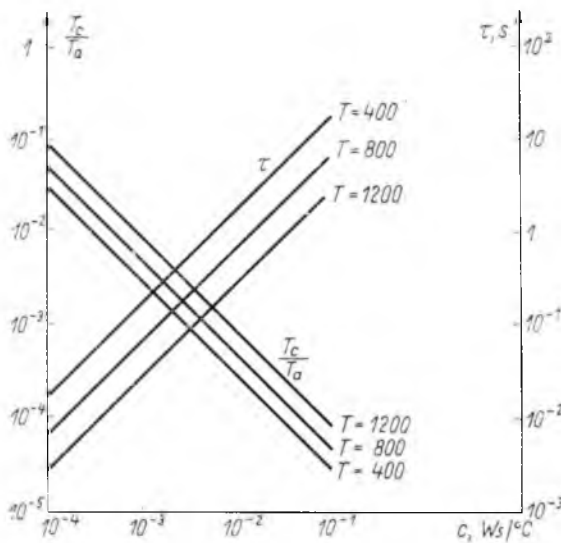
Másrészt legyen

$$\tau = \frac{T_a}{T_0}$$

így (10) felhasználásával

$$\tau = \frac{R_0}{R} \cdot \frac{c}{a_T} \quad (12)$$

Ha (7) állandó együtthatójú differenciálegyenlet volna, akkor a valódi időkonstans  $c/a_T$  értékűnek adódna. Az ehhez képest mutatkozó  $R_0/R$  arányú időrövidülés az induláskor még hideg — és ezért kisebb értékű — ellenállás okozta forszírozás eredménye. A  $\tau$  érték növekvő  $T_a$  állandósult hőmérséklettel, ill.  $U$  feszültséggel egyre kisebb lesz, mert a nevezőben mind  $R$ , mind  $a_T$  növekszik, nagyobb intervallumot átfogva a nemlinearitás hatása fokozottan érvényesül.



17-3. ábra. A hőmérséklet lengésének viszonyított amplitúdója és a felfutás  $\tau$  időjellemezője a hőkapacitás függvényében

A 17-3. ábra  $T_c/T_a$  és  $\tau$  alakulását mutatja be a  $c$  hőkapacitás függvényében három különböző hőmérsékleten, ill. feszültségen, logaritmikusan léptékben. Amint az ábrából kitűnik, amikor a késleltetést jellemző  $\tau$  érték a periódusidővel összemérhető nagyságú, a hőmérséklet-ingadozások viszonylagos amplitúdója csak 1...2%. Sokkal kisebb hőkapacitás elegendő tehát a felharmonikusok kiküszöbölésére, mint valamilyen jelentősebb, néhány száz másodperc vagy perc nagyságrendű felfutási jellemző eléréséhez.

A hőmérséklet adott ingadozását az ellenállás  $R$  rezisztenciájának  $R_c$  amplitúdójú periodikus ingadozása követi. Mivel az ellenállás a hőmérséklet lineáris függvénye,

$$R_c = R_0 k T_c. \quad (13)$$

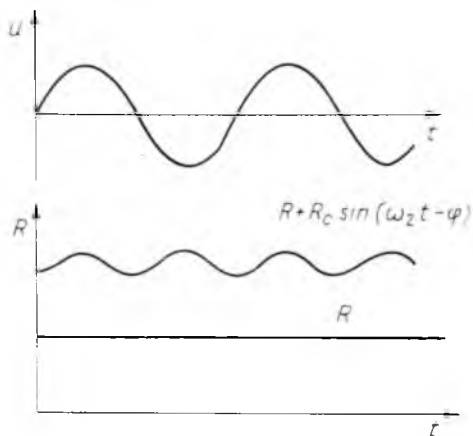
Az ingadozás viszonylagos nagysága:

$$\frac{R_c}{R} = \frac{kT_c}{1+kT_a} \quad (14)$$

Ez az érték számszerűleg a 17-3. ábrán feltüntetett  $T_c/T_a$  értékek kb. kétharmada, vagyis  $10^{-3}$  nagyságrendű hőkapacitások esetén még az 1%-ot sem éri el, ha  $c$   $10^{-4}$  nagyságrendű, akkor — emelkedő hőmérséklettel növekedve — 2—8% között van.

Most már csak egy feladatunk van: meghatározni, hogy a hőmérséklet-ingadozás az ingadozások középtérfékre kiegyenlített hídban mekkora periodikus elhangolódást és ezen keresztül a kimeneti feszültségben milyen felharmonikus tartalmat okoz. A kis kilengések tartományában linearizált rendszerben csak a második harmonikus jelenik meg, ennek viszonylagos amplitúdóját keressük a kimenő feszültségben.

A középtérfékre kiegyenlített híd egyik átlósan szemben fekvő ellenálláspárjának rezisztenciája állandó  $R$ , a másik ellenálláspár rezisztenciája e körül az érték körül  $R_c$  amplitúdóval oszcillál:  $R + R_c \sin(\omega_2 t - \varphi)$ , amint ez a 17-4. ábrán látható.



17-4. ábra. A rezisztencia oszcillációja

A korábban elmondottak annyiban módosulnak, hogy a változó ellenállással sorba kapcsolt állandó ellenállás miatt a felharmonikus torzítás már a feszültségben is megjelenik. A változó hídágra jutó feszültség  $\frac{u}{2}$  helyett

$$u \frac{R + R_c \sin(\omega_2 t - \varphi)}{2R + R_c \sin(\omega_2 t - \varphi)}$$

vagyis a feszültség  $\frac{u}{2}$  helyett

$$u = \frac{R \pm R_c}{2R \pm R_c}$$

értékek közt ingadozik, periódusonként kétszer.

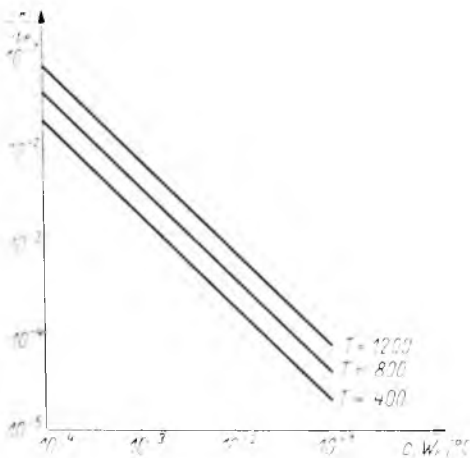
Az ellenállás legnagyobb kilengésekor a viszonylagos kimeneti feszültség

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_c}{2R + R_c} \quad (15)$$

Ha  $R_c \ll R$ , akkor

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_c}{2R} \quad (16)$$

A számítás elhanyagolja azokat a másodrendűen kicsiny hatásokat, amelyek amiatt következnek be, hogy a feszültség torzulása miatt  $R$  ingadozása sem szinuszos.



17-5. ábra. A kimenő feszültség felharmonikus-amplitúdója a hőkapacitás függvényében

mérsékleten  $10^{-4}$  hőkapacitás esetén már csak század nagyságrendű a kiegyenlített hídon kimenő felharmonikus jel. Ebben a tartományban a lineáris közelítés még gyakorlatilag megengedhető.

A hőtehetetlenség hatásos eszköz a felharmonikusok egyszerű kiküszöbölésére. Időkésleltetőként való alkalmazása nem feltétlenül gazdaságos.

#### Irodalom

- [1] Dr. Gábor L.: Nemlineáris híd termikus viselkedése. VKI Közlemények 4. kötet. 1972. 59—66. oldal.

A (15), ill. (16) egyenletbeli érték a kimeneti feszültség pillanatnyi értékének a viszonylagos nagysága a rezisztencia értékének legnagyobb kilengésekor, amely  $\varphi$  értékétől függően a periódusban különbözőképpen helyezkedhet el. Itt tehát nem egy szuperponált második harmonikus feszültségről van szó, hanem az alapharmonikus modulációjáról, amely a rezisztencia  $\omega_2$  frekvenciájú ingadozása következtében jön létre és az alapharmonikusra kiegyenlített híd kimeneti kapcsain is megjelenik.

A kiegyenlített hídra a hőmérséklet-ingadozás okozta legnagyobb kimeneti feszültség felharmonikusamplitúdókat a 17-5. ábra tünteti fel a hőkapacitás függvényében a hőmérséklettel mint paraméterrel. Amint látható, 800 °C körüli hő-

VILLAMOS  
TECHNOLÓGIÁK  
FŐOSZTÁLY



## A VKI Villamos Technológiák Főosztályának (Félvezető Főosztály) 25 éves munkássága

MOLNÁR ISTVÁN

A Főosztály 15 éves munkásságáról szóló beszámolót tartalmaz az Elektrotechnika című folyóirat 1964. évi, 11—12. száma, ill. a 20 éves munkásság áttekintése a Villamosipari Kutató Intézet Közleményei 3. 1969. évi kötetében található. A Főosztály negyedszázados kutató-fejlesztő tevékenységének áttekintése során tehát e beszámoló dominánsan az utolsó 5 év kiemelkedő eredményeit ismerteti a Főosztály kutatásainak fő irányát emelve ki.

A jelenlegi Főosztály magját képező kis létszámú csoport az 1949—1953 közötti időtartamban azokat az alapozó kutatásokat és munkákat végezte el, amelyek a későbbi időszakban a poli- és egykristályos félvezető anyagok és elemek, valamint a speciális villamos technológiák fejlesztési munkáit voltak hivatva megalapozni. Ez a tevékenység ugyanakkor szervesen csatlakozott az újjáéledő erősáramú ipar kutatási—fejlesztési igényeihez és egyik kiemelkedő eredményének kell megemlíteni a réz—alumínium kábelek és áramvezetők kötésének impulzushegessztéssel történő megoldását.

Az 1953-ben létrejött Félvezető Osztály, majd az 1959-ben kialakult Félvezető Főosztály, ill. a speciális villamos technológiai, valamint alkalmazástechnikai kutatási—fejlesztési profillal bővült Villamostechnológiák Főosztály mindenkor ipari eredmény orientált munkásságának ismertetése már a következő témák szerint célszerűbb:

- nemlineáris ellenállások és túlfeszültség-levezetők kutatása—fejlesztése;
- félvezető, erősáramú elektronikai elemek kutatása—fejlesztése;
- közvetlen energiaátalakítási kutatások és
- a villamos energia közvetlen felhasználását célzó kutatások.

### 1. Nemlineáris ellenállások és túlfeszültség-levezetők kutatása—fejlesztése

A szilíciumkarbid alapanyagú nemlineáris ellenállások kutatása 1950-ben kezdődött a Főosztályon. Ez első lépésben a reduktorvédő ellenállásokat, ill. a cementkötésű túlfeszültség-levezető betétek kísérleti példányait hozta létre. 1953-ban vette kezdetét az üvegkötésű, ún. melegprésléses technológia fejlesztése, ami az üvegminőség folyamatos kutatása mellett, végeredményben biztosította a nagyáramú impulzusüzemre alkalmas hálózati nemlineáris ellenállások, ill. a nagy térerősség elviselésére képes potenciálvezérlő elemek kifejlesztését.

Bár napjainkig a nemlineáris ellenállások gyártása import szilíciumkarbidra épül, a Főosztály kifejlesztette 2400 °C-on lezajló szilíciumdioxid—szén (kvarchomok—petrolkoks) reakció megvalósításával az elektrotechnikai minőségű szilí-

ciumkarbid előállításának technológiáját és a gyártási technológiát 1960-ban a Műszénermelő Vállalatnak átadta.

Az üvegekötésű nemlineáris ellenállásokkal és VKI típusú szikraközökkel 1961–1963-ban a hollandiai KEMA laboratóriumban IEC minősítést biztosító próbák zajlottak le, és ezek pozitív eredményeinek bázisán a Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyárában megindult a túlfeszültség-levezetők gyártása, az export tevékenység egyidejű biztosításával.

A levezetőellenállások továbbfejlesztését biztosító kutatás eredményeképpen 1965–1967-ben megszülettek a keramikus kötésű levezetőellenállás-típusok. Ezek kezdetben Cordierit, később  $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—Li}_2\text{O}$  bázisra épültek és 1200...1300 °C hőmérséklet-tartományban, védőgáz atmoszférában égetjük ki őket. A keramikus kötésű ellenállások a hazai gyártású túlfeszültség-levezetők számára biztosították az IEC előírásokban szereplő legkorszerűbb szint elérését. A kutatási hatékonyság kiemelése céljából megemlíthetjük, hogy a VBKM Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyára és a VKI közös eredményeképpen, 1955–1973 időtartamban összesen kb. 240 MFt értékű levezetőt készítettünk. A kooperáció keretében a Főosztály 1971–



18-1. ábra. Keramikus kötésű túlfeszültség-levezető ellenállások

1973 között saját kísérleti gyártási tevékenysége révén évi kb. 3 MFt értékben állított elő 5 és 10 kA levezetőáramú keramikus kötésű ellenállást (18-1. ábra).

Ma már mintegy húszféle szilíciumkarbid bázisú nemlineáris ellenállástípus áll az erősáramú ipar rendelkezésére. A reduktorvédőt, biztosítót, kisütő-szabályozót és söntellenállásokat is az iparban – az energiaiparban, ill. a hírközlő és közlekedési objektumokban – használják.



## 2. Félvezető, erősáramú elektronikai elemek kutatása, fejlesztése

A Főosztályon 1957 évben indultak meg az ötvözött germánium teljesítménydiódák kifejlesztésére irányuló kutatások, és a technológiai eredményeket az 1959—1960-as években bevezették a VBKM Anód Áramirányítógyárban, megteremtve ott az erősáramú félvezető ipar bázisát, és lehetővé téve az 5, 10, 25, 50 és 100 A terhelhetőségű léghűtéses, valamint a 200 A-es vízhűtéses, maximálisan 200 V zárófeszültségű diódatípusok gyártását. A komplex technológia ipari bevezetése a speciális, vízszintes zónás germánium egykristályhúzó technológia területére is kiterjedt és végeredményben biztosította a germánium egykristályok gyáron belüli sorozatgyártását is. A germánium teljesítménydiódák hatéves gyártása során, a gyár évi kb. 5000 db dióda termelésével, összesen kb. 25 MFt értékű teljesítménydiódát biztosított a magyar ipar számára. Ez egyúttal közvetlen bázisát jelentette kb. 80 MFt értékű félvezető berendezés létrejöttének.

A Főosztály egyik kiemelkedő eredményeként kell megemlíteni, hogy 1960—1962 között kifejlesztette az ötvözött szilícium teljesítménydiódák komplett gyártási, mérési technológiáját, és ezzel ugyancsak a VBKM Anód Áramirányítógyárban, 1963-tól napjainkig biztosította a 25, 50, 100 és 150 A terhelhetőségű, maximálisan 800 V zárófeszültségű szilícium teljesítménydiódák gyártását.

A Főosztály által kifejlesztett ötvözött szilícium diódák a világszínvonalat képviselték és a 150 A-es típus tette lehetővé az 50 periodusú, 3000 LE-s szilíciumegyenirányítós mozdonyok kiváló minőségű főüzemi egyenirányítóinak 1965-ben megindult hazai sorozatgyártását.

A szilícium teljesítménydiódák jelen időpontig 10 éves múltra visszatekintő gyártása évi kb. 40 000 db gyártási volumen mellett, összesen kb. 500 MFt értékű dióda létrehozását eredményezte és közvetlen kb. 2000 MFt értékű korszerű, nagyteljesítményű egyenirányító berendezés létrejöttét biztosította.

A Főosztály 1967-ig befejezte a galliumdiffúzióra alapított, diffúziós-ötvözéses technológiára épült 50, 100 és 200 A határáramú, valamint 800 V határfeszültségű, középgyors szilícium teljesítménytirisztor-család technológiai kutatását. Az ipari bevezetés is a Főosztály keretében kezdődött és 1972 év végéig a Főosztály, ill. 1970-től a 6. osztály keretében folyó kísérleti gyártás eredményeképpen összesen kb. 7000 db tirisztor készült közelítőleg 13 MFt termelési értéket képviselve.

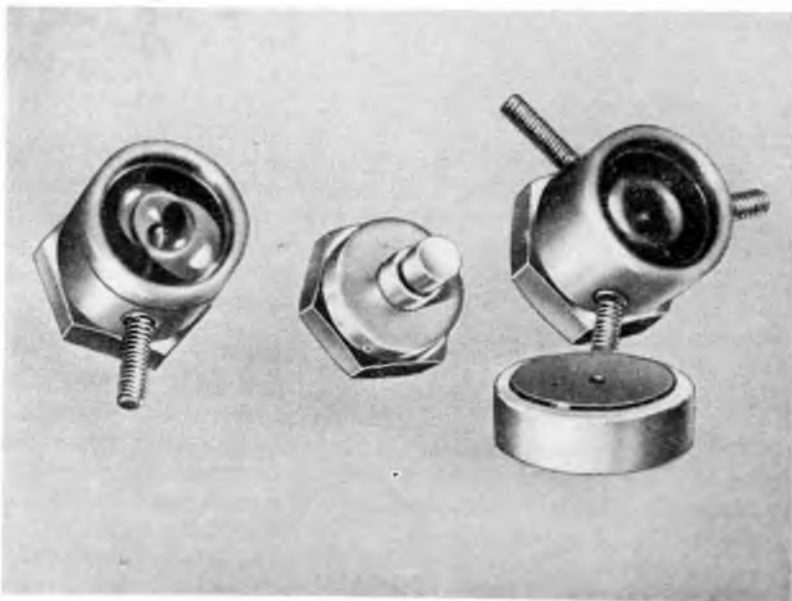
1968—1969 évben a Főosztály a VBKM Anód Áramirányítógyár részére átadta a 220 és 30 A határáramú, maximálisan 1700 V határfeszültségű, ugyancsak galliumdiffúzióra alapított szilíciumdiódák családjának komplett technológiai és mérési dokumentációját. A kifejlesztett 220 A határáramú típus nehézüzemi diódának minősül, 5300 A csúcsertékű lökőáram- és 2 kV maximális lökőfeszültség-szilárdsága mellett. Az ipari bevezetési tevékenység folytatása 1970-től a 6. osztály tevékenységi körébe ment át.

1972 évben befejeződtek azok a technológiai kutatások, amelyek a kontaktus nélkül vezérelhető, félvezető, erősáramú elektronikai elemek vonalán biztosították a 25 A terhelhetőségű, maximálisan 800 V zárófeszültségű fototirisztorok, valamint a háromszegmensű, forgófényvel vezérelhető rotisztorok kifejlesztését, ill. ezek Intézetben belüli kísérleti gyártását. A fényvel vezérelhető elemek hazai ipari felhasználása 1973-ban indult meg, az elemek egy vagy több fázisban lehetséges, kW nagyságú kapcsolási teljesítménye és galvanikus csatolást nem kívánó vezérlési lehetősége alapján.

A Főosztály 1969. évben a függőzónás felületolvasztási technológia és gázfázisú doppel kombinációjával, 3 kV zárófeszültségű hengersizmetrikus pn átmenetet



18-2. ábra. Glimm-plazmareaktor melting back diódák átmenetképzéséhez

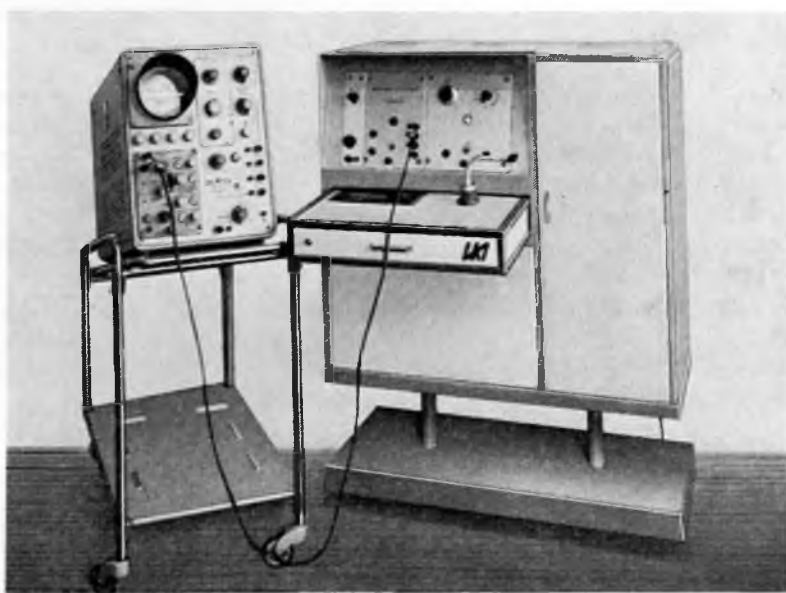


18-3. ábra. 25 A-es fototiriztor, 3×25 A-es rotisztor, 50 és 400 A-es, 3000 V-os melting back diódák

hozott létre. Ennek korszerű erősáramú továbbfejlesztését a melting back technológia kifejlesztése tette lehetővé (18-2. ábra). A plazmatechnika alkalmazásával kifejlesztett glimm-plazmareaktor biztosította 1972 év végéig az 50, 100 és 400 A terhelhetőségű, 3 kV határfeszültségű melting back diódák kialakítását, melyek európai csúcshintet képviselnek. A jelzett diódák kísérleti gyártása a Főosztályon indult meg, 1973-ban (18-3. ábra).

Részletes elemző tanulmány készült a Főosztály keretében az ionimplantációs technológia speciális, erősáramú felhasználási lehetőségeinek vizsgálatára. Az 1972-ben lehetővé vált három hónapos külföldi tanulmányút az elgondolások helyességét igazolta, és egyben kombinált ionimplantációs technológiával készült vékony rétegű, de 1 kV feszültségű pn, pnp és pnpn struktúrák létrehozását tette lehetővé.

A Főosztályon 1972-ben üzembe állított plazmasputtering berendezés révén mód nyílt szigetelő, félvezető vagy fém, vékony rétegű ülepítési technológia bevezetésére. Ez értelemszerűen technológiai területek bővülését jelentette; a vékonyréteg-technika, és a felületvédelmi terület vonatkozásában szinte korlátlan lehetőségeket.



18-4. ábra. Teljesítménytirisztor szabadáválási idejének mérőberendezése

A technológiai fejlesztési tevékenységgel párhuzamosan folytak a Főosztályon a korszerű mérési rendszerek és mérőberendezések kifejlesztését célzó kutatások. 1972 végéig a Főosztály az erősáramú diódák, tirisztorok és tranzisztorok komplett sorozat-, típus- és speciális mérések és vizsgálatok elvégzésére alkalmas, 1963 óta az IEC előírásoknak eleget tevő mérési bázist hozott létre (18-4. ábra).

A Főosztály 1964 óta folyamatosan alkalmazza a villamos hőmodellezést, ami elektronikus számítógép alkalmazásával kombinálva, biztosította a félvezető elemek transziens igénybevételének hatásvizsgálatát. Ez tette lehetővé pl. a diódák határáramának frekvenciafüggés-elemzését is, ami napjainkban (a frekvenciaigény növekedésével) domináns paramétervizsgálat.

1965-ben ezek az eredmények tették lehetővé a 3000 LE-s, szilíciumdiódás, villamos mozdonyokban alkalmazott hazai félvezető elemek mérési és átvételi előírásának kidolgozását. E tevékenység a főüzemi egyenirányító négy különböző terhelési ponton történő termikus analizisére épült. A kifejlesztett mérési, vizsgálati rendszer helyesen modellezte a mozdonyüzem legváratlanabb terhelési kombinációit és az előírások helyességét támasztják alá a villamos mozdonyokba jelen időpontig beépített, kb. 60 000 db hazai, 150 SAV típusú diódával szerzett üzemi tapasztalatok is.

Az erősáramú elektronikai elemek technológiai kutatása megkövetelte az optimális paraméterű szilícium egykristályok felhasználását. Ennek érdekében a Főosztályon 1964-ben indult meg a szilícium egykristályok komplett előállítási technológiájának és mérési rendszerének kifejlesztésére irányuló kutatás. A kutatás alapján már 1967-ben 22 mm átmérőjű szilícium-egykristály előállítására alkalmas ipari függőzónás technológiát alakítottunk ki.

1967 nyarán, a hazai felhasználók véleményével egyezően, a KGM, NIM, OMFB, Tervhivatal és Pénzügyminisztérium határozatának megfelelően, a Főosztály 1968 év végéig áttelepítette a Fűzfői Nitrokémia Ipartelepek keretében levő szilícium mikrokristály üzemet (profilátvétel), és 1969 végéig a főhatóságok maximális segítőkészsége mellett a teljes hazai függőzónás szilícium-egykristályhúzó parkot is saját keretébe vonta.

A hazai szilíciumbázis ipari tevékenységének erősödése 1969 évvel kezdődött. A technológiai továbbfejlesztéssel 1972-ig elért szint a következőkkel jellemezhető:

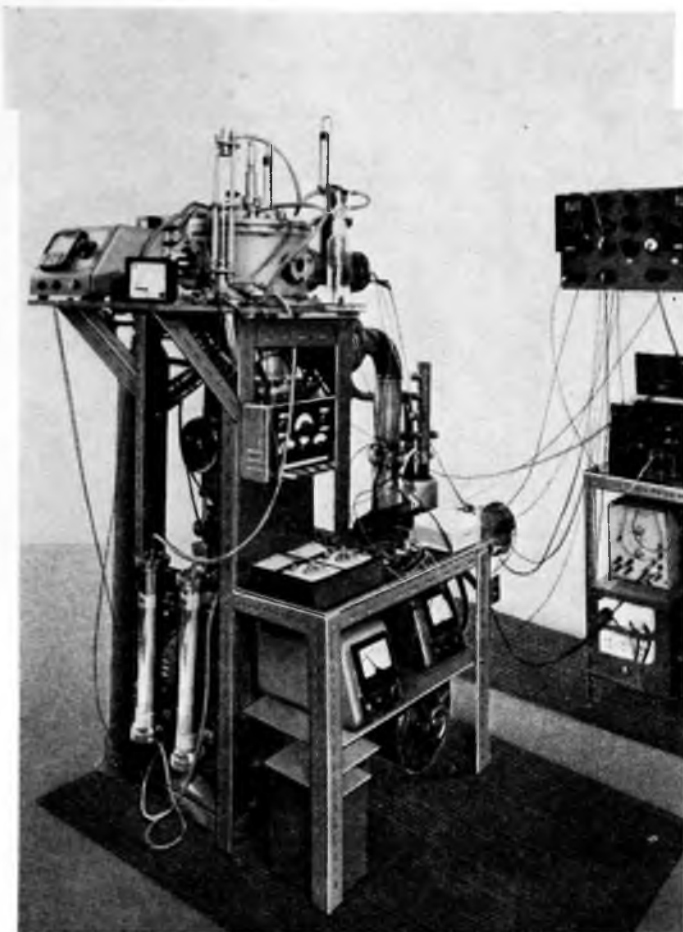
- max. 40 mm átmérőig, évi 200 kg-ot meghaladó mikrokristály-mennyiség előállítása vált lehetővé,  $10^4 \Omega\text{cm}$  borszintet biztosítva;
- a kombinált függőzónás húzási technológia 30...32 mm átmérők elérését, és ezen belül 25...27 mm átmérőkig a közel diszlokációmentes egykristályok előállítását teszi lehetővé.

1972-ig a hazai erősáramú és híradástechnikai ipari felhasználók részére a függőzónás szilícium egykristályból (kedvező ipari felhasználási eredményekkel) max. 40 kg/év volument adtunk át, amely összesen kb. 11 MFt értéket képvisel, és közelítően 100 MFt értékű hazai félvezető elem előállítását biztosította.

### 3. Közvetlen energiaátalakítási kutatások

A hőenergiának közvetlenül villamos energiává történő átalakításával kapcsolatos az az alapoató kutatás, ami (egy az USA-ban 1966-ban befejeződött ösztöndíjas munka folytatásaként) 1967—1969 közötti időtartamban a termoinduktív generálás megvalósítására irányult. A kutatás annak a galvanomágneses effektusnak a vizsgálatára terjedt ki, ami szilárdtest belsejében haladó hőhullám hatására, a sztatikus Nernst-feszültségre szuperponálódóan, annak nagyságrendjét meghaladó, termoinduktív pót-feszültséget hoz létre. A kutatás reaktor- és pirolitikus grafit, szilícium, bizmut-antimonid és bizmut-tellurid szilárdtestekre terjedt ki, és a termoinduktív feszültség gyakorlati generálási lehetőségét igazolta, anyagparamétereiktől való függését tisztázta.

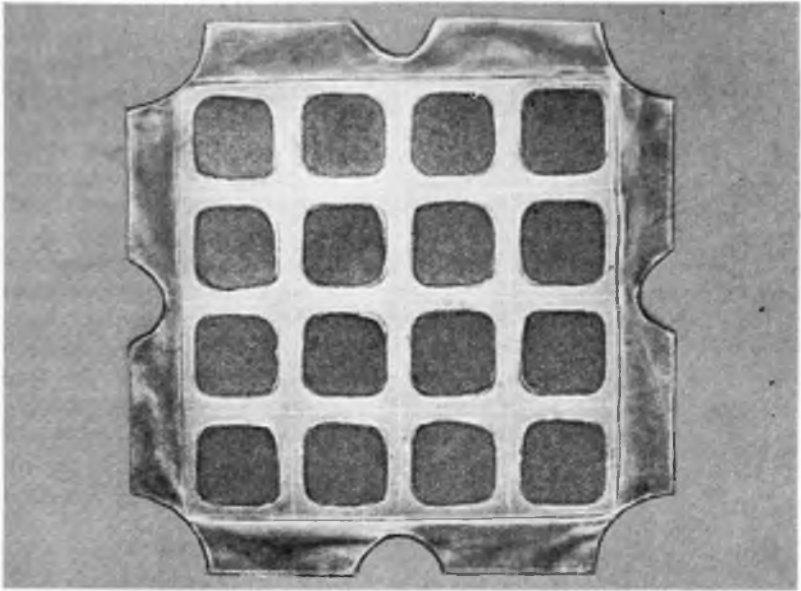
A Főosztályon 1970-ben indult meg az égés mikromechanizmusának vizsgálata, azzal a céllal hogy az exoterm kémiai reakciók során felszabaduló energiát, a molekulák rendezetlen hőmozgásának közbejötté nélkül, villamos energia közvetlen előállítására lehessen felhasználni. A még jelenleg is folyó kutatás eredményeként rögzíthető, hogy szilárd szénfelületnek oxigén-ionsugárral ( $O^+$ ) történő bombázása során, a szén—oxigén reakció létrejötté bizonyíthatóvá vált, ugyanakkor a visszavert termé-ionnyaláb impulzusnövekedése volt kimutatható (18-5. ábra).



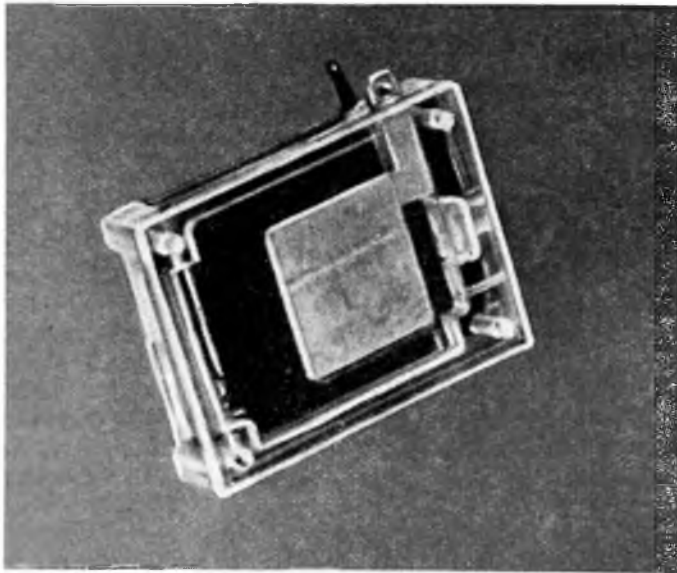
18-5. ábra. Oxigén-ionnyaláb vezérlőberendezés oxigén—szén reakció villamos vizsgálatához

A kémiai energiának közvetlenül elektromos energiává történő átalakítását célzó kutatások 1969 óta tartoznak a Főosztály keretébe. A tüzelőanyag-cella kifejlesztése során, az 1970-es szintet a  $13 \text{ cm}^2$  aktív felületű alkáli-karbonát elektrolittal nedvesített, mindkét oldalon nikkel-ezüst gázdifúziós elektród kialakítású magnéziumoxid mátrix képviselte. Városi gáz, ill. levegő—széndioxid gáztáplálás esetén, a cella  $700 \text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékleten  $120 \text{ mW/cm}^2$  fajlagos teljesítményt biztosított, 300 h-t megközelítő élettartam mellett. 1971 év végéig az előző cellatípussal azonos tüzelőanyagra alkalmas, 1 kW névleges teljesítményű egység készült és közel 300 h élettartamot ért el. Az egység  $72 \text{ dm}^3$  aktív (tüztér nélkül értelmezett) köbtartalmára vonatkoztatott fajlagos jellemzői a következők:  $3,81 \text{ W/kg}$  és  $17 \text{ W/dm}^3$ .

1972-ben komplex vizsgálatok folytak a tüzelőanyag-cella élettartamát befolyásoló, pl. kemo- és termomechanikus effektusok elemzésére, ill. kifejlesztésre került az alumínát bázisú pasztaelektrolit mátrix. Az eredmények felhasználásával készült el



18-6. ábra. 200 W terhelhetőségű tüzelőanyag-cella síkban multiplikált, 5 W-os pasztaelektrolit mátrixa



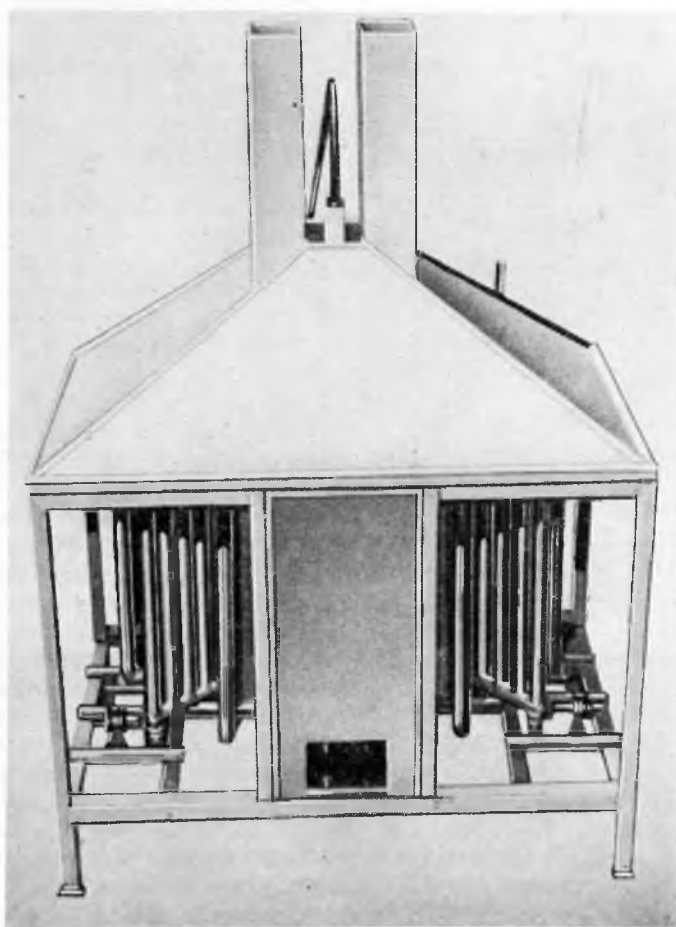
18-7. ábra. 300 mA terhelhetőségű (10 cm<sup>2</sup> Al-felületű) alumínium—légoxigén primer elem



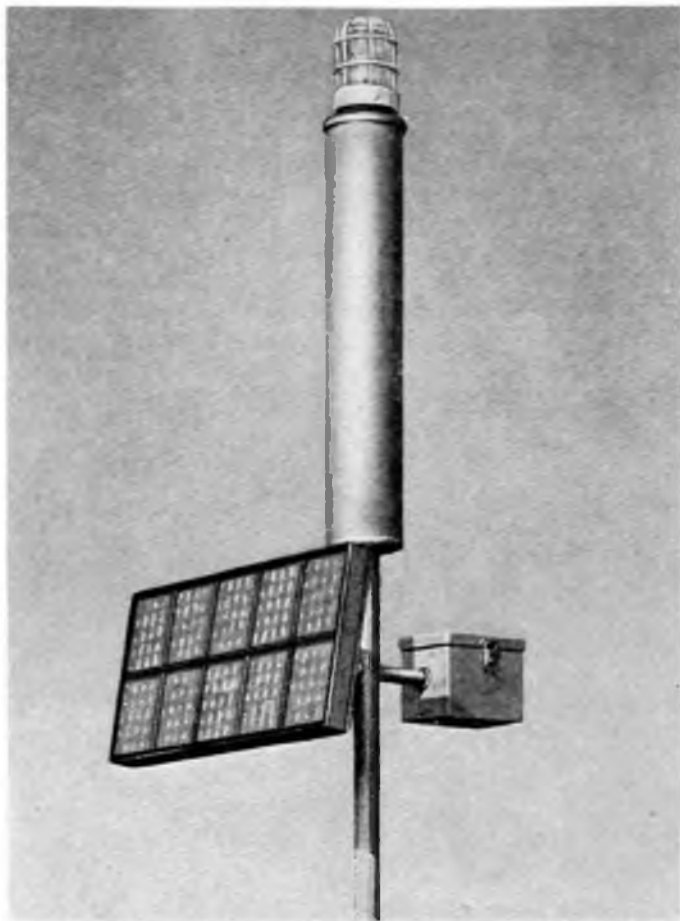
1972 végéig a 200 W terhelhetőségű kvázimobil tüzelőanyag-cella. Ez  $H_2-N_2$  összetételű anód-, ill. levegő- $CO_2$  összetételű katódoldali gáztáplálás mellett, 500 h-s élettartamot ért el,  $350 \text{ mW/cm}^2$  fajlagos teljesítménysűrűség, ill.  $40 \text{ W/dm}^3$ , továbbá  $5,3 \text{ W/kg}$  fajlagos paraméterek mellett (18-6. ábra).

1970 év végéig elkészült az első alumínium—levegő primér elem kísérleti példánya, aminek  $30 \text{ cm}^3$  elektrolit-térfogata,  $10 \text{ cm}^2$  felületű alumínium anódja és hidrofobizált aktív szén katódja volt. Az alumínium spontán oldódását gátló komponenssel rendelkező cella  $300 \text{ mA}$  áramerhelést biztosított, 50 h élettartam mellett  $1,2 \text{ V}$  kapcsoló feszültséget szolgáltatva (18-7. ábra).

A vizes elektrolitú, alumínium—légoxigén készlelti áramforrás kutatásának további eredménye az 1971 év végéig elkészült  $1 \text{ kW}$  teljesítményű egység, ami 30 h élettartam mellett  $180 \text{ Wh/kg}$ , ill.  $6 \text{ W/kg}$  fajlagos paramétereket biztosított. Az alumínium—oxigén elem energiatartalma az 1972 év végére elkészült alumínium—hidrogénperoxid—ezüst cellában már nagyobb, ami az elektrolitba juttatott oxidáló-



18-8. ábra.  $40 \text{ W}$  terhelhetőségű, propán—bután tüzelésű (heatpipe hűtésű) termovillamos generátor



18-9. ábra. 10 W-os napelemes szirtfokvilágító berendezés

szerrel üzemelt. A kísérleti elem 1,35 V kapcsolófeszültséget biztosított, 10 h élettartam mellett, 19 W/kg és 37 mW/cm<sup>2</sup> fajlagos jellemzőkkel.

A kutatások a továbbiakban a szerves oldószerű elektrolitok és nagy fajlagos energiatartalmú alkálifémek felhasználásával, új kísérleti elemtípusokra irányultak. 1972 év végéig elkészültek az 5. Főosztály által kifejlesztett nátrium-ionvezető beta-korund alkalmazásával az első nátrium kén elemek, amelyek 350 °C hőmérsékleten 460 mA/cm<sup>2</sup> áramsűrűséget biztosítottak.

A termovillamos generátorok komplex kutatása a Főosztályon lényegében 1969 évben kezdődött. A termovillamos vegyeskristályok kutatása a Ge<sub>0,3</sub>Si<sub>0,7</sub> összetételű változat technológiájára koncentrált, de emellett kiterjedt a GeSi-ternér kompozíciókra és az ólomtellurid változatokra is. 1972-ben egyrészt elkészült egy közelítően 40 W terhelhetőségű, propán – bután tüzelésű GeSi vegyeskristályra alapított generátor kísérleti példánya, másrészt ipari szerződés alapján elkészült a VKO 250/30 típusjelzésű, névlegesen 250 W terhelhetőségű, ugyancsak PB tüzelésű termovillamos generátor kísérleti példánya. Ez utóbbi generátor is (hazai, aktív közreműködés



hiányában) saját fejlesztésű, speciális tűztérrel rendelkezett, és 1,7 kg/h PB gázfelhasználás mellett biztosította a generátorelemek 1000 °C-os melegoldali hőmérsékletét és max. 240 W teljesítmény leadását. A generátorelemek hidegoldali hőáram-elvezetését „heat-pipe“ rendszerű hűtés biztosította (18-8. ábra).

1971 év végén indult meg a szilíciumbázisú fotovillamos generátorelemek (nap-elemek) kutatási-fejlesztési tevékenysége a Főosztályon. 1972-ben már ipari felhasználásra került sor, ill. a RAVILL forgalmazásában közfogyasztási célra kaphatók voltak a max. 12% hatásfokú, szilícium napelemek és napelemes egységek. (A 0,5 W teljesítményű egység az 1972 évi BNV-n díjat nyert.) Az ipari igényeknek megfelelően kifejlesztettük a felügyeletmentes energiaszolgáltató 4,10 és 30 W teljesítményű napelemes berendezéseket is. A 10 W-os szirtfokvilágító berendezés pl. besötétedéstől hajnalig, 2,5 s-onként ismételve, 26 klm fényárammal, figyelemfelhívó fényimpulzust képes biztosítani (18-9. ábra).

#### 4. A villamos energia közvetlen felhasználását célzó kutatások

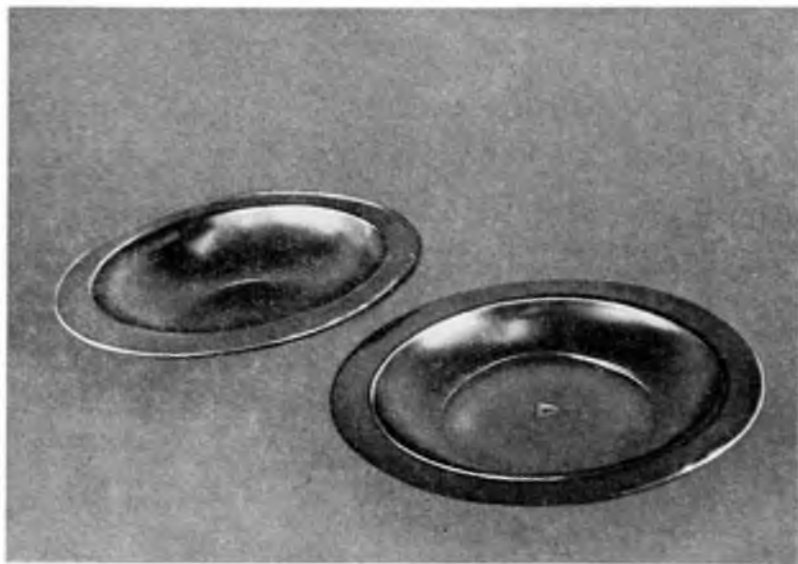
1963-ban indultak meg azok a kutatások, amelyek célja a villamos energia közvetlen hűtési célra való felhasználása volt. Ennek eredményei a termovillamos hűtőelemek és hűtőkészülékek. A termovillamos elemek bizmut-antimon-tellurid, ill. bizmut-tellurid-szelenid bázisú félfém ötvözetekre alapultak, melyek kezdetben Bridgeman-eljárással, a későbbiekben szintereléssel készültek. A termovillamos hűtőelemek izoterm véglapokkal, 15...40 W bemeneti teljesítménytartományban készültek, max. 25% hűtési hatásfokot és 50 °C hőmérséklet-különbséget biztosítva. A vonatkozó technológiát 1969-ben átadtuk a Jászberényi Hűtőgépgyárnak.

A kifejlesztett hűtőelemek bázisán 10 l-es autóhűtőszekrény, ill. 24 l-es reprezentatív italhűtő szekrény kis sorozatú saját előállítására valósult meg 1969-ig, a speciális laboratóriumi felhasználásokat biztosító hűtőegységeken túlmenően. 1970-től a termovillamos hűtőelemek és hűtőkészülékek fejlesztése a 6. osztály feladatkörébe ment át.

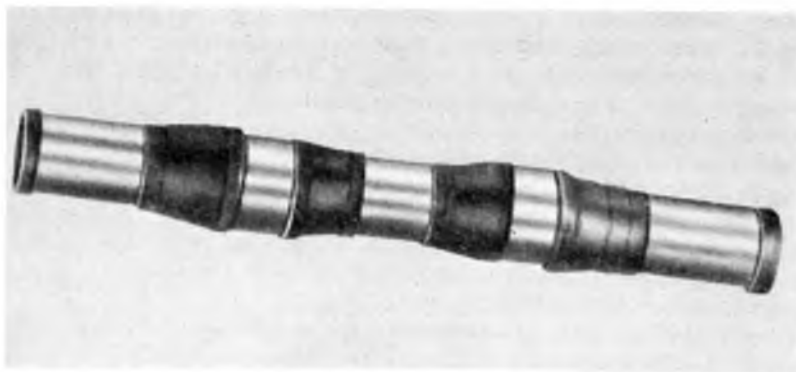
A Főosztályon 1966 év végén kezdődött a nagy sebességű, képlékenyalakítási technológiának számító elektrodinamikusan fémalakítások komplex kutatása. Az 1969 évig terjedő időszak az elektromágneses hidegalakítások kutatásaira koncentrált, és 1967-től a Gépipari Technológiai Intézettel folytatott kooperációra is támaszkodott. A jelzett hároméves kutató-fejlesztő tevékenység a max. 10 kW-s energiatároló képességű berendezések, a sík lemezek, továbbá csőszerű idomok expanziós és kompressziós alakítótekerceinek, valamint a mágneses energia koncentrálsát biztosító térformáló tekercek méretezési és konstrukciós feladatait oldotta meg. Mivel az elektrodinamikusan fémalakítás alkalmazási perspektívái a villamos iparban, a finommechanikai és műszeriparban, a járműiparban, speciális közszükségleti tárgyak előállítása vonalán, a csomagoló és szerelőipar területén egyaránt mutatkoznak, az alakítandó tárgyak az ipar konkrét igényeihez csatlakoztak. Ilyen alapon készült pl. a Jászberényi Hűtőgépgyár részére — elektromágneses úton szerelt — műanyag lapátos, alumínium gerinclemezes ventilátor-járókerék. Ugyanezen időszakban egy 2 kW-s, ill. 10 kW-s energiatároló képességű alakítóberendezést is készítettünk; az utóbbit a Gépipari Technológiai Intézet részére.

Az 1969...1970-es évek tevékenysége az elektrohidraulikus hidegalakítások technológiájának kutatására irányult. Ennek keretében építettük a 30 kW-s energiatároló képességű impulzusadó berendezést, ill. megoldottuk a robbanószálas nyomáshullámkeltés és alakítószerszámfelépítés komplex méretezési rendszerét.

1971-től a Főosztály ipari kapcsolatait bővítette, ugyanakkor az elektrodinamikus melegmegmunkálások területén európai szintű kutatást kezdeményezett. Az Óra- és Ékszeripari Vállalat részére elkészült egy 3,5 kW-s energiatároló képességű alakítóberendezés, különböző alakítótekercesek adaptálását biztosító megoldásban. A 72 kW-s felső energiaszintre átépített alakítóberendezéshez integráltan szerelhető mágneses és hidraulikus alakítótér készült, ami lehetővé tette axiális és koaxiális szikraközök alkalmazását, biztosította az alakítóterek vákuumozhatóságát, a megmunkálendő darabok, valamint a hidraulikus nyomásközvetítő anyag 900 °C-ot elérő izzítása mellett. A 10<sup>5</sup> A nagyságrendbe eső áramimpulzus, a jelzett technológiai kombinációlehetőséggel több ezer atmoszféra alakítási nyomás létrehozását biztosította. Lehetővé vált rozsdamentes edények hidraulikus hidegalakítása (18-10. ábra), amelyek falvastagsága



18-10. ábra. Elektrohidrolikusan, hidegen alakított 1,5 mm vastag, 40 cm átmérőjű rozsdamentes tálcák



18-11. ábra. Elektrohidrolikusan, melegen alakított,  $\varnothing$  50/40×400 mm méretű acél, excentrikus vezérlő csőtengely

1,5 mm és átmérője közel 40 cm, és max. 1500 mkg deformációs munkát igényelnek. A 900 °C-on történő nagy sebességű hidraulikus alakítás kiemelkedő eredményének kell minősíteni az  $\varnothing 50/40 \times 400$  mm méretű acél csőtengely excentrikus vezérlőtengellyel alakítását (18-11. ábra).

Az elektrodinamikus présöntés technológiájának kifejlesztésére irányuló kutatás a Northrup-jelenség alkalmazhatóságára is kiterjedt és végeredményben 500 °C olvadáspontú fémanyag esetén, max. 150 g tömegű, hatszögfejű csavar, ill. üregrezonátor-féltest nagysebességű présöntését eredményezte.

Az elektrodinamikus fémalakítások ipari felhasználása gyorsításának elősegítése céljából a Főosztály a Gépipari Technológiai Intézettel, 1972-ben két alkalommal, egyhetes, bemutatókkal párosult előadássorozatot szervezett, közelítően 70 hazai vállalat és intézmény technológiai, vezető szakemberei részére.

Az elektrodinamikus fémalakítási téma kapcsán, 1969—1972 közötti időtartamban, alakítóberendezések szállítása és képlékenyalakítási szolgáltatások révén, közelítően 2 MFt értékű ipari tevékenységet bonyolítottunk le.

A nagyvárosok levegőjének szennyeződése, a magas utcai zajszint elleni nemzetközi küzdelemhez, továbbá korszerű belső téri (postai, egészségügyi, mezőgazdasági) szállító járművek fejlesztési igényéhez csatlakozva indult meg a Főosztályon 1968-ban a járművek villamosításával összefüggő alkalmazástechnikai kutatás. Ez egyúttal szervesen kapcsolódott a 3. pontban ismertetett tüzelőanyagcellák és primér elemek fejlesztési trendjéhez, és 1974. évre tervezett jármű-alkalmazásaihoz.

Az 1968. évi BNV-n bemutatott Tiny 1 elnevezésű, kis villamos járműnek 250 kg önsúlya volt, és 4 személy szállítását tette lehetővé, maximális sebessége 35 km/h. Az akkumulátorok össz súlya 90 kg volt, egyszeri töltéssel 20 km távolság volt meg-



18-12. ábra. „Tiny 70” elnevezésű, tirisztoros szabályozású, közúti, villamos kisjármű

tehető vele. A járműmeghajtás két hátsó, független féltengelyen keresztül történt, fogazott ékszíjhajtással.

Az 1969. évi BNV-re kifejlesztettük a Hospedit elnevezésű, tirisztoros vezérlésű kórházi villamos járművet, ami a vezetőkívül egy hordágyon fekvő és egy ülő beteg szállítását biztosította, 450 kg kocsiönsúly mellett. A beépített 180 kg akkumulátorral közel 8 órán keresztül lehet a kórházi igényeknek megfelelő feladatokat ellátni egyetlen töltéssel. A tirisztoros szabályozás nyomtatékszegény indítással, finom beállást biztosított a kórházi liftekbe.

Az 1971. évi BNV-re készült el az üvegszál erősítésű, poliészter karosszériájú Tiny 70 típusjelzésű, közúti villamos jármű (18-12. ábra). 860 kg önsúly mellett, két felnőtt (+ csomag) szállítását biztosította. A 460 kg akkumulátor 65 km/h maximális sebességet,  $1 \text{ m/s}^2$  gyorsítóképességet és nagyvárosi forgalomban 50... 60 km hatótávolságot tett lehetővé, egyszeri feltöltéssel. A KGM, ÉVM, VKI, OMFB és a BLB közös finanszírozása mellett folyik jelenleg 10 db Barkas B 1000 típusú jármű, villamos hajtású belvárosi áruterítővé történő átépítése. Az 1450 kg önsúlyú és 500 kg teher szállítására tervezett jármű 55 km/h maximális sebességet és  $1,36 \text{ m/s}^2$  maximális gyorsítóképességet tesz lehetővé, teljes terhelésnél. 750 kg-os beépített akkumulátorral, egyszeri feltöltéssel, 60... 80 km hatótávolság elérése a cél.

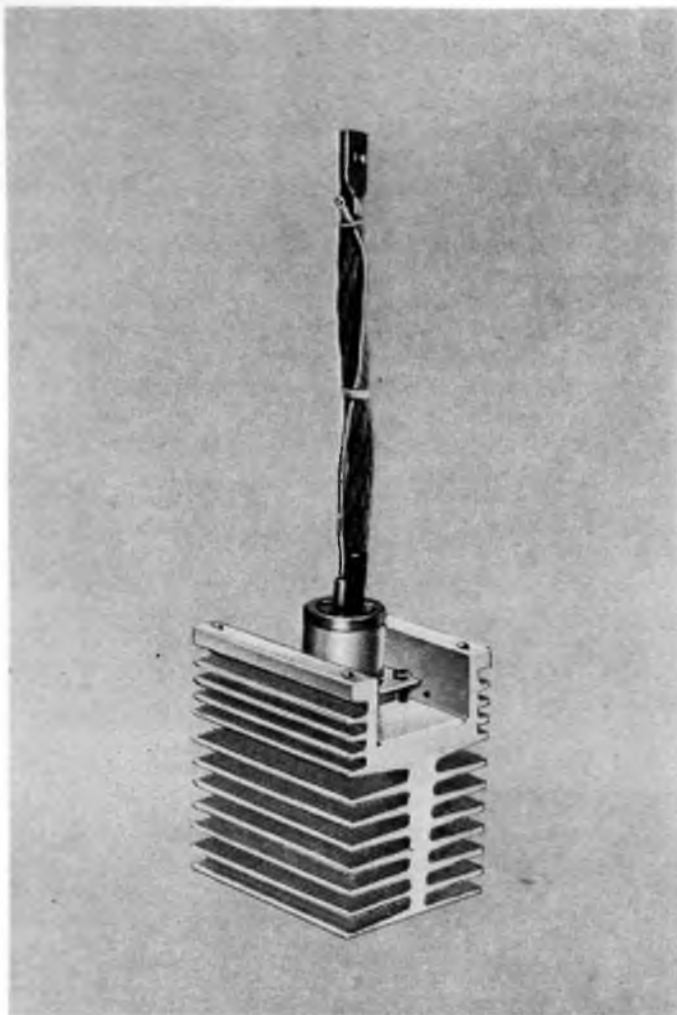
\* \_\_\_\_\_

## **Az Erősáramú Elektronika Elemek Technológiája osztály hároméves tevékenysége**

*SALÁNKI TIBOR*

A 6. Erősáramú Elektronika Elemek Technológiája osztály 1970-ben alakult. Munkássága két területre terjed ki, részben a különböző erősáramú egyenirányító elemek résztechnológiáinak és egy-egy elemcsalád komplett technológiájának kidolgozására, részben a termovillamos hűtőelemek technológiájának folyamatos fejlesztésére, valamint termovillamos elemekkel épülő hűtőberendezések létrehozására, kifejlesztésére. E feladatok lényegében a 3. Főosztály keretében végzett korábbi tevékenység szerves folytatását jelentik. A megalakulástól eltelt rövid időszak alatt az osztály a következő új eredményeket érte el.

A félvezető elemek vonatkozásában első helyen kell megemlítenünk a nagy zárófeszültségű tirisztorcsalád technológiájának kidolgozását. A témával az osztály az OMFB megbízása alapján foglalkozott, s célja a korábbi években kialakított SNV tirisztorcsalád technológiájának továbbfejlesztése, az azok által biztosított max. 800 V zárófeszültséget jóval meghaladó zárófeszültségek elérése. A kísérleti munka eredményeként 50 A, 100 A és 200 A határáramú tirisztorok technológiáját fejlesztettük ki, amelyek záróirányú periodikus csúcsfeszültsége a pn-átmenetek megengedett hőmérsékletén ( $110 \text{ }^\circ\text{C}$ ) mérve elérte az 1600 V-ot (18-13. ábra). A kísérleti munka során olyan shorted emitteres technológiát dolgoztunk ki, amellyel tetszőleges méretű, ugyanakkor határozott kontúrral rendelkező, rövidrezárt zónákat lehet előállítani, ötvözött katód kialakítású pnpn-átmenetek esetén is. A shorted emitteres eljárás



18-13. ábra. 200 A határáramú, nagy zárófeszültségű tirisztor

jelentősen hozzájárult a magas zárófeszültség biztosításához. A tirisztorok korszerű kerámiasapkával készülnek, gyártásuk az Intézet keretében valósul meg.

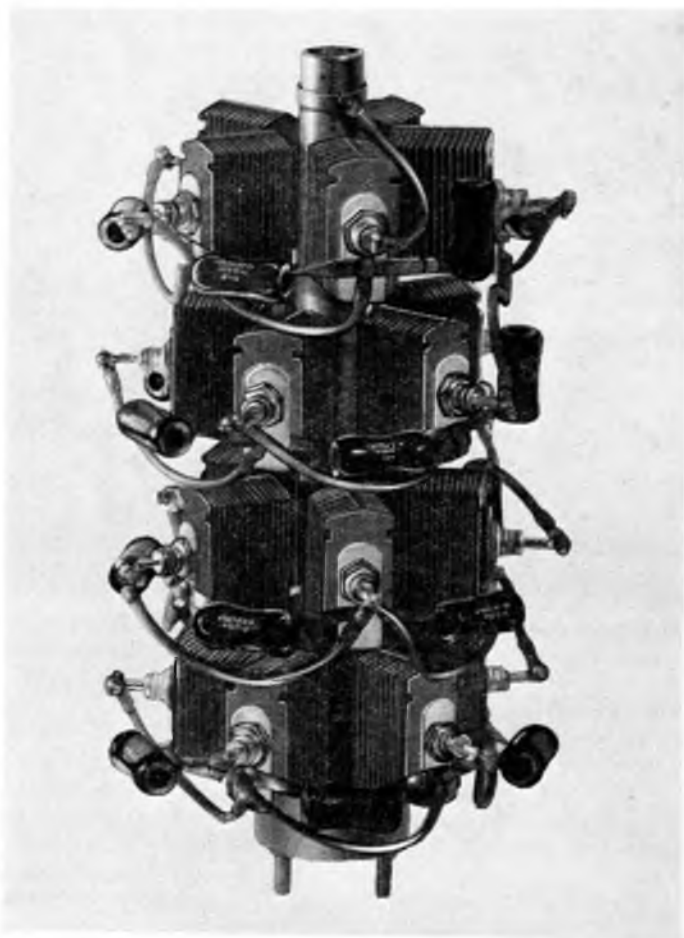
Figyelembe véve a hazai igényeket, kifejlesztésre került a DMP-10 típusú 10 A-es műanyag tokozású dióda, valamint a DSA-25 típusú 25 A határáramú dióda. E diódák periódikus csúcszáró-feszültsége 2000 V, egyes példányok ezt az értéket is meghaladják. A kidolgozott technológia ugyanakkor lehetővé teszi a zárófeszültség jelentős növelését, természetesen a nyitóirányú feszültségesés egyidejű növekedésével. Mindkét diódatípus lavinakarakterisztikájú s ezáltal igen előnyösen alkalmazható különböző nagyfeszültségű készülékekhez. A diódák gyártását az osztályon valósítottuk meg.

E diódák felhasználásával különböző típusú nagyfeszültségű egyenirányító oszlopok kifejlesztésére került sor, amelyek természetes léghűtés mellett 1, 3, 5, 8, 12 és

16 A-rel terhelhetők, a letörési feszültségek 6 kV-tól 50 kV-ig terjednek. A nagyfeszültségű oszlopokkal sok helyen felválthatók az eddig alkalmazott higanykatódú egyenirányítók, s ez lehetővé teszi a fűtőegységek, a visszagyújtás-védelmek és a különböző hűtőrendszerek elhagyását, s megszűnik a hosszadalmas felfűtési idő is.

Az első oszlopok a Magyar Rádió- és Televízió Műszaki Igazgatóságának rendelésére készültek el, és pedig 3 A és 12 A terhelhetőséggel, 40 kV letörési feszültséggel. Ezeket az oszlopokat a szolnoki Rádió Adóállomásban helyezték üzembe és 1973. januártól segítségükkel sugározzák a Petőfi rádió műsorát (18-14. ábra).

Az osztály feladata volt a korábbiakban kifejlesztett SDN 30, SDP 30 és SDN 220 típusú diffúziós diódák gyártásának Anódgyári ipari bevezetése. Az SDN 220 típus ipari bevezetése gyakorlatilag 1971-ben fejeződött be. A diódák azonban nem kerültek sorozatgyártásra, részben azért mert az Anódgyár az eredeti szerződéshez képest növelt követelményeknek is megfelelő diódatípust kíván gyártani, — tekintettel arra, hogy a MÁV a korábbiakkal ellentétben lényegesen magasabb műszaki igényeket



18-14. ábra. 16 A névleges áramú, 40 kV letörési feszültségű egyenirányító oszlop

támasztott —, részben mert e diódák iránti hazai igény időközben jelentősen mérséklődött. Ez utóbbi oka annak is, hogy a 30 A-es típusok nem kerültek ipari bevezetésre.

A Jászberényi Hűtőgépgyár megbízása alapján továbbfejlesztettük a korábbi években kidolgozott Peltier-hűtőelemek technológiáját, döntően a 15 W-os típusok vonatkozásában. A korábbiakban alkalmazott bizmut—tellur bázisanyagokra épülő kétalkotós ötvözetek helyett, egy fokkal bonyolultabb pseudoternér rendszerek szín-terelési technológiáját dolgoztuk ki a p- és n-típusú oszlopok előállításához. Ezen oszlopokból felépülő hűtőelemek min. 55 °C hőmérséklet-különbséget biztosítanak 30 °C melegoldali hőmérséklet esetén. A felhasználás során felmerült igények alapján fejlesztettük ki a 6 V, 9 W-os és a 6 V, 24 W-os hűtőelemeket — elsősorban a gépkocsik akkumulátorára közvetlenül csatlakoztatható hűtőkészülékeket.

A Peltier-hűtőelemek felhasználásával különböző típusú és rendeltetésű hűtőkészülékek kialakítása valósult meg. Ezek közül első helyen a V43 típusú villamos mozdonyok és az M44 típusú Diesel-mozdonyok személyzeti hűtőszekrényeit kell megemlítenünk, amelyek mind külső kialakításuk, mind tápegységeik szempontjából „illeszkednek” az egyes mozdonyok adta lehetőségekhez. A FORTE Gyár részére készült az eddigi legnagyobb űrtartalmú 60 l-es hordozható, közvetlenül a gépkocsi akkumulátorára kapcsolható hűtőkészülék, fotóipari termékek klimatizált szállítására. A Peltier-elemek felhasználási területe egyre jobban növekszik. A gépipar, műszeripar, közszükségleti felhasználás (autóhűtőbox) után, előtérbe került az egészségügyi felhasználás is. Ennek folytán két konkrét igény alapján indult meg a fejlesztési munka és pedig a vérplazma-szállítás (begyűjtés és elosztás), továbbá a szervátültetéssel kapcsolatos hűtési problémák kapcsán.





# 19.

## Lökésgerjesztő négyszög alakú áramhullámok előállítására

*DR. BOGOLY ISTVÁN*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A korszerű hálózati túlfeszültségevezetőkkel szemben támasztott alapvető követelmény a hosszúhullámú próba. Szerző az ilyen célra szolgáló — tág határok között változtatható energiatartalmu — áramgenerátor felépítését és néhány kivitelezési kérdését ismerteti. A lényegében aluláteresztő szűrőtagokból álló művezetékben az induktivitások megfelelő csatolásával, valamint néhány korlátozó ellenállás beiktatásával nagymértékben kiküszöbölhető az áramhullám amplitúdójának „hullámossága”.

### ИМПУЛЬСНЫЙ ВОЗБУДИТЕЛЬ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ВОЛН ТОКА

*Д-р И. Богой*

#### Резюме

Одним из важнейших требований, предъявленных к современным искровым разрядникам сети, является выдерживание длиноволнового испытания. Автор излагает конструкцию и несколько проблем реализации генератора тока с регулируемой в широких пределах энергий, предназначенного для таких целей.

В искусственной линии состоящей по существу из низкочастотных фильтрующих элементов путем соответствующей связи индуктивностей, а также правильным применением нескольких ограничивающих сопротивлений можно в значительной мере предотвратить «волнистость» амплитуды токовой волны.

### STOSSGENERATOR FÜR DIE ERZEUGUNG RECHTECKFÖRMIGER STROMWELLEN

*Dr. I. Bogoly*

#### Zusammenfassung

Eine der grundsätzlichen Forderungen an die zeitgemässen Überspannungsableiter ist die Langwellen-Ableitstossstromprobe. Der Verfasser macht mit dem Aufbau und einigen Ausführungsfragen eines für die Probe geeigneten Stromgenerators mit einem Energiebestand zwischen breiten Grenzen bekannt. In der grundsätzlich aus Tiefpassfiltern aufgebauten Kunstleitung kann die „Welligkeit“ der Stromamplitude durch entsprechende Kopplung der Induktivitäten, sowie durch den richtigen Einsatz einiger Strombegrenzungswiderstände in grossem Masse beseitigt werden.

# IMPULSE GENERATOR FOR PRODUCING LONG-DURATION CURRENT WAVES

By Dr. I. Bogoly

## Summary

A basic requirement to be met by up-to-date lightning arresters is to withstand the long-duration current impulse test. The author deals with the design and some constructional problems of a current generator developed for that purpose, which is capable of providing energy levels variable within wide limits. By properly coupling the inductances in the phantom line essentially consisting of low-pass filter networks, and by deliberately introducing a few limiting resistors, the ripples in the amplitude of the current wave can be substantially reduced.

## 1. Bevezetés

A szelephatású túlfeszültségvezetők fejlesztése során létrehoztak néhány erősáramú impulzustechnikai újdonságot, ezek között a négyszög alakú áramhullámot előállító erősáramú lökésgerjesztőt is. Ilyen berendezés több kW-s energiatartalmú hullám előállítására alkalmas, ahol mind az áramamplitúdó, mind a hullám tartama tág határok között (általában 50...1000 A és 500...3000  $\mu$ s) változtatható.

A korszerű hálózati túlfeszültségvezetők hosszúhullámú (négyszöghullámú) laboratóriumi próbái több, mint 10 éve szokásosak. A vizsgálatra elsősorban a kapcsolásokból eredő belső túlfeszültségek levezetésének ellenőrzése céljából került sor. Első pillanatra szükségtelennek tűnik a néhány száz amperes próba bevezetése, amikor korábban már néhány ezer amper amplitúdójú hullámokkal végeztek vizsgálatokat. Való igaz, hogy a 10, vagy 20 kA csúcsértékű hullámok nagyobb térerősséget képesek létrehozni a levezető ellenállásokban, ezek azonban igen rövid időtartamúak. Pl. a 8/20  $\mu$ s alakú áramhullámnak 8  $\mu$ s a homlokideje és 20  $\mu$ s a félértékideje. A határlevezető-áramú próbákhoz még nagyobb (65- és 100 kA) csúcsértékű lökőhullámokat írnak elő az 5, ill. 10 kA névleges levezetőáramú készülékekre. Ezeknek a hullámoknak az időtartama azonban még kisebb, mint az előbbi, csupán 4  $\mu$ s a homlokidejük és 10  $\mu$ s a félértékidejük. Az ilyen áramhullámokkal végzett próbák kiválóan alkalmasak a levezetőellenállások légköri túlfeszültségekkel szembeni ellenállóképességének ellenőrzésére, a belső túlfeszültségekkel szembeni magatartásuk ellenőrzésére viszont nem. U.i. a kapcsolások során fellépő hosszúhullámok — hasonlóan az említett nagyságrendben levő négyszög alakú áramhullámokhoz — a levezető-ellenállásokban helyi áramcsatornákat alakíthatnak ki, s a létrejövő nagyobb hőmérsékletek következtében átütést okozhatnak. Érthető tehát, hogy egyre inkább olyan védelmi eszközökre van szüksége a nagyfeszültségű energiaelosztó hálózatoknak, amelyek a kapcsolási túlfeszültségek levezetésére is alkalmasak [1].

## 2. Elvi áttekintés

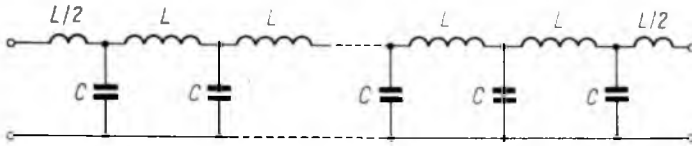
Négyszög alakú áramhullám akkor jön létre, ha egy villamosan feltöltött veszteségmentes vezeték olyan ellenálláson sütnék ki, amely azonos értékű a vezeték hullámellenállásával. Ha a feszültség  $U$ , a vezeték hullámellenállása  $Z$ , akkor

$$I = \frac{U}{Z} \quad (1)$$

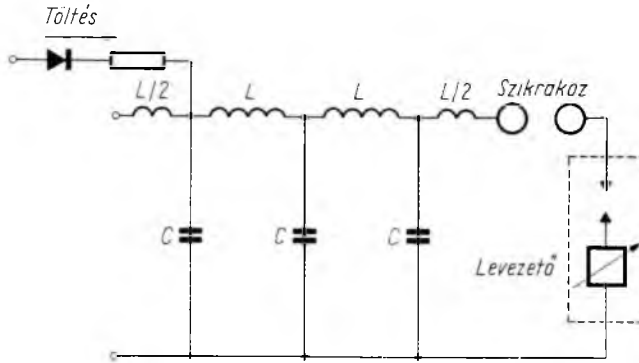
amplitúdójú áram adódik. Ennek az áramhullámnak az időtartama egyenlő a vezetékben szükséges terjedési idő kétszeresével. Ha pl. 1000  $\mu\text{s}$  időtartamú áramhullámot kívánunk előállítani, a

$$H = \frac{1}{2} vT \tag{2}$$

összefüggés alapján 75 km hosszú kábelre lenne szükség, mivel a hullám terjedési sebessége kábelben 150 000 km/s. Érthető, hogy ilyen megoldás laboratóriumban nem valósítható meg, ezért e célra művonalat kell létrehozni.



19-1. ábra. T szűrőelemekből épített veszteségmentes művezeték

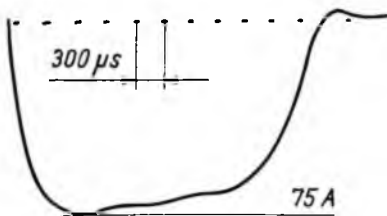


19-2. ábra. Három tagból álló művezetékre kapcsolt levezető, kisütő szikrakózzal

Ilyen művezeték kondenzátorokból és induktív elemekből építhető fel, a 19-1. ábra szerinti elrendezésben. Lényegében T-szűrőelemek lánckapcsolásáról van szó, amit úgy is felfoghatunk, hogy több vezeték sorba van kötve, amelyeknek induktivitása és kapacitása koncentráltan helyezkedik el. A szűrőelemnek ezt a típusát — villamos sajtásága miatt — aluláteresztő szűrőnek is nevezik [6].

Ha a művezeték pl. három tagból áll (19-2. ábra), s ezt a vezetékelt feltöltve szikraközön, valamint a próbatárgyon keresztül kisütjük, a 19-3. ábra szerinti hullámalakhoz lehet jutni. Mint látható, a bemutatott oszcillogram szerinti áramhullám csak közelítéssel tekinthető négyzet alakúnak. A torzulásnak számos oka van, ezekre a későbbiekben térünk ki.

Proovost [5] tömören elemzi a túlfeszültség-levezető vizsgálatokor a szokásos négyzet alakú



19-3. ábra. A 19-2. ábra szerinti művezeték kisütési árama

áramhullám előállításával kapcsolatos kérdéseket. A 19-1. ábra szerinti szűrő négy-pólusként számítható. Ha a feltöltött vezetékét az előbbiek szerint úgy sütjük ki, hogy a külső impedancia egyenlő a művezeték jellemző impedanciájával ( $R = Z_1$ ), akkor a kisütési áram a következő képlettel számítható:

$$i_0 = \frac{U}{2R} \left[ \int_0^{\tau} I_0(\tau) d\tau - \int_0^{\tau} I_{4N}(\tau) d\tau \right], \quad (3)$$

amelyben

$$R = \sqrt{\frac{L}{C}}; \quad \tau = 2vt \text{ és } v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (4)$$

ahol  $R$  a külső impedancia;

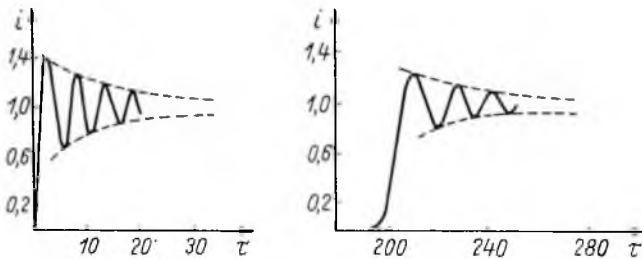
$v$  a hullám haladási sebessége;

$t$  a hullám haladási ideje;

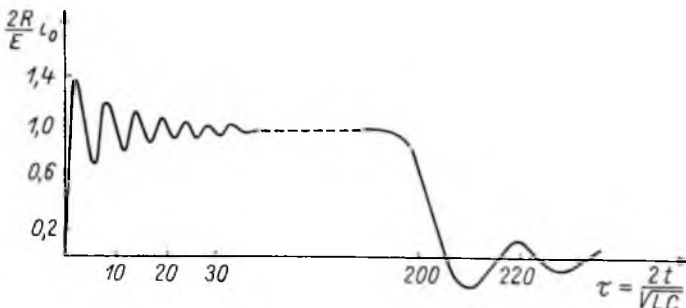
$\tau$  a hullám tartalmával arányos mennyiség;

$N$  a szűrőtagok száma.

A 19-4. ábrán a Bessel-függvények táblázati adatainak felhasználásával  $N = 0$  és  $N = 50$  esetére Provoost szerint grafikusán ábrázoltuk az  $i = \int_0^{\tau} I_0(\tau) d\tau$  és  $i = \int_0^{\tau} I_{200}(\tau) d\tau$  függvényt. Ezek szuperponálásával van megszerkesztve a 19-5. ábra.



19-4. ábra. Az  $i = \int_0^{\tau} I_0(\tau) d\tau$  és  $i = \int_0^{\tau} I_{200}(\tau) d\tau$  függvény ábrázolása (Provoost [5])



19-5. ábra. 50 tagból álló veszteségmentes művezeték kisütési árama olyan impedancián keresztül, amely egyenlő a művezeték jellemző impedanciájával (Provoost [5])

Későbbi mérései során (20 elemből álló művezetéken végzett mérések) bebizonyította, hogy a 19-5. ábra szerinti hullámosság kiküszöbölhető, megfelelően alkalmazott csillapítóellenállásokkal. A tekercsek kölcsönös elhelyezkedése nagy befolyást gyakorol a hullámalakra.

A 19-4. ábra szerinti görbék jól érzékeltetik azt a fizikai jelenséget, amely az ilyen vezeték feltöltésekor és kisütésekor mutatkozik. Lényegében arról van szó, hogy feltöltés esetén előbb az első, majd a második, harmadik stb. tagba táplál energiát a feszültségforrás, meghatározott időegység-eltolódással. A kisütés esetén — fordított sorrendben — hasonló az időeltolódás [2].

E megfontolás alapján könnyen belátható, hogy az azonos elemi tagok számának szaporításával növekszik a hullám időtartama. Ez a következőkből is kitűnik:

Ha a veszteségmentes művonal  $C$  kondenzátortelepét  $U$  feszültségre feltöltjük, s a töltést  $R = \sqrt{\frac{L}{C}}$  ellenálláson kisütjük, rákapcsoláskor a feszültség-amplitúdó  $U_h = U/2$  lesz. Az energiaegyenlőség alapján viszont felírható:

$$\frac{1}{2} CU^2 = U_h I_R T = \frac{U}{2} \cdot \frac{U}{2R} T. \quad (5)$$

Ebből

$$T = 2 RC, \quad (6)$$

tehát a négyzet alakú áramhullám időtartama egyenlő a művonal hullámellenállásának és a tároló kapacitásának kétszeres szorzatával.

A hullám időtartama az induktivitással is kifejezhető:

$$T = 2 \frac{L}{R}. \quad (7)$$

A (6) és (7) képletekből a szűrőtagok számának figyelembevételével ( $L = nL_0$  és  $C = nC_0$ ) kiszámíthatjuk az elemi induktivitás ( $L_0$ ) értékét is. Ekkor

$$L_0 = \frac{T^2}{4n^2 C_0} \quad (8)$$

összefüggéshez jutunk,

ahol  $n$  az elemi tagok száma,  
 $C_0$  az elemi tag kapacitása.

Ha ismeretes az elemi tag kapacitása és az elemi tagok száma, az (5) képlet alapján a töltőfeszültségre

$$U = \sqrt{\frac{2U_h I_R T}{nC_0}}, \quad (9)$$

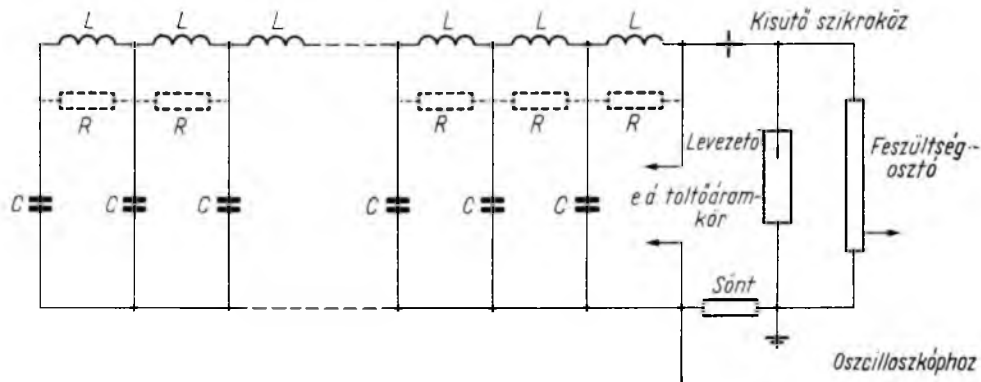
ill.  $U_h = I_R R$  helyettesítése után

$$U = \sqrt{\frac{2RI_R^2 T}{nC_0}} \quad (10)$$

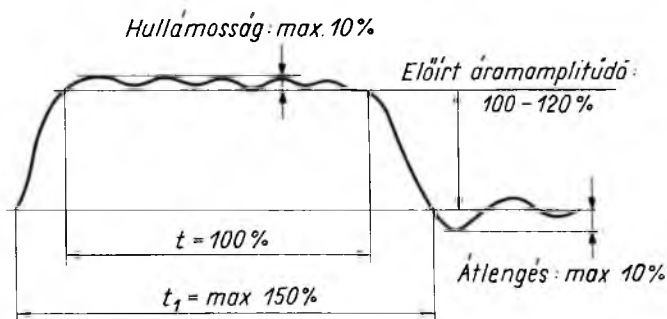
egyenlőség írható fel. Ezek az összefüggések alkalmasak egy kívánt paraméterű (vesztésmentes), négyzetgöghullámú lökésgerjesztő főbb alkotóelemeinek számításához.

### 3. A lökésgerjesztővel szemben támasztott főbb követelmények

A szelephatású túlfeszültség-levezetők vizsgálati előírásait tartalmazó IEC ajánlás [3] a 19-6. ábra szerinti elvi elrendezésű berendezést javasolja hosszúhullámú próbákhoz. A berendezés nem tárgya szabványnak, megjegyzezi viszont: a generátor LC szakaszainak száma rendes körülmények között 10 körül van annak érdekében, hogy elfogadható hullámalakot lehessen elérni.



19-6. ábra. Szelephatású túlfeszültség-levezetők hosszúhullámú vizsgálatához ajánlott lökésgerjesztő elvi kapcsolási vázlata (IEC-1970)



19-7. ábra. A szabványos hosszúhullámú vizsgálatához előírt áramtoleranciák

A próbák során használható áramhullám alakjával kapcsolatos kikötések a következők (19-7. ábra):

- a vizsgálatához előírt áramamplitúdónak 100. . . 120% között kell lenni;
- a virtuális idő tartama max. 50%-kal lehet nagyobb, mint a csúcs tényleges időtartama;
- a hullámosság nem haladhatja meg az áramerősség csúcserőértékének 10%-át;
- hullámátlengés esetén az átlengés amplitúdója nem lehet nagyobb, mint a vizsgáló áramhullám csúcserőértékének 10%-a.

A nagy terhelhetőségű (heavy duty) levezetők vizsgálata esetében külön megköte-

sek vannak még a lökésgerjesztő „illesztésére” vonatkozóan. Itt a következő feltételt kell kielégíteni:

$$k = \frac{U_d}{2I_d R} \quad (11)$$

ahol  $I_d$  a négyszög alakú áramhullám csúcserőssége, kA;

$U_d$  a generátor töltőfeszültségének legalább 50%-a, kV,

$R$  a terhelőellenállás rezisztenciájának közelítő értéke,  $\Omega$ .

Az illesztés elfogadható, ha  $k$  értéke 0,95... 1,05 között van. (A légköri túlfeszültségvédelemre szolgáló levezetők vizsgálatok ilyen megszorítás nincs; a generátor külső impedanciájának kiegészítő része idegen (nem a próbatárgyhoz tartozó), kis induktivitású elem is lehet).

#### 19-1. táblázat

**A nagy terhelhetőségű 10 kA-es túlfeszültséglevezető hosszuhullámú vizsgálatának paraméterei [3]**

Hosszuhullámú levezetési osztály	A terhelőellenállás értéke, $R_1, \Omega$	Az áramamplitúdó, virtuális ideje, $\mu s$	A lökésgerjesztő töltőfeszültsége $U_c, kV_{eff}$
1	$3,3U_s$	2000	$3,0U_s$
2	$1,8U_s$	2000	$2,6U_s$
3	$1,2U_s$	2400	$2,6U_s$
4	$0,8U_s$	2800	$2,4U_s$
5	$0,5U_s$	3200	$2,2U_s$

$U_s$  A vizsgált próbatárgy névleges feszültsége,  $kV_{eff}$

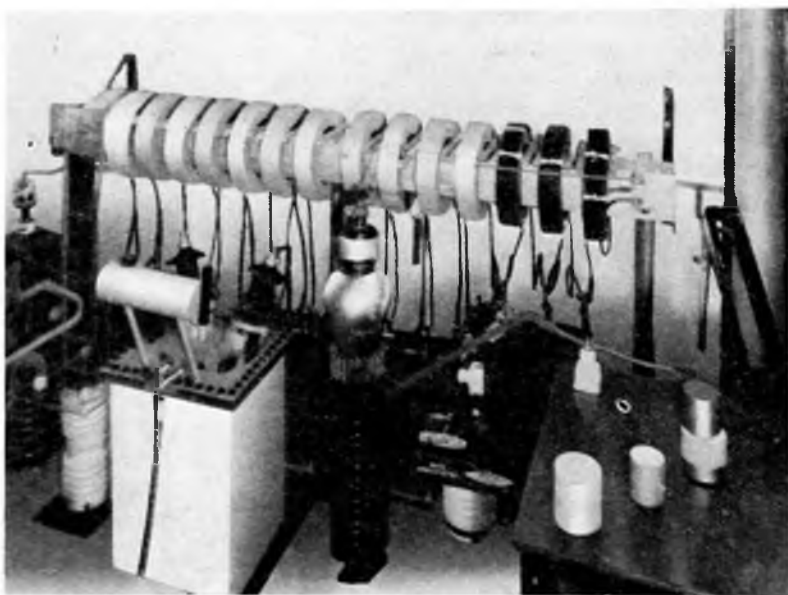
Az ismertetett kalibrációs mérés lényegében a lökésgerjesztő karakterisztikáját hivatott ellenőrizni, a levezető egyértelmű „hosszuhullámú levezetési osztály”-ba való besorolása céljából (19-1. táblázat). A táblázatban szereplő szorzótényezőket a hálózati paraméterek (névleges feszültség, a távvezeték hossza és impedanciája) figyelembevételével állították össze. Ha ezen adatok, valamint a (11) képlet alapján ( $k = 1,0$  figyelembevételével) számítjuk az áramhullám csúcserősségét, a levezetési osztály sorrendjében: 455, 725, 1080, 1500 és 2200 A értékek írhatók fel. Ezek az áramok természetesen függetlenek a vizsgált próbatárgy névleges feszültségétől. Az áramhullám energiatartalmára pl. 3,0  $kV_{eff}$  értékű próbatárgy esetében (az előbbi sorrendben és feltételek mellett számítva) min. 4,1; 5,7; 10; 15 és 22,5 kW-s adódik. Ezek az adatok jól érzékeltetik a lökésgerjesztő kivitelezési méreteinek és költségének várható alakulását.

#### 4. A Villamosipari Kutató Intézet négyszöghullámú lökésgerjesztője

A Villamosipari Kutató Intézet aránylag rövid időn belül értékes kutatási eredményekhez jutott a hazai szelephatású túlfeszültséglevezetők kifejlesztése során. Az elért eredményeket több szakdolgozat foglalja össze. Az első négyszöghullámú próbák 1961-ben folytak le, a hollandiai KEMA Nagyfeszültségű Laboratóriumában [4]. A méréseket az akkor érvényben levő IEC ajánlásoknak megfelelően végezték el, kifogástalan eredménnyel.

Továbbfolytatva a levezetőkkel kapcsolatos fejlesztési munkákat — úgy döntöttünk —, hogy az ellenállások növekvő termikus értékeinek ellenőrzése céljából saját négyszög hullámú lökésgerjesztőt építünk. Az első egység fealállítására rövidesen sor került. Mivel a berendezésen azóta többször változtattunk, jelenleg módunkban áll olyan kivitelről adni tájékoztatást, amely a követelményeket jól kielégíti. Célunk olyan berendezés létrehozatala volt, amely

- a) az általunk kidolgozott GTLM típusú, nagy konduktanciájú ellenállások 500 A/2000  $\mu$ s próbáihoz alkalmas,
- b) kielégíti a GTL-10 típusú, kisebb konduktanciájú levezetőellenállásokon a 300 A/2000  $\mu$ s négyszög hullámú igénybevételt,
- c) aránylag kis helyen elfér;
- d) lehetőleg 6-7 fokozatban, megfelelő négyszög alakú áramhullámot szolgáltat.



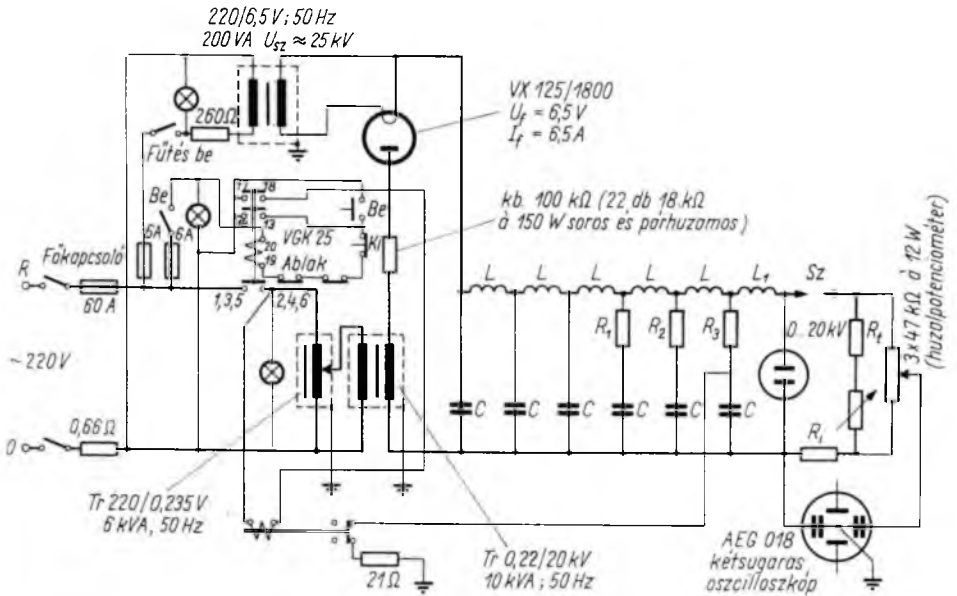
19-8. ábra. A Villamosipari Kutató Intézet négyszög hullámú lökésgerjesztője (1970)

A lökésgerjesztőről készült felvétel a 19-8. ábrán mutatjuk be. A berendezés elvi kapcsolási rajza lényegében megegyezik a 19-6. ábra szerinti kivittel (19-9. ábra). *C* tagok gyanánt Ducatti gyártmányú 15/18 kV-os lökőkondenzátorokat alkalmaztunk, egyenként 8  $\mu$ F kapacitással. Az *L* tagokat magunk készítettük, légmagos toroidtekercs kivitelben. Ezek méretezésekor a 19-10. ábra szerint jártunk el. Geometriai viszonyaink mellett a számítás és mérés közötti eltérés tized-mH nagyságrendű volt.

A lökésgerjesztő indítására korábban 8 QE 25 típusú excitront alkalmaztunk, ez azonban nem bizonyult időállóknak. A jelenlegi, kvarclámpával stabilizált szikraköz-megoldás kielégítőbb.

A gömbszikraköz felületeit molibdén lemez védi az ív okozta beégésektől, amelynek kielégítő pontosságú indításához segédeszközökre nincs szükség.

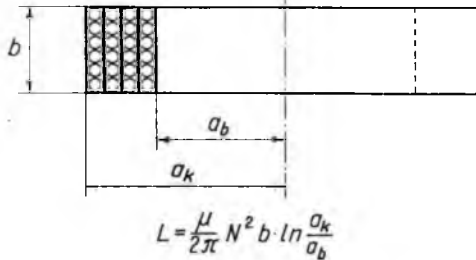




19-9. ábra. A 19-8. ábra szerinti lökésgerjesztő kapcsolása

$R_1 - R_2 - R_3 = 22 - 31 - 46 \Omega$  (változtatható huzallellások;  
 $L_0 = 1$  és  $4 \text{ mH}$   
 $C_0 = 8 \mu\text{F}$  15/18 kV }  $L - L_1$  és  $C$  kötése külön adatlap szerint  
 $R_1 = 0,8784 \Omega$ ;  $0,51377 \Omega$ ;  $2,041 \Omega$ ;  $3,1777 \Omega$ ; (biflárís tekercselésű huzallellások);  
 $Sz = \varnothing 50 \text{ mm}$ -es gombszikraköz

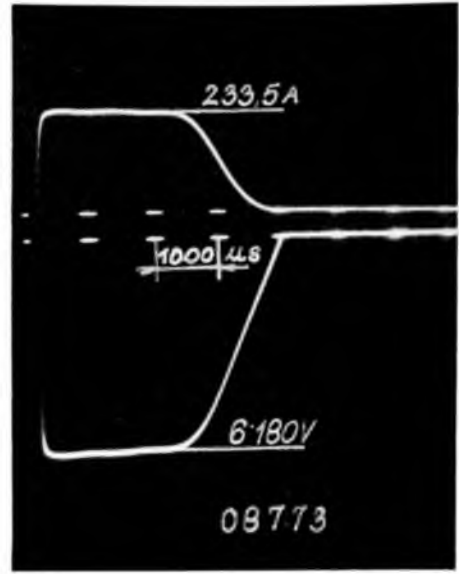
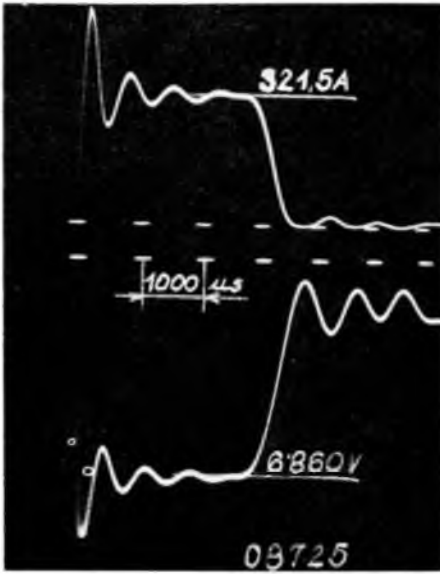
### Toroid (gyűrű alakú) tekercs



19-10. ábra. Toroid tekercs méretezése

Az elért eredményt a 19-11. ábrán rögzített oszcillogramok mutatják. Az *a*) alatti felvétel esetében csillapítóellenállásokat nem alkalmaztunk, míg a *b*) alattinál, különböző ohmértékeket iktattunk be. Nagyobb ellenállások alkalmazása esetén a hullám alakja torzult (a homlokmeredekség csökkent és a hullám trapézalakba ment át). Az áramhullám lebegésének (a kis fokozatszám melletti) nagymértékű kiküszöbölését a toroidtekercs forma alkalmazásának és az aránylag szoros csatolásnak tulajdonítjuk.

A rendelkezésre álló alkatrészek birtokában lehetőség van a lökésgerjesztő belső hullámellenállásának, ily módon a 2000...3000  $\mu\text{s}$  tartamú áramhullámok amplitúdójának tervezett mértékben való változtatására.



19-11. ábra. GTL-10 típusú levezetőellenállásokról felvett hosszúhullámú oszcillogramok  
 a csillapítóellenállások nélkül; b csillapítóellenállásokkal

#### Irodalom

- [1] Bogoly I.: A levezető ellenállás nemlineáris vezetőképessége és négyszöghullámállósága közötti kapcsolat vizsgálata. *Elektrotechnika*, **63** (1970) 113.
- [2] Feynman, R. P.—Leighton, R. B.—Sands, M.: *Mai fizika* (6. kötet). Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970.
- [3] IEC Recommendation: Lightning arresters. Publication 99—1. 1970. Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale, Genève, Suisse.
- [4] Lukács J.—Bogoly I.—Horváth F.: Hazai túlfeszültséglevezetők vizsgálata a „KEMA” laboratóriumában. *Elektrotechnika*, **56** (1963) 147.
- [5] Provoost, P. G.: Stootstromgeneratoren voor de opwekking van rechthoekige stroomgolven. *Elektrotechniek*, **34** (1956) 5.
- [6] Simonyi K.: *Villamosságtan*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1964.

# 20.

## **Erősáramú félvezető eszközök fejlesztésének néhány kérdése**

*PÁLFY MIKLÓS—BÖHÖNYEY FERENC*

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

A cikk az erősáramú félvezető eszközök fejlesztési problémáinak leglényegesebb kérdéseivel foglalkozik. Áttekinti a technológiai és mérés technikai lépéseket az integrált eszközök fejlesztésének tükrében. Kitér a pn átmenet képzésére, kontaktírozásra, felületkondicionálásra, a tokozásra, valamint a kiértékelést biztosító mérési módszerekre. Hipotéziseket állít fel az erősáramú integrált félvezető elemek létrehozása terén várható eljárásokra.

### **НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ СИЛЬНОТОЧНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**

*М. Палфи—Ф. Бегенеи*

#### **Резюме**

В статье рассматривается важнейший вопрос проблематики разработки сильноточных полупроводниковых приборов. Анализируются важнейшие технологические проблемы, образование pn-переходов, нанесение контактов (контактирования) подведения тока, а также снабжения корпусом. Авторы статьи останавливаются на вопросе применения ионимплантации при разработке мощных электронных приборов и дает краткий обзор о методах измерения, обеспечивающих анализируемость.

### **EINIGE TECHNOLOGISCHE PROBLEME DER ENTWICKLUNG VON HALBLEITERBAUELEMENTEN FÜR DIE STARKSTROMTECHNIK**

*М. Pálfi—F. Böhönyey*

#### **Zusammenfassung**

Im Aufsatz werden die wichtigsten Fragen der Entwicklung der Halbleiterbauelemente für die Starkstromtechnik behandelt. Es werden die wichtigeren technologischen Probleme der Kontaktierung, der Stromzuführung, der Bildung von pn-Übergängen, sowie die Kapselung analysiert. Im weiteren wird die Anwendung der Ionimplantation bei der Entwicklung von Elementen der Leistungselektronik, sowie die Messmethoden für die Auswertung diskutiert.

## SOME TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENTS OF POWER SEMICONDUCTOR DEVICES

By M. Pálfy—F. Böhönyey

### Summary

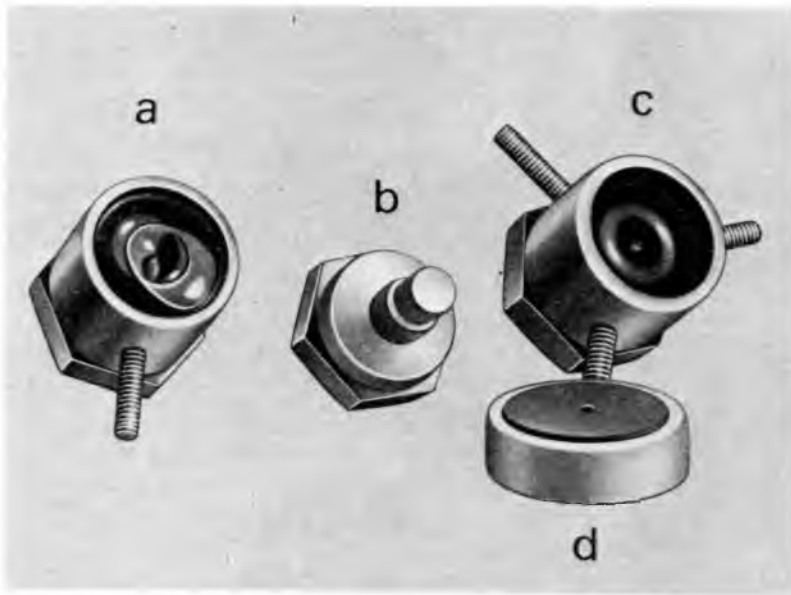
The paper deals with the most important questions encountered in the development of power-current semiconductor devices. Some major technological problems, such as forming of pn junctions, contacting, current connections and encapsulation are analysed. Application of ionimplantation in the development of power electronic elements is discussed, and a survey of testing methods ensuring evaluation is given.

### 1. Bevezetés

1985-re a félvezető elemek várható szükségletének termelési értéke, a világon az „Electronics 1985” chicagói konferencia megállapítása szerint 16,4 milliárd dollár, az 1970-es 3,6 milliárd dollárral szemben. Ezen belül is a legnagyobb évi növekedés kb. 15% az integrált eszközök termelése területén várható [1].

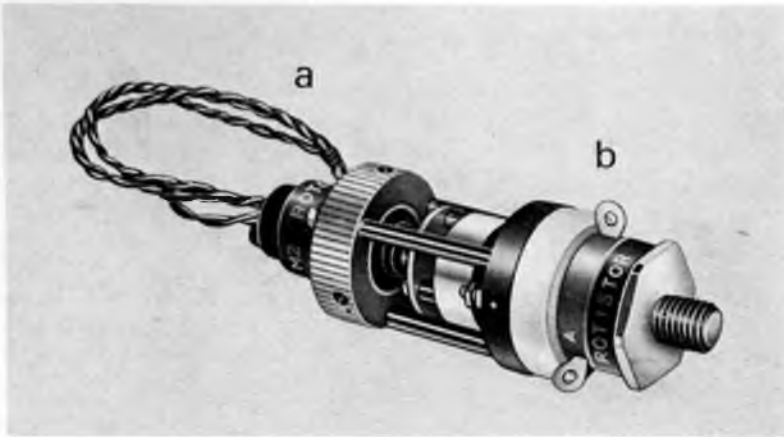
Hazánkban az erősáramú félvezető eszközök fejlesztése a VKI-ban folyik több mint egy évtizede. Az eddigi jelentősebb eredményeket a főosztályvezetői beszámoló ismerteti.

Az új gazdasági mechanizmus bevezetése jelentős hatással volt a félvezetők fejlesztésének tevékenységére is. A hatás úgy jelentkezik, hogy elsősorban speciális igényeket kielégítő, kis sorozatban is gazdaságosan gyártható elemek fejlesztése került



20-1. ábra. Speciális félvezető elemek

a) FT-25 típusú fototirisztor; b) DX-100 típusú nagyfeszültségű dióda; c) FT 3-25 típusú tirisztor; d) D-400 típusú nagyfeszültségű dióda



20-2. ábra. Rotisztorral összeszerelt megvilágító szerkezet  
 a) FTM típusú rotolight; b) FT 3-25 típusú rotisztor

előtérbe. Így került kifejlesztésre a DX-50, DX-100, és D-400 típusú nagyfeszültségű diódák családja, valamint a FT-25 típusú fototiriszor, FT 3-25 típusú rotisztor, a hozzá alkalmazható FTM típusú Rotolight megvilágító szerkezettel, melyek fényképei a 20-1. és 20-2. ábrán láthatók.

A fejlesztés iránya az előrejelzések szerint az elemintegráció fele mutat, amely számos új problémát vet fel az erősáramú elektronika elemek fejlesztésével foglalkozó szakemberek számára. A következőkben röviden áttekinthetjük az erősáramú félvezető eszközök technológiai és mérés technikai lépéseit az integrált eszközök fejlesztésének tükrében.

## 2. Technológia

Az eddigiekben kifejlesztett hagyományos erősáramú és speciális félvezető elemekkel kapcsolatban a következő két alapvető technológiai probléma jelentkezik:

- a pn átmenet(ek) létrehozása
- a pn átmenet(ek) működési feltételeinek biztosítása

A felosztás önkényesnek tűnik, de elég általános ahhoz, hogy vázlatként kezeljük az integrált eszközök fejlesztésének analíziséhez is.

## 2.1 pn átmenet létrehozása

Visszatekintve az elmúlt időszakra, akár a hazánkban, akár a külföldön gyártott erősáramú félvezető eszközök technológiáját vesszük szemügyre, megállapítható hogy a legelterjedtebb eljárás az ötvözés és a diffúzió [2].

Az *ötvözés* során az ötvöző és ötvözendő anyag olvadékanak irányított visszakristályosításával hozunk létre szennyezésselosztást. Az ötvözés közelítően lépcsős (abrupt) elosztást eredményez. Az eljárás előnye, hogy az ötvözés hőmérséklete általában alacsony (500. . .900 °C), amely a szükséges berendezés egyszerűbb és olcsóbb voltán túlmenően, viszonylag kisebb tisztasági követelményeket tesz szükségessé. Hátránya viszont, hogy a minimális rétegvastagság 10  $\mu$  nagyságrendbe esik és az „ötvözési front” egyenletes tartása nem jelent egyszerű feladatot.

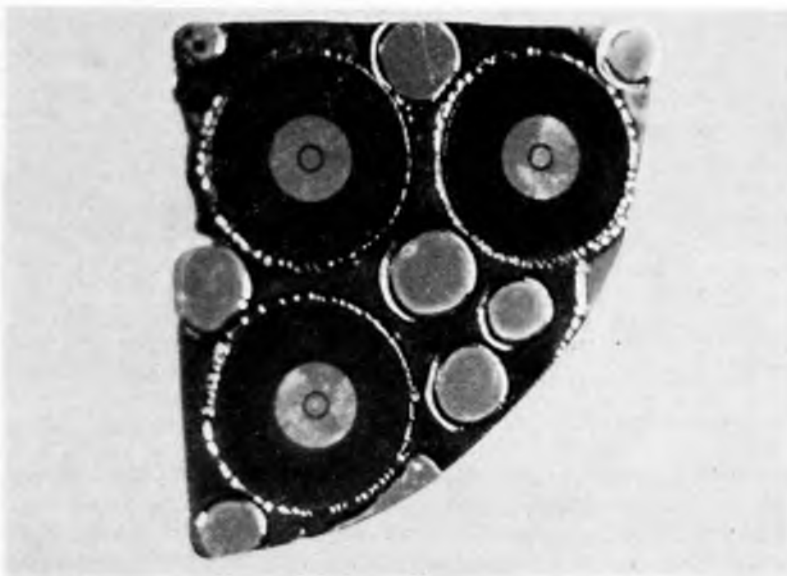
A *diffúziós* eljárásnál a diffuzáns — amely lehet szilárd, cseppfolyós vagy gázfázisú — megfelelő hőmérsékleten kapcsolatba hozzuk a „szennyezendő” mintákkal, amelyekben a diffúziós hőmérséklettől, időtől valamint a szennyezés felületi koncentrációjától függően különböző mélységű szennyezési profilok állíthatók elő. A szennyezés elosztása általában Gauss-függvénnyel vagy hibafüggvénnyel írható le. A ma már igen jól szabályozható eljárás 1  $\mu$  körüli minimális szennyezési mélységektől, szinte csak az időtől függő diffúziós mélységeig rendkívül előnyösen használható, termelékeny eljárás. Hátránya a diffúzióhoz szükséges aránylag nagy hőmérséklet (1100. . .1300 °C) és annak pontos tartása, amely viszonylag drága berendezést és nagyfokú tisztaságot igényel.

Az utóbbi idők technológiai fejlesztései az ötvözési és diffúziós eljárások továbbfejlesztésén túl világszerte az ülepítési technológiák és az ionbeültetéses (ionimplantációs) technológiák alkalmazására irányulnak [3]. Ezeknek az eljárásoknak közös jellemzője, hogy vékonyrétegek előállítására alkalmasak.

Az *ülepítési technológiák* közül az epitaxiális növesztés a legismertebb. Az eljárás során egy kristályos hordozóra (substrate), többnyire gázfázisból, olyan filmet növesztenek, amely szerkezetébe követi a substrate kristály szerkezetét, ugyanakkor a benne létrehozott szennyezéskonzentráció lehet azonos vagy ellenkező típusú, nagyobb vagy kisebb, mint a hordozóé. Ez a variációs lehetőség adja az eljárás előnyét. Hátránya kb. azonos a diffúziós eljárás hátrányaival. Az egyéb ülepítési technológiákat mint a vákuumpárologtatást, katódporlasztást (plazma sputtering) az eddigiekben elsősorban kontaktusképzésre használták a félvezetők technológiájában. Ezeket az eljárásokat pn átmenetek létrehozására, mint előülepítési technológiákat alkalmazták. Bár a plazmaszórás elvben módot ad az epitaxiális kristálynövesztésre is, az eddigi kísérletek nem vezettek kielégítő eredményre. A legújabb eszközfejlesztési eredmények, az ülepítési technológiák egy új felhasználási irányára mutatnak, nevezetesen a fém félvezető átmenetek (Schottky-barrier) területén. Fém félvezető átmenetek esetében a pn átmenetektől eltérően nem a félvezető anyag meghatározott szennyezéskonzentrációjának változása hozza létre az egyenirányító hatást, hanem a fém félvezető anyag kilépési munkáinak viszonya szolgáltató vagy ohmos kontaktust, vagy egyenirányító átmenetet. A Schottky-barriernek planártechnológiai előállításával az ülepítési technológiák nagymérvű elterjedése várható.

Az *ionimplantáció*, amely egy anyag felületközeleli sajátosságainak módosítását jelenti egy másik anyag ionjainak nagy sebességű belövésével, régóta ismert eljárás, de csak az utóbbi években a félvezető technológiában való alkalmazásával váltott ki óriási gyakorlati érdeklődést. Az ionimplantációval létrehozott félvezető rétegeknek számos

előnyük van a hagyományos technológiákkal előállítható átmenetekkel szemben. Például igen keskeny és éles határú rétegek hozhatók létre, az elérhető minimális pn átmenet mélység  $0,1 \mu$  nagyságrendbe esik. A szennyezések mélységbeli eloszlása és az eloszlás profilja az ionsugár-nyaláb energiájának programozásával jól szabályozható. Igen nagy tisztaságú szennyezés valósítható meg, mivel az ionsugár létrehozására használt mágneses szeparátor gyakorlatilag spektrum tisztaságot biztosít. Az implantálás széles hőmérsékleti tartományban végezhető. Ionimplantáció segítségével meg lehet valósítani olyan nagy sávszélességű anyagok doppelását is, ami a viszonylag magas aktiváló energia miatt túl magas diffúziós hőmérsékletet igényelnek (pl. SiC).



20-3. ábra. Kontrollszigetekkel ellátott, ionimplantációval készített, vékonyrétegű tirisztorstruktúrákat tartalmazó maratott szilícium lemez

Fókuszált ionsugár alkalmazásával, a nyalábnak kívánt módon való számítógépes vezérlésével (scanningelés) eszköz-sorozatokat lehet létrehozni. Az ionimplantációs technika számos előnye mellett hátránya pl., hogy nem minden kristályba ültetett atom válik ott elektromosan is aktívvá, rácskárosodások keletkezhetnek, rekombinációs centrumok maradhatnak vissza és végül de nem utolsósorban ez az eljárás rendkívül drága berendezést igényel.

Az integrált eszközök fejlesztése kapcsán az elkövetkezendő időszak fejlesztési irányait vizsgálva meghatározó az a tény, hogy egy integrált áramkörben több pn átmenet, esetleg Schottky-barrier és passzív áramköri elemek vannak. Ezek optimális előállítása különböző technológiai eljárások alkalmazásával lehetséges. Az előzőekben felsorolt minden pn átmenetképző eljárásnak van előnyös és hátrányos tulajdonsága. A fejlesztés célja ezen eljárások közül a legkedvezőbbek kiválasztása. A fejlesztés iránya a nagyobb variációs lehetőségű vékonyréteg-technológiák felé mutat. Az erősáramú eszközök fejlesztése során felmerül az a kérdés, hogy a vékonyréteg-technológiai eljárások egyáltalán alkalmazhatók e nagyteljesítményű eszközök előállítására, vagyis tízedmikron—mikron nagyságrendű rétegek és viszonylag nagy felületek esetén

biztosítható-e a kellő egyenletesség és a kívánt töltéshordozó-koncentráció megvalósítása. A VKI-ban végzett kutatómunkánk során erre a kérdésre pozitív választ kaptunk. Ionimplantációval kb.  $1 \mu$  mélységű szennyezéssel dióda, ill. tirisztor struktúrákat készítettünk. Ezek kb. 1600 V-os határfeszültség mellett jól követték az elméleti számításokat. A 20-3. ábrán bemutatunk egy mesa-mart, kontrolszigetekkel ellátott, ionimplantációval készített, vékonyrétegű tirisztorstruktúrákat tartalmazó szilíciumlemezt.

## 2.2 A működési feltételek biztosítása

A pn átmenetekkel rendelkező tablettá üzemserű működését biztosító technológiai lépések a következők.

- kontaktusképzés,
- felületi kondicionálás,
- tokozás.

E technológiai lépések biztosítják az erősáramú eszközöknél igen jelentős jó villamos és hővezetést, az eszköz időbeli stabilitását, valamint az elem mechanikus tartását és az áramköri csatlakoztatás lehetőségét.

A *kontaktusképzés* során villamos és hőtani feladatokat kell megoldani. Tekintettel arra, hogy az erősáramú eszközökön átfolyó áramok 100 A nagyságrendben, a keletkező veszteségek 100 W nagyságrendben vannak, ez a probléma különös jelentőségű.

A villamos hozzávezetéstől megköveteljük, hogy a kontaktus ohmos jellegű legyen (tehát ne tartalmazzon egyenirányító átmenetet) és kicsi legyen az átmeneti ellenállása. Ötvözéses pn átmenetre ez a követelmény többnyire automatikusan teljesül. A szilícium lemezek ötvözésére általában alumíniumot, ill. antimon tartalmú aranyat használnak. Ezek ötvözés után a felületen a szilíciummal jól vezető eutektikumot alkotnak, amely megfelelő a kontaktus számára. Diffúziós technika esetében külön kell elektromos kontaktusról gondoskodni. Ez nagy mélységű diffúzió esetén történhet ötvözéssel, vagy — ami az utóbbi időben egyre inkább terjed — ülepítéses technológiák révén, a legtöbb esetben nikkal, alumínium vagy aranyréteg felvitelével.

Hőtani szempontból a jó hővezetés biztosítása mellett a legnagyobb problémát a hőtágulási különbségek jelentik. Az elektromos hozzávezetést létesítő rézelektrodák a hőtágulási különbségek miatt közvetlenül nem csatlakoztathatók a félvezető lapkához. E különbségek kiegyenlítésére wolfram vagy molibdén lemezeket alkalmaznak, amelyeknek hőtágulása közel áll a szilícium félvezető anyag hőtágulásához. A wolfram vagy molibdén lemezek a félvezető elemhez szorítással, forrasztással vagy ötvözéssel erősíthetők fel. A szorított kontaktus nagy szorítóerőt igényel és többkivezetésű eszköz esetén (integrált áramkör) kivitelezése nehézkes. Ennek ellenére bizonyos esetekben (pl. tárcsadiódák, tirisztorok) részbeni alkalmazása indokolt. Ötvözéses módszer különösen az alumínium-szilícium ötvözés esetében célszerű, mivel egy lépésben létesíthető kötés a szilícium és molibdén között. Ötvözött diódák terén ez általánosan használt eljárás, de alkalmazzák diffúziós diódák kontaktusképzésére is. Antimon-tartalmú arany ötvözéséhez szintén alkalmazható ez a módszer, bár itt hátrányként jelentkezik, hogy az arany-szilícium eutektikum rendkívül rideg anyag, a hőtágulási különbségek miatt nagy belső feszültségek jelentkeznek, ezért alkalmazása általánosan nem terjedt el. Újabb konstrukciókban, a diffúziós technológiák nagy-



üzemi elterjedésével olyan eljárás alakult ki, miszerint a szilícium lemezhez az elektromos kontaktust nikkel bevonattal biztosítják és ehhez a nikkel bevonathoz lágyforrasztással forrasztják a hődilatációt kiegyenlítő molibdén vagy wolframlemezeket. Ez utóbbi eljárás tűnik legalkalmasabbnak az előzők részleges alkalmazása mellett integrált eszközök kontaktusainak kialakítására is.

A *felületi kondicionálás* a félvezető elem felületi töltésállapotának beállítását — amely az eszköz működésének feltétele — és annak tartósítását jelenti — amely az eszköz időbeli stabilitását biztosítja —.

A felületi töltésállapot a félvezető elem kiürített rétegének felületi kifutását modifikálja. A felületi töltésállapotnak lehet a felületi térerősséget növelő hatása, amely szélső esetben felületi átütéshez vezethet, és a felületi térerősséget csökkentő hatása, amely túlzott esetben a záróáram növekedésével jár, szélső esetben inverziós csatornák (channelek) létrejöttét eredményezi. A töltésállapot beállításához általános szempont, hogy a savak, pozitív a bázisok negatív felületi potenciált mutatnak. Általában a töltésállapotot úgy kell beállítani, hogy a felületi rekombinációs sebesség kicsi legyen és kismértékben felületi térerőt csökkentő hatást mutasson.

A felületi töltésállapot tartósítására régebben konstans mikroklíma előállítása céljából semleges gázzal töltött, hermetikusan lezárt tokot alkalmaztak. Ez az eljárás a fellépő tokszivárgások miatt nem vezetett kielégítő eredményre [4]. Jelenleg általános megoldás a félvezető lapka közvetlen védelme lakk, oxid, nitrid, ill. üvegbevonatokkal. Ezek a közvetlen bevonatok a felületi töltésállapot beállításánál is szerepet játszanak, így alkalmazásuk a feladatnak megfelelő gondos mérlegelést igényel. Újabban a tokszivárgások eliminálására és a félvezető lapka fokozottabb védelmére a tokba töltőanyagot helyeznek. E témakörben a trend, amely az integrált eszközök-nél való alkalmazást is determinálja az ülepítéssel technológiákkal való közvetlen oxid, nitrid bevonatok és a teljes egészében kiöntött műanyag tokozás.

A *tokozás*, a tok konstrukciós kialakításának feladata a kontaktusképzésnél és a felület kondicionálása c. részben elmondottakon túlmenően a külső csatlakozások számára biztosítani az áram hozzávezetést, a hőelvezetést, zártságával a töltésállapot megővését és az eszköz mechanikai tartását.

Erősáramú félvezető eszközöknél klasszikus konstrukciónak tekinthető az elrendezés, amikor a félvezető elemet egy vörösréz bázistönkre erősítjük. Ez biztosítja az egyik elektromos hozzávezetést és a hőelvezetést. A többi elektromos csatlakozás üveg-fém átvezetőkön keresztül, kábellel történik. Ez a konstrukció némi kívánnivalókat hagy maga után. Az egyoldali hőelvitel különösen nagyobb teljesítmények esetén nem biztosít kellő hűtési lehetőséget. Az üveg fém átvezetések könnyen az eszköz mechanikai sérüléséhez vezethetnek, ugyanakkor előállításuk bonyolult és drága. Fejlettebb tokozási módszernek tekinthető a tárcsakonstrukció. A hőelvezetés jelentős javulásán túl a tokozási költségek csökkennek, az eszköz egyszerűbb, tömörebb kialakításánál fogva, jobb mechanikai hatást biztosít. Erősáramú integrált eszközök várható tokozási formáira vonatkozóan egyelőre nehéz jóslásokba bocsátkozni. A figyelembe veendő fő szempontok:

- a kivezetések száma;
- a hőgenerálási helyek száma;
- a hűtési lehetőségek száma.

Ezek alapján kezdetben a legkülönbözőbb kialakítások várhatók, melyek tipizálása csak a távolabbi jövőben remélhető.

### 3. Méréstechnika

A hagyományos erősáramú félvezető eszközök (diódák, tirisztorok) mérési rendszerei és mérési módszerei szabványosítva vannak [5], [6], [7]. Ezek a mérési módszerek a következő négy alapvető típusra bonthatók:

- statikus módszer;
- féldinamikus módszer;
- dinamikus módszer;
- impulzusos módszer.

A méréstechnikai módszerek tárgyalásánál szem előtt tartjuk, hogy más szempontok érvényesülnek egy eszköz fejlesztése, és mások a gyártás során. A fejlesztésnél cél, kis darabszám mellett a maximális információszerezés. Az információk feldolgozása egyedi és különösen fontos szerepe van a vizualitásnak. Gyártás közben a szükséges minimális mennyiségű mérés elvégzése az előnyös, amelyet lehetőleg statisztikailag könnyen feldolgozható formában célszerű végezni.

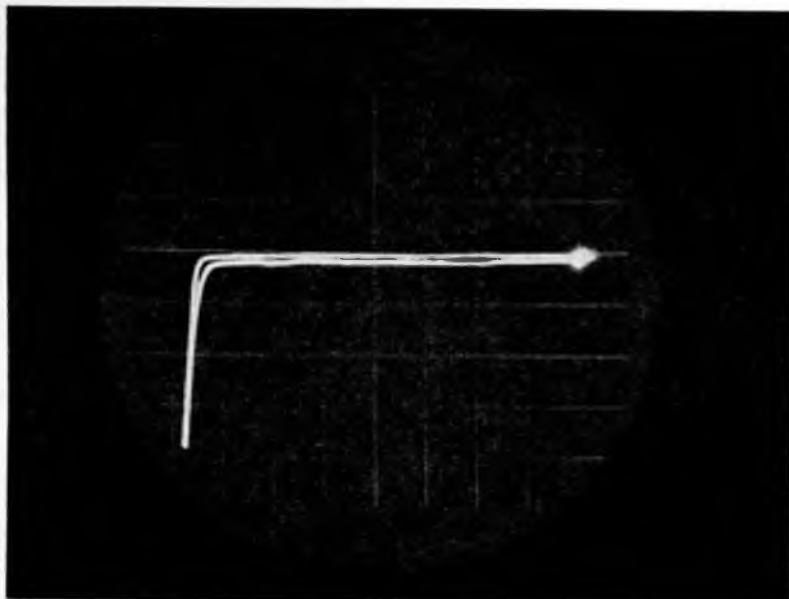
A mérési módszerek közül a *statikus módszer* azzal jellemezhető, hogy az elemet egy állandó egyenszinttel terheljük, ezzel az elem karakterisztikájának egy pontja meghatározható. A módszer előnye, hogy névleges értékkel terhelve az elemet, egyetlen számszerű jellemző értéket ad, ami a gyártás folyamán az egyszerű méréstechnika és könnyű adatfeldolgozás szempontjából előnyös. Hátrányos a teljesítményelektronikai elemek méréséhez szükséges nagy energiaigény és a fejlesztési munkák során az, hogy a teljes elemkarakterisztikáról nem ad vizuális információt.

A *féldinamikus módszer* alkalmazása során az eszköz karakterisztikájának egy jellemző szakaszát pl. a diódák nyitóirányú (nagyáramú) vagy záróirányú (nagyfeszültségű) karakterisztikáját egy félszínusz alakú jellel vizsgáljuk. A módszer előnye, hogy a vizsgált karakterisztika-szakasz oszcilloszkópra felrajzolható, így vizuálisan megfigyelhető, ami különösen az eszköz fejlesztése során számos értékes információt nyújthat. Példaképpen a 20-4. ábrán bemutatunk egy nagyfeszültségű dióda zárókarakterisztikájáról készült oszcilloszkópos felvételt.

A féldinamikus eljárás további előnye, hogy jól utánozza az üzemi feltételeket, ezért a szabványosított karakterisztikavizsgálati eljárások általában ezzel a módszerrel történnek. Hátránya, hogy — különösen a nagyáramú karakterisztikák vizsgálata — energiaigényes, ami egyúttal nagy készülékméreteket is jelent (20-5. ábra).

A *dinamikus módszer* abban különbözik a féldinamikustól, hogy a teljes karakterisztika vizsgálata egyszerre történik. Ez a módszer utánozza leginkább az üzemi feltételeket, ezért az eszköz termikus viselkedésének megfigyelésére és élettartamvizsgálatokhoz előnyös. Egyszerű formájában rendkívül energiaigényes. Például egy 2000 V határfeszültségű, 100 A határáramú (kb. 300 A áramcsúcs) dióda egyenirányítási csúcsteljesítménye kb. 0,6 MW. E rendkívül nagy teljesítményigény csökkentésére az ún. szintetikus-dinamikus módszert alkalmazzák, amely tulajdonképpen két féldinamikus rendszer összekapcsolásából áll, vagyis a nagyáramú karakterisztika-szakaszt a szinusz hullám egyik félperiódusában nagyáramú kisfeszültségű generátorral, a nagyfeszültségű karakterisztika szakaszt a következő félperiódusban nagyfeszültségű kisáramú generátorral vizsgálják. Ilyen elven készült szintetikus-dinamikus terhelőberendezés képe látható a 20-6. ábrán.

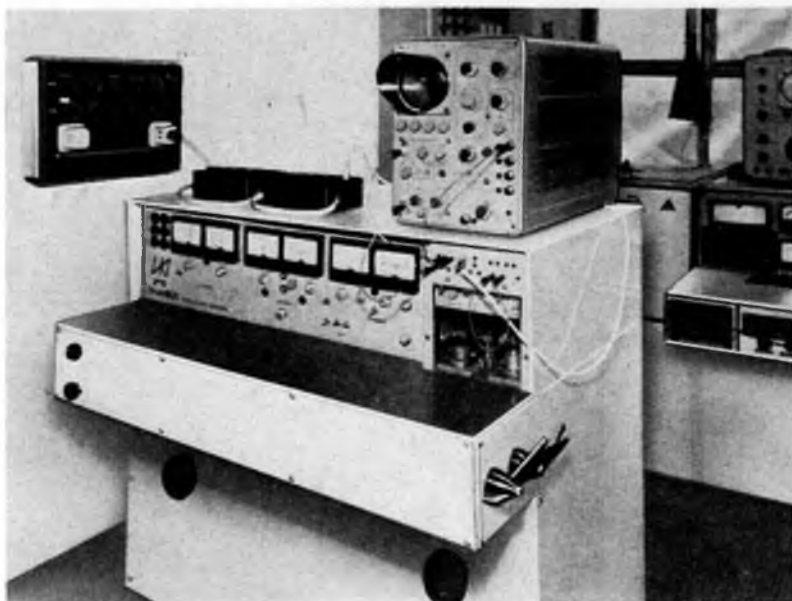
Az *impulzusos módszerekkel* történő vizsgálatok energiaigénye lényegesen kisebb az előzőekben felsorolt módszerekénél. Ez nemcsak jelentős energiamegtakarítást



20-4. ábra. Nagyfeszültségű szilícium dióda záróirányú karakterisztikájáról készült oszcilloszkópos fotó  
vizzintes eltérés: egy osztás = 400 V; függőleges eltérés: egy osztás = 5 mA



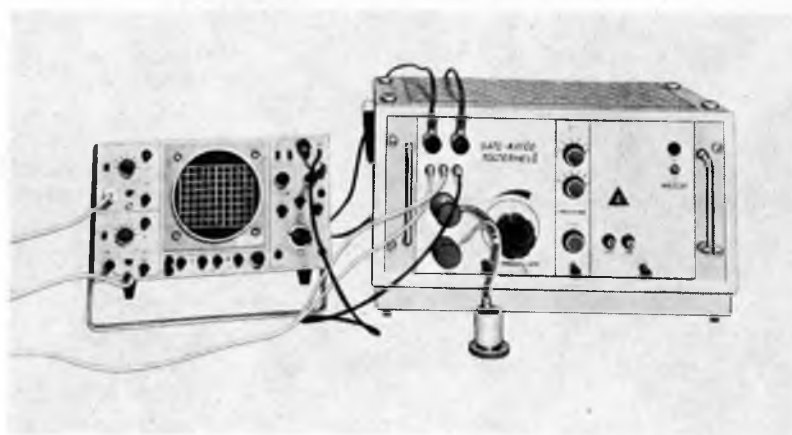
20-5. ábra. Fél dinamikus nyitóirányú mérőberendezés



20-6. ábra. Szintetikus-dinamikus terhelő- és mérőberendezés

eredményez, hanem lényegesen kisebbek a készülék méretei is. A 20-7. ábrán bemutatunk egy impulzusos módszerrel működő gate-katód túlterhelő berendezést, amelynek mérete jól demonstrálja az említett méretbeli különbséget.

A féldinamikus és dinamikus vizsgálati módszerek elsősorban hálózati frekvenciás eszközökhöz alkalmazhatók. Nagyobb frekvenciájú vizsgálatokra az impulzusos módszerek célravezetőek. Az impulzusos mérések esetében a viszonylag kis impulzusenergiák miatt az eszköz hőterhelése kicsi, ezért mód van a félvezető eszköz karakterisztikáinak határérték feletti vizsgálatára is. Ugyanakkor éppen a kis hőterhelés



20-7. ábra. Gate-katód túlterhelő berendezés

miatt a vizsgálat nem üzemi körülmények között történik, ezért nem kellő körültekintéssel végzett vizsgálatok könnyen téves eredményeket szolgáltathatnak.

A különböző mérési módszereket áttekintve megállapíthatjuk, hogy a hálózati frekvencián üzemelő erősáramú eszközök üzemi viszonyait legjobban a féldinamikus és dinamikus eljárások közelítik meg. Ezek az eszköz fejlesztése során és a gyártásközi mérések folyamán is megfelelően alkalmazhatók, azonban nagy energiaigényük korlátozza használhatóságukat. Az impulzustechnikai módszerek alkalmazása a kis energiafelhasználás és a nagyobb variációs lehetőségek miatt az integrált eszközök fejlesztése során nagyobb elterjedésre számíthatnak. Az eszközök üzemszerű, hőtani működését is figyelembe vevő vizsgálatai terén továbbra is a féldinamikus, ill. a dinamikus eljárások alkalmazására számíthatunk. A kiértékelési módszerek különösen a sorozatgyártás esetén jeleng is a digitális automatikus kiértékelő eljárások irányába fejlődnek. Az integrált eszközök előállítása terén — tekintettel arra, hogy a vizsgálandó paraméterek száma jelentősen nő — e tendencia fokozódása várható.

#### 4. Összefoglalás

Áttekintettük az erősáramú eszközök előállítása során alkalmazott technológiai és méréstechnikai eljárásokat. Az egyes eljárások fejlődési irányjaiból próbáltunk következtetni az integrált eszközökhöz alkalmazható módszerekre, tekintettel arra, hogy az előrejelzések szerint a közeljövőben a legnagyobb fejlődés az elemintegráció területén várható.

Az egyes technológiai eljárások kezdetben kifejlesztésük során egy-egy elemhez kapcsolódtak. Az újabb fejlesztésekben már a variációs lehetőségek dominálnak. Az integrált eszközök előállítása terén a különböző technológiai eljárások kombinációja várható. A legnagyobb mértékű fejlődés a vékonyréteg-technológiák, mint az ülepítéses eljárások, ionimplantáció területén remélhető. A működés feltételeit biztosító technológiai lépések területén azaz a kontaktusképzés, a felületi kondicionálás, a tokozás terén a legnagyobb problémát a megfelelő tokozási formák kialakítása jelenti, tekintettel a nagyobb számú hőgenerációs helyekre.

A méréstechnika területén az impulzustechnikai vizsgálati módszerek széles körű elterjedése folyik. Az üzemi körülményeket legjobban utánozó szintetikus módszerek az integrált eszközöknél is várhatóan alkalmazásra kerülnek. A kiértékelési eljárások a digitális, automatikus kiértékelések felé haladnak.

#### Irodalom

- [1] *Donald Christiansen*: Forecasting Electronics 1985. IEEE spektrum July 1972. 50—54. o.
- [2] *Szép I.*: Félvezető technológia. Tankönyvkiadó Bp. 1969.
- [3] *Pálffy M.—Böhönyey F.—Orosz Gy.—Palotai G.*: A plazma és ionimplantációs technika felhasználási perspektívái speciális erősáramú félvezető eszközök számára. VKI Közlemények 4. 185—191. o.
- [4] *Pálffy M.—Böhönyey F.*: Erősáramú félvezető eszközök tokozásának vizsgálata elektromos analógia alapján. Elektrotechnika 63 (1970.) 12. 413...415. o.
- [5] *Pálffy M.*: Vezérelt diódák fizikája és mérései. Elektrotechnika 60. (1967) 3. 109...119. o.
- [6] Egykristályos félvezető egyenirányító elemek (diódák) és oszlopok. Általános és vizsgálati előírások. KGSZ 46. 3305—73. Ágazati szabvány.
- [7] Vezérelhető egykristályos félvezető egyenirányító elemek (tirisztorok) és oszlopok. Általános és vizsgálati előírások. KGSZ 46. 3308—73. Ágazati szabvány.



# 21.

## **Ge-Si anyagú termovillamos generátorok készítésének néhány problémája**

*TÖRÖK TIVADAR—KELETI JÓZSEF—RÁTKAI ZSOLT*

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

A cikk elsősorban a Ge-Si anyagú termovillamos generátorok hatásfokát befolyásoló tényezőket vizsgálja. E köré csoportosítva tárgyalja az alapanyag előállításával kapcsolatos kérdéseket, az anyagparaméterek javításának lehetőségét további komponensek alkalmazásával, azokat a méretezési elveket, amelyekkel figyelembe vehetők a reális kontaktusok hatásai, és végül a fosszilis hőkéltés által okozott problémákkal foglalkozik.

### **НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ НА БАЗЕ ГЕРМАНИЯ-КРЕМНИЯ**

*T. Төрөк—Й. Келети—Ж. Раткау*

#### **Резюме**

В статье рассматриваются факторы, влияющие на к. п. д. термоэлектрического генератора на основе Ge-Si.

С такой точки зрения обсуждаются — вопросы получения базового материала; возможности улучшения параметров материала с применением добавочных компонентов; и те принципы расчёта, с помощью которых могут быть учтены действия реальных контактов и наконец излагаются проблемы связанные с применением природных топливных элементов.

### **EINIGE PROBLEME ÜBER DIE FERTIGUNG VON THERMOELEKTRISCHEN GENERATOREN AUF Ge-Si BASIS**

*T. Török—J. Keleti—Zs. Rátkay*

#### **Zusammenfassung**

Im Aufsatz werden in erster Reihe die Faktoren geprüft, die den Wirkungsgrad der thermoelektrischen Generatoren auf Ge-Si Basis beeinflussen. Als solche werden die mit der Herstellung des Rohmaterials zusammenhängenden Fragen, die Möglichkeit der Besserung der Materialparameter durch Anwendung weiterer Komponenten, die Bemessungsprinzipien, mit denen die Wirkungen der realen Kontakte berücksichtigt werden können, und schliesslich die von der fossilen Wärmeerzeugung hervorgerufenen Probleme, hier erörtert.

## SOME PROBLEMS IN THE PRODUCTION OF THERMOELECTRIC GENERATORS BASED ON Ge-Si ALLOYS

By T. Török—J. Keleti—Zs. Rátkay

### Summary

The paper deals mainly with the factors influencing the efficiency of thermoelectric generators based on Ge-Si alloys. In this regard the questions of production of the raw material, the possibility of improving the material parameters by applying further components, the dimensioning principles with which the effects of the real contacts can be taken into consideration, and at last the problems caused by the fossil heat production are discussed.

Intézetünk az utóbbi néhány év folyamán intenzíven foglalkozott termovillamos generátorok fejlesztésével. A munkához tagadhatatlan előnyei következtében germánium-szilícium ötvözetet használtunk.

Közleményünkben röviden összefoglaljuk e fejlesztési munka során elért eredményeinket, amelyek a termovillamos energiaátalakító berendezés hatásfokával kapcsolatosak.

Termovillamos energiaátalakító készülék alkalmazása során a felhasználót általában a készülék energiaátalakítási hatásfoka érinti legérzékenyebben. Ez érthető is, hiszen a gyakorlati esetek jelentős részében a készülék súlya, az egyszeri telepítésen kívül nem számottevő tényező, ugyanez vonatkozik a geometriai méretekre is, nem is szólva arról, hogy ezek a tényezők 2—6 hónapos felügyeletmentes üzemhez szükséges fosszilis energiahordozó súlyához és térfogatához képest elhanyagolhatók. A szénhidrogén fűtésű termovillamos generátor teljes hatásfoka két tényező szorzata:

$$\eta_b = \eta_{\text{termovill}} \cdot \eta_{\text{tüzelőber}} \quad (1)$$

Vizsgálódásunk tárgya az említettekkel megegyezően tehát az, milyen tényezők befolyásolják az energiaátalakítás hatásfokát. Ennek érdekében nézzük meg, mit jelentenek részletesen az (1) kifejezésben szereplő tényezők. A fenti kifejezésben  $\eta_{\text{termovill}}$  a termovillamos generátorelemek által szolgáltatott villamos teljesítmény, és a termovillamos oszlopok melegoldaláról azok hidegoldalára átjutó  $Q_1$  hőmennyiség viszonya.

$$\eta_{\text{termovill}} = \frac{P}{Q_1} \quad (2)$$

Az  $\eta$  tüzelés foglalja magába mindazokat a veszteségeket, amelyek a hőszigetelés tökéletlenségeiből és abból a tényből fakadnak, hogy a tüztérből távozó füstgázokkal is távozik a rendszerből energia. Ennek megfelelően

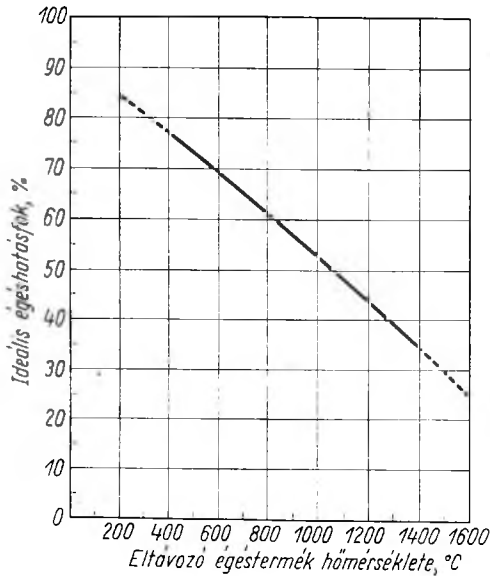
$$\eta_{\text{tüzelőber}} = \frac{Q_1}{Q_2} \quad (3)$$

ahol  $Q_2$  a rendszerbe bevezetett tüzelőanyag által képviselt hőenergia.

A termovillamos rendszer hatásfokára elméleti megfontolások alapján jól kezelhető kifejezések állnak rendelkezésre (1) (2), amelyek közül itt csak az optimálisan illesztett terheléssel elérhető hatásfok kifejezését idézzük, vagyis a rendszer  $R_b$  belső ellenállásával egyező nagyságú  $R_t$  terhelőellenállás esetén adódó hatásfokot:

$$\eta_{R_t=R_b} = \frac{T_m - T_h}{T_m} \cdot \frac{1}{Z + \frac{4}{ZT_m} - \frac{1}{2} \cdot \frac{T_m - T_h}{T_m}} \quad (4)$$





21-1. ábra. Ideális tüzelési hatások a távozó füstgázhőmérséklet függvényében (füstgáz-vesztesség)

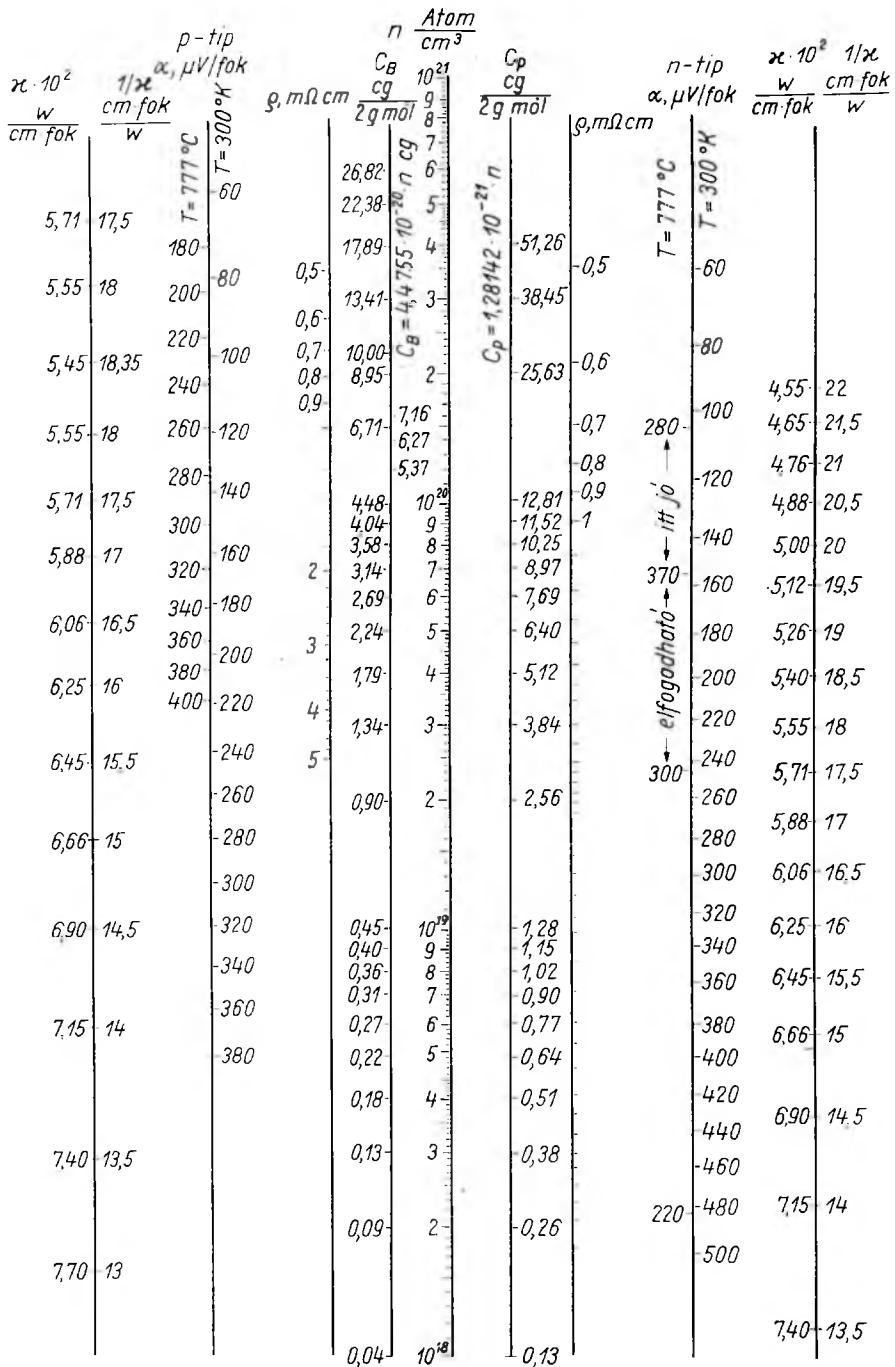
A kifejezésben  $T_m$  és  $T_h$  a hőmérsékleti határok, amelyek között a generátor működik, az ún. termovillamos jósági számba,  $Z$ -be pedig sűrítve vannak mindazok az anyagi jellemzők, amelyek a generátor aktív anyagát termovillamos szempontból jellemzik. Ez a kifejezés a kísérletileg realizálható értéknél mindig nagyobb értéket ír le, mivel levezetésénél többek között az a feltevés is szerepel, hogy a termovillamos anyagon létesített kontaktusok mind elektromos, mind pedig termikus szempontból tökéletesek.

A tüzelőberendezés hatásfokának megadása már több nehézségbe ütközik. Támpondul a 21-1. ábrán közölt görbe szolgálhat, amely a tüzelés hatásfokát a távozó égéstermékek hőmérsékletének függvényében adja meg ideális esetben [3]. Ennek megfelelően tárgyalásunk három fő részre oszlik.

1. A termovillamos Ge-Si ötvözet anyag fizikai tulajdonságainak és elkészítési technológiájának vizsgálatára.
2. A reális kontaktusellenállások teljesítményre és hatásfokra gyakorolt hatásának vizsgálatára.
3. A termovillamos generátor teljes konstrukciójának vizsgálatára.

### 1. A Ge-Si alapanyag

Termovillamos generátorok tervezése, méretezése során elsősorban a rendelkezésre álló alapanyag fizikai tulajdonságaiból kell kiindulni. A germánium-szilícium ötvözetrendszer tulajdonságait Dismukes és munkatársai [4] mérték meg nagy alaposítással, amelyek közül a minimális hővezetőképességű  $Ge_{0,3}Si_{0,7}$  összetételre vonatkozó legfontosabb mérési eredményeket a 21-2. ábrán bemutatott nomogramba foglaltuk össze. Megjegyezzük, hogy más szerzők — pl. Birkholz [5] — adatai elég jól egyeznek ezekkel az adatokkal, előfordul azonban esetenként 50%-os eltérés is.



2 g mol  $Ge_{0,3}Si_{0,7} = 43,56 g Ge + 39,33 g Si$

21-2. ábra. Az n- és p-típusú  $Ge_{0,3}Si_{0,7}$  összetételű termovillamos anyagok jellemző tulajdonságai ( $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $\kappa$ ) és a szükséges dopplóanyag koncentrációja ( $C_B$ , ill.  $C_P$ ) az n töltéshordozó-koncentráció függvényében

Termovillamos szempontból az anyagokat  $Z$  jósági számukkal szokás jellemezni:

$$Z = \alpha^2 / \rho \kappa,$$

ahol  $\alpha$  az anyag Seebeck-együtthatója;

$\kappa$  a hővezetőképessége;

$\rho$  a fajlagos ellenállás.

A 21-2. ábrából kivehetően  $\alpha$  és  $\rho$  értéke elég erősen változik az adalékanyag koncentrációjának függvényében,  $\alpha^2/\rho$  értékeinek maximuma az  $n = 10^{19}$  atom/cm<sup>3</sup>-es tartományba esik. Az anyag hővezető képessége tulajdonképpen két részből tevődik össze, a rács és a töltéshordozók járulékából. A rács járuléka az adalékkoncentráció növelésével az adalékokon történő fononszóródás miatt csökken, de az adalékokkal bevitt töltéshordozók növelik a töltéshordozók járulékát, így a  $\kappa - n$  görbe minimumot mutat. Az adalékolt Ge-Si ötvözetek jósági számának  $n$  függvényében tehát egyértelmű maximuma van, növelésére csak az a lehetőség marad, hogy az optimális  $\alpha^2/\rho$  adalékolású anyagba további, villamosan inaktív adalékot, úgynevezett harmadik komponenszt bevéve csökkentjük tovább a rács hővezető képességét. Dismukes és munkatársai méréseikhez az ötvözetmintákat zónás olvasztással állították elő [7], amely eljárás a legtokéletesebb homogenitású anyagot biztosítja, azonban nagyon időigényes, így nem gazdaságos, harmadik komponens bevitelére pedig szinte lehetetlen. Herrmann, Dietz és Röder [8] olyan módszert dolgoztak ki, amely szerint a homogénizált olvadékot cseppenként távolítják el az olvasztótégelyből egy kristályosítóformába, ahol az cseppenként szilárdul meg vékony rétegben, ezáltal a szegregáció okozta inhomogenitás igen kis fűrészfogazottságot eredményez az átlagösszetétei körül a kristályhossz—koncentráció görbén. Ez az ún. Wacker-eljárás elég gyors és gazdaságos, de bonyolult szabályozóberendezéseket igényel, a megszilárdulás körülményeit ugyanis a beeső olvadékcseppek hőtartalma szabja meg. Fontos technológiai paraméternek bizonyul tehát az olvadék hőmérséklete (ezáltal a felületi feszültsége, viszkozitása), a csepegtetés gyakorisága, a cseppentőnyílás mérete, a cseppek esési magassága, amelyek azonosan tartása nem könnyű feladat. Különösen akkor jelentkeznek nehézségek, ha a harmadik komponens bevitelével megváltoznak az olvadék fizikai tulajdonságai (olvadáspont, fajsúly, felületi feszültség, viszkozitás).

### 1.1 Előállítási technológia

Az előzők alapján olyan anyagelőállítási módszer kialakítására törekedtünk [9], amely gazdaságos, termelékeny és különösebben bonyolult berendezések nélkül lehetővé teszi különböző összetételű Ge-Si alapú termovillamos ötvözetek előállítását az alkalmazás szempontjából kielégítő homogenitással [6].

Kísérleteink során bebizonyosodott, hogy a Wacker-eljárás alapelvét — ti. az olvadékcseppek hőtartalmával történő kristályosodásszabályozást — az egyre bonyolódó technikai berendezés miatt el kell vessük és a megszilárdulást az olvadék hőtartalmától lehetőleg függetlenítenünk kell.

Kristályosítóedénynek jó hővezetőképességű és jó hőlesugárzó anyagot kerestünk, amely az olvadék hőmérsékletét — annak hőtartalmától bizonyos korlátok között függetlenül — gyorsan az olvadáspont alá hűti, hogy a nem kívánatos szegregációt kiküszöböljük. Az anyag ugyanakkor legyen ellenálló az olvadásponton levő GeSi-vel szemben, ne ötvöződjön vele, ne tapadjon hozzá, legyen rugalmas, hogy felesleges mechanikai feszültségek ne keletkezzenek a megszilárduló ötvözetben.

Ugyanaz okból a már megszilárdult ötvözet további lehűtése lehetőleg lassú legyen, ami egyszerű utánfűtési lehetőséget igényel. Mindezen szempontokat kielégítő öntőformához jutunk, ha 1—2 mm vastag grafitlemezekből állítjuk össze a kristályosító-edényt, és ha szükséges, a grafitlemezek külső felületét bordázzuk a hőleadó felület növelése érdekében. Esetünkben a megszilárdulást az öntőforma hőelvonóképessége vezérli, ami a termovillamos alkalmazás szempontjából szokásos méreteket ( $\varnothing$  6 mm-től  $14 \times 14$  mm négyzetleges keresztmetszetet) tekintve az olvadáspont környékén elegendően nagy az olvadék hőtartalmának oly mértékű csökkentésére, hogy az



21-3. ábra. Szétszedhető, grafit—kvarc kombinációval készített szedőedények

ötvözet megszilárduljon. A továbbiakban az öntőforma hűtőhatása egyre csökken, mivel a hő főleg sugárzás útján távozik a szerszámból, de a grafitforma nagyfrekvenciásan könnyen utánfűthető, ami a további lehűtés csökkentését egyszerűen teszi lehetővé. A vékony grafitlemezek rugalmassága kielégítő, az ötvözet gyors megszilárdulás esetén nem tapad a grafithez, az öntőforma egyszerűen bontható szét, és azonos vezetési típusú ötvözetek esetén többször használható. Ez utóbbi körülmény a hőszabályozás reprodukálása szempontjából jelentős.

A jól bevált grafit öntőformákból néhány változat a 21-3. ábrán látható. A grafitléceket alul és felül hornyolt grafitidomok fogják össze, a felső idom lyukas, ezen át folyik be az olvadék. Felül kvarccső illeszkedik hozzá, amely átlátszósága révén biztosítja az ötvözet folyásának vizuális megfigyelhetőségét.

Tapasztalataink szerint az ismertetett öntőformák hőelvezetése biztosítja az ötvözet számottevő szegregációtól mentes megszilárdulását akkor is, ha az olvadék nem cseppekben, hanem vékony sugárban folyik az öntőformába. Mivel ilyen esetben az olvadék hőtartalma elsősorban radiális irányban távozik a megszilárduló ötvözet térfogatrészből, magának az ötvözetnek a rossz hővezetőképessége korlátozza a kielégítő homogenitású öntecs vastagsági méretét. A vékony sugárban öntés lehetősége főleg az n-típusú ötvözet előállítása folyamán jelentős, ahol a foszforadalék nagy

tenziója miatt a gyors munkavégzés a fajlagos ellenállás és Seebeck-együttható értékek reprodukálhatóságát növeli meg.

Az olvadékmegszilárdulás ilyen megvalósítása nagymértékben egyszerűsítette az olvadékkészítés körülményeit is. Mivel az olvadékhőmérséklet elvesztette döntő jelentőségét, nagyfrekvenciás fűtőmód minden különösebb hőmérséklet szabályozás nélkül, tapasztalati teljesítményértékekkel alkalmazható. Olvasztótégelyként alul lyukas kvarcedényt használhatunk magasabb olvadáspontú ötvözetek esetén is, mert a kiömlőnyílásnak a kvarc lágyulásából adódó méretváltozására sem kényes az eljárás. Nyílászvezérlésre és az olvadék mechanikus homogenizálására kónuszosan hegyezett grafitpálcát használhatunk, amely magasabb olvadáspontú ötvözetek esetében sem tapad a kvarcedényhez, és további előnye, hogy nagyfrekvenciás fűtőmód esetén öntés alatt csökkenti azt a teljesítményváltozást, amit az egyre csökkenő olvadékmennyiség mint magméretváltozás jelent.

## 1.2 Összetétel

Az 1.1 pontban ismertetett technológiával, Cr, Co, Mo, W harmadik komponensek bevitelével készítettünk ötvözetmintákat. A bemért Ge, Si és elektromosan aktív adalékok (B, ill. P) mennyiségét állandóan tartva, a harmadik komponens mennyiségét változtattuk az állandó mennyiségre vonatkoztatva 1, 3 és 5 súly% arányban. A minták atom%-ban, kifejezett összetételét a 21-1. táblázat foglalja össze.

21-1. táblázat

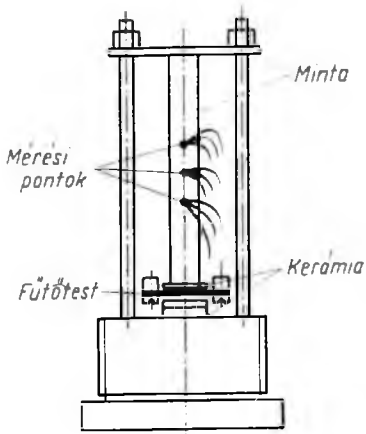
Az egyes GeSi minták atomszázalékban kifejezett összetétele

Súly %	Ge	Si	Cr	Ge	Si	Co	Ge	Si	Mo	Ge	Si	W
1.	29,78	69,42	0,80	29,79	69,50	0,71	29,87	69,69	0,44	29,93	69,84	0,23
3.	29,29	68,35	2,36	29,37	68,53	2,10	29,61	69,09	1,30	29,80	69,52	0,68
5.	28,84	67,28	3,88	28,97	67,59	3,44	29,36	68,50	2,14	29,66	69,22	1,12

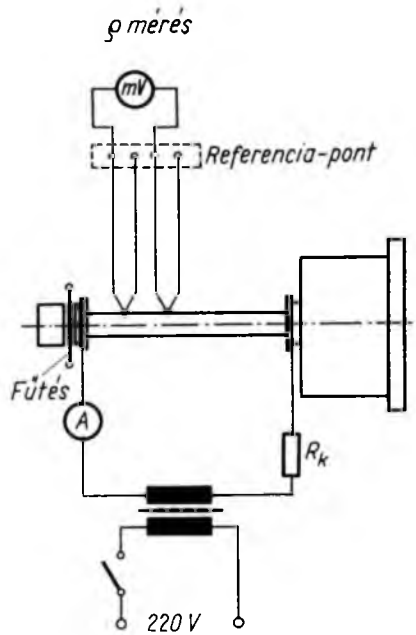
## 1.3 Mérési módszerek

Ezzel az eljárással készült  $Ge_{0,3}Si_{0,7}$  öntecseken a fajlagos ellenállást szobahőmérsékleten váltakozó áramú négyzondás módszerrel mértük több pontban. A továbbiakban  $1-2 \cdot 10^{-3} \Omega cm$  fajlagos ellenállású mintákon végeztük méréseinket. A GeSi öntecsekből  $6 \times 6 \times 40$  mm méretű hasáb alakú mintákat vágunk ki. A mintákba, azok egyik végétől, és egymástól kb. 8 mm távolságban porfúvással 2 mm mély és 1 mm átmérőjű lyukakat fúrtunk. Ezekben a lyukakban rögzítettük Pt szegecsekkel a termoelemeket.

Az elkészült mintákat a 21-4. ábrán látható mintabefogóban helyeztük el. A minta mindkét végét alu-oxidkerámia lapkával szigeteltük el a Kanthal laposhuzalból készült kisméretű fűtőtesttől és a mintabefogó fémrészektől. A minta két végén Pt lemezből készült árambevezetőket helyeztünk el. A fűtőtesthez és a mintához csatlakozó vezetőkeket és termoelemhuzalokat a befogó tönkjén keresztül, egymástól elszigetelve, kerámiacsöveken keresztül vezettük ki.



21-4. ábra. Mintabefogó a GeSi anyag termovillamos tulajdonságainak méréséhez



21-5. ábra. Mérési elrendezés a fajlagos ellenállás-méréshez

A mintabefogót vákuumkályhába helyeztük, aminek hőmérséklete 1000 °C hőmérsékletig folyamatosan szabályozható. A méréseket  $10^{-3}$  torr nyomáson végeztük.

A hőmérséklet regisztrálására Chromel-Alumel termoelemeket használtunk, amiknek feszültségét, valamint a Seebeck-feszültségeket UV-rekorderrel, galvanométerek segítségével regisztráltuk.

1. A  $\rho$  fajlagos ellenállás mérését váltakozó áramú kétszondás módszerrel végeztük (21-5. ábra). A vizsgálandó, adott keresztmetszetű, hasáb alakú mintán ismert nagyságú áramot (100 mA) bocsátunk keresztül, és mérjük a minta hossza mentén két pont között a létrejövő potenciálkülönbséget. A minta ismert geometriai adatai, és a mért áram, ill. feszültségértékek alapján a fajlagos ellenállást a következő összefüggés adja meg:

$$\rho = \frac{A}{L} \cdot \frac{\Delta U}{I} \quad (5)$$

ahol  $A$  a minta keresztmetszete;

$L$  a kontaktusok távolsága, amik között a feszültséget mérjük;

$I$  a mintán keresztül folyó áram és

$\Delta U$  a mért feszültség.

2. A  $\kappa$  hővezetőképesség mérését az Angström-módszer egy változatával végeztük (21-6. ábra). A hosszú, rúd alakú minta egyik végét állandó hőmérsékleten tartjuk, míg a másik végét a mintától elektromosan elszigetelt fűtőtest segítségével impulzuszerűen melegítjük. Mérjük a minta két pontjában a hőmérséklet időbeli változását. A környezeti hőmérséklet miatt fellépő feszültséget elektromosan kompenzáljuk. Az így meghatározott hőmérséklet—idő függvény alapján a minta hővezető képessége a következőképpen határozható meg:

$$\kappa = c_p \frac{Lv}{2 \ln d}, \quad (6)$$

ahol  $L$  a hőmérsékletmérési pontok távolsága;

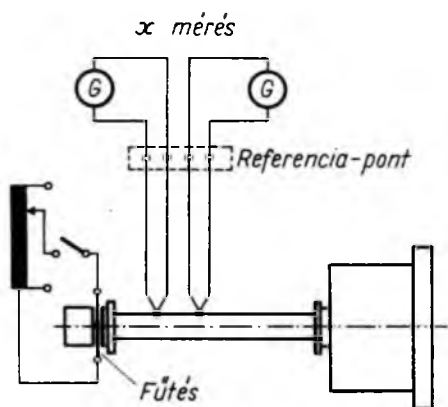
$v = \frac{L}{\Delta t}$  a hőmérséklet-maximum terjedési sebessége;

$\Delta t$  a hőmérséklet-maximumok keletkezése között eltelt idő a hőmérsékletmérési pontokon;

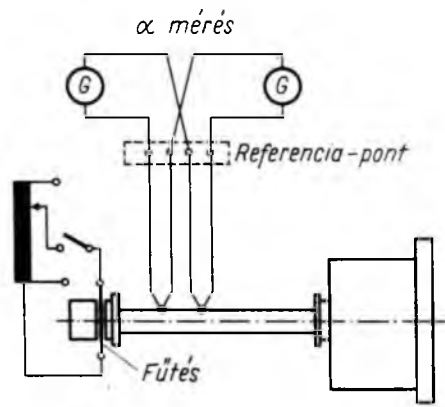
$d$  a hőmérséklet hullám-amplitúdó dekrementuma és  $c_p$ -a minta fajhője.  $c_p$  értéket az irodalmi adatok alapján  $1,7 \text{ Wcm}^3 \cdot \text{fok}^{-1}$ -nek tételeztük fel.

3. A Seebeck-együttható mérése: Nagy hőmérsékleten a két mérési pont közötti hőmérséklet-különbség a Seebeck-együttható mérésénél kicsi a környezeti hőmérséklet-hez képest.

A hőmérsékletkülönbség a hőmérsékletek abszolút értékének mérése alapján nem határozható meg jelentékeny hiba nélkül. Emiatt a minta Seebeck-együtthatójának mérése a következő módszert használtuk (21-7. ábra).



21-6. ábra. Mérési elrendezés a hővezetőképesség méréséhez



21-7. ábra. Mérési elrendezés a Seebeck-együttható méréséhez

A minta egyik végét impulzusszerűen melegítjük, és a termoelemek azonos anyagú ágai között mértük a feszültséget. A kapott mérési adatok alapján a minta Seebeck-együtthatója a következő úton határozható meg:

$$E_{K_r} = (\alpha_{\text{minta}} - \alpha_{K_r}) \cdot \Delta T \quad (7)$$

és

$$E_{A_l} = (\alpha_{\text{minta}} - \alpha_{A_l}) \cdot \Delta T, \quad (8)$$

ahol  $\alpha_{\text{minta}}$  a minta mérendő Seebeck-együtthatója;  $\alpha_{K_r}$ ,  $\alpha_{A_l}$  a termoelem huzalok Seebeck-együtthatói, és  $E_{K_r}$ ,  $E_{A_l}$  a Kromel és Alumel termoelem ágak termofeszültségei. A mért feszültségeket kivonva egymásból, és összegezve őket, kapjuk, hogy:

$$E_{A_l} - E_{K_r} = (\alpha_{K_r} - \alpha_{A_l}) \cdot \Delta T = \beta \cdot \Delta T, \quad (9)$$

ahol  $\beta = \alpha_{K_r} - \alpha_{A_l}$  a Kromel—Alumel termoelem hőmérséklet-érzékenysége; és

$$E_{A_l} + E_{K_r} = (2\alpha_{\text{minta}} - \alpha_{A_l} - \alpha_{K_r}) \cdot \Delta T. \quad (10)$$

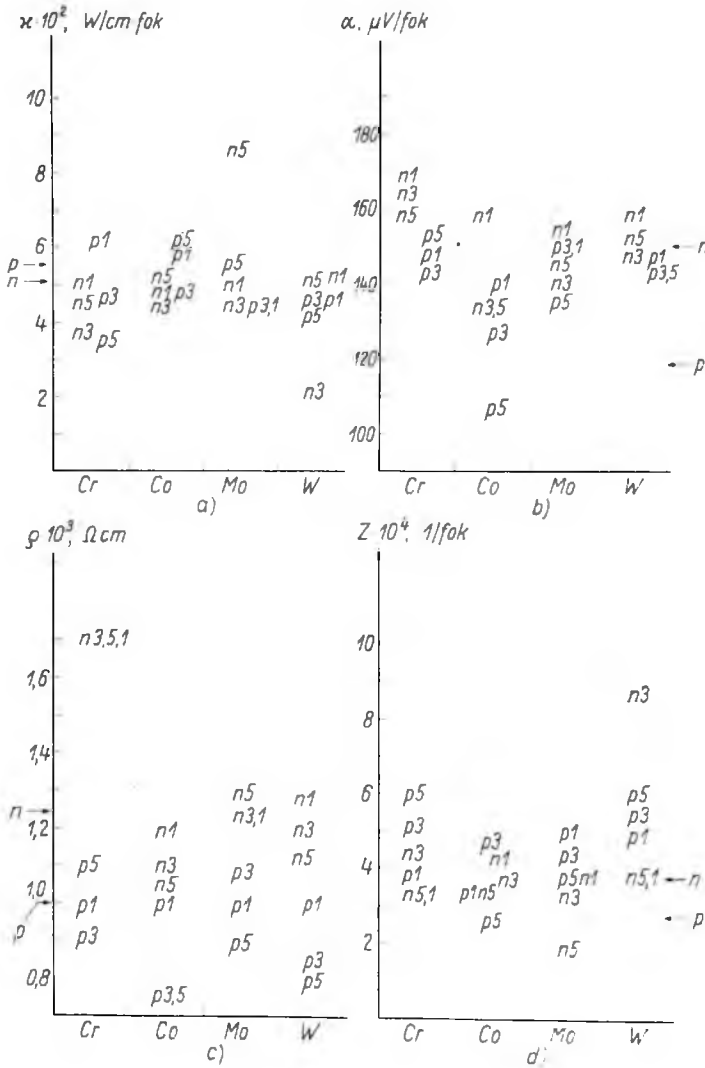
E két összefüggésből kapjuk, hogy:

$$\alpha_{\text{minta}} = \frac{\beta(E_{A_l} + E_{K_r})}{2(E_{A_l} - E_{K_r})} + \frac{\alpha_{K_r} + \alpha_{A_l}}{2} \quad (11)$$

### 1.4 Eredmények

A mintákon mért fajlagos ellenállás, Seebeck-együttható és hővezetőképesség értékeket, ill. a belőlük számolt jóságági számot a 21-8. ábrán tettük szemléletessé. Az abszcisszára az adalékanyagokat vettük fel atomsúlyuk sorrendjében, amihez megjegyezzük, hogy a Si atomsúlya valamennyi adalékánál kisebb, a Ge atomsúlya pedig a Co és Mo közé esik.

Az adalékok koncentrációjára jellemző számot (súly%) és a vezetési típus betűjelét ábránkon a mért, ill. számított ordinátaérték magasságában jelöltük be. A meg-



21-8. ábra. A különböző Cr, Co, Mo és W tartalmú minták termovillamos jellemzői

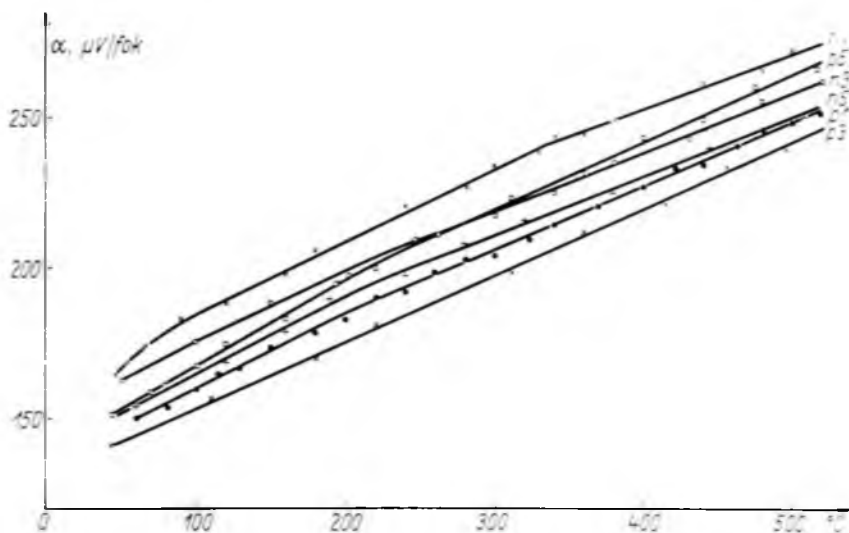


felelő ordináta érték magasságában elhelyezett nyilak jelzik a mintáinkkal azonos doppelású, harmadik komponenszt nem tartalmazó GeSi paraméter-értékeit.

A hővezetőképesség mért adatainak elemzésénél megállapíthatjuk, hogy azok javarészen kevéssel a harmadik komponenszt nem tartalmazó GeSi irodalmi adatai alatt mozognak. Szignifikáns eltérést a Cr adalék esetében találunk hővezetőképességet csökkentő, tehát kedvező hatással. A W adalék esetében az észlelt hatás hasonló, de az értékek szórása miatt nem tekinthetjük jellemzőnek.

Az adalékok Seebeck-együtthatóra tett hatását vizsgálva legfeltűnőbb a Co adalék kedvezőtlen befolyása, de szignifikáns — bár abszolút értékben kisebb — kedvező befolyást mutat a Cr. Az irodalmi adatoknál valamivel magasabb, kedvezőbb értékek mutatkoznak Mo és W esetében is.

A fajlagos ellenállás tekintetében a Cr kedvezőtlen, a Co kedvező hatást mutat. Szignifikáns a W kedvező hatása is.



21-9. ábra. Cr adalékos minták Seebeck-együtthatójának hőmérsékletfüggése

A három paramétert összefoglaló Z termovillamos jósági szám értékei érthetően nagy szórást mutatnak, hiszen mindhárom paraméter eltérése és mérési hibái is szorzataikban jelentkeznek. Mindemellert az egyes adalékok kedvező és kedvezőtlen befolyásának relatív összegezésére felhasználhatjuk a számított értékeket. Az n-típusú anyag esetében a leghatásosabb adaléknak a króm bizonyult, mivel a fajlagos ellenállást kedvezőtlenül befolyásoló hatását túlkompenzálja a hővezetőképességre és a Seebeck-együtthatóra tett kedvező hatása. Legkedvezőbb összetétel n-típusúnál 3%, p-típusúnál 5% Cr tartalom esetében mutatkozik.

Co adalék csak a fajlagos ellenállást befolyásolja kedvezően, ez azonban kevés a többi paraméter romlásának kompenzálására, így hatását kedvezőtlennek kellene ítélnünk. Ha azonban figyelembe vesszük, hogy a fajlagos ellenállás csökkenése a Seebeck-együtthatót is törvényszerűen csökkenti, utóbbi pedig Z értékben négyzetesen szerepel, igen valószínű, hogy enyhébb doppelással (a fajlagos ellenállásnak az eredetileg tervezett 1...1.2 mΩcm-re történő beállításával) a Co adalék tapasztalt negatív

hatása elkerülhető. A kérdés így végül a hővezetőképességre tett hatásban csúcsosodik ki, ahol viszont a Co adalék jelenléte közömbös.

Mo adalék minden vonatkozásban átlagos hatást, ill. hatástalanságot eredményez, ami a jósági szám tekintetében a legalacsonyabb mérőszámokat jelenti. Ha hozzávesszük az alkalmazásával járó technológiai kellemetlenségeket, ismét kedvezőtlen hatásúnak kell tekintenünk, különösen n-típusú anyag esetében.

Wadalék esetén tapasztaljuk az adatok legnagyobb szórását az egyes paraméterek vonatkozásában is, ami talán nem véletlen, és mögötte kristály-inhomogenitás gyanítható. Így is figyelemre méltó az n-típusú 3%-os és a p-típusú 5%-os minta jósági száma, ami meghaladja a Cr adalékosokét is.

A paraméterek hőmérsékletfüggésének mérése megnyugtató bennünket afelől, hogy az anyagok viselkedése nagyobb hőmérsékleten sem válik ellentétessé, a görbék a harmadik komponenset nem tartalmazó GeSi-nél ismert tendenciákat mutatják, noha méréseinket 500 °C felett sok tényező tette bizonytalaná. Példaképpen a 21-9. ábrán bemutatjuk a Cr adalékos minták Seebeck-együtthatójának hőmérsékletfüggését 500 °C-ig.

További munkánk során a kedvezőnek talált összetételű anyagokból készült generátorelemek vizsgálatával kívánunk bizonyítást szerezni a talált effektusokról, amelyek az eddigiek szerint, ha nem is a várt mértékben, de igazolták törekvéseinket.

## **2. A termovillamos energiaátalakító rendszer hatásfoka és maximális teljesítménye, reális kontaktusok figyelembevételével**

Egy reális termovillamos elem mindenféleképpen tartalmaz a meleg és hideg oldalakon elektromos hozzávezetést szolgáló szerkezeti elemeket és azok hőellenállásán, ill. a konstrukciótól függő más hőellenállásokon keresztül csatlakozik a két hőtartályhoz. Az a tény, hogy sem az elektromos, sem a termikus kontaktusok nem javíthatók egy bizonyos határon túl, jelentősen befolyásolja a termovillamos energiaátalakító rendszer hatásfokát és fajlagos teljesítményét.

### **2.1 A termovillamos elem maximális villamos teljesítményének számítása**

Számításainkat azonos hosszúságú és keresztmetszetű n és p-típusú GeSi anyagból felépített elemre végeztük. Így használhatók a következő jelölések:

$$\begin{aligned}\varrho &= \varrho_n + \varrho_p, \\ \alpha &= \alpha_n + \alpha_p, \\ \kappa &= \kappa_n + \kappa_p.\end{aligned}$$

Egy termovillamos elem belső ellenállása ( $R_b$ ) az azt felépítő aktív anyagoknak és kontaktusok ellenállásainak ( $R_0$ ) összege.

$$R_b = \varrho \frac{l}{A} + R_0, \quad (12)$$

ahol  $\varrho$  a termovillamos anyag fajlagos ellenállásának a működési hőmérséklet-tartományra értelmezett átlagos értéke,  $l$  az oszlop hossza,  $A$  a keresztmetszete.

A termovillamos elem elektromotoros erejét az aktív anyagon létrejövő hőmérséklet-különbség határozza meg. Ez a hőmérséklet-különbség ( $\Delta T$ ) mindig kisebb, mint a két hőtartály közötti hőmérséklet-különbség ( $\Delta T'$ ). A termikus csatlakozások hatását

az egyszerűség kedvéért a termovillamos oszlopokkal azonos keresztmetszetű és hővezető képességű elektromos ellenállás nélküli oszlop hosszával ( $B$ ) jellemeztük. Ennek megfelelően:

$$\Delta T = \frac{l}{B+l} \Delta T'. \quad (13)$$

Az elemből nyerhető teljesítményt illesztett terhelés ( $R_b = R_k$ ) esetén (12) és (13) segítségével felírhatjuk:

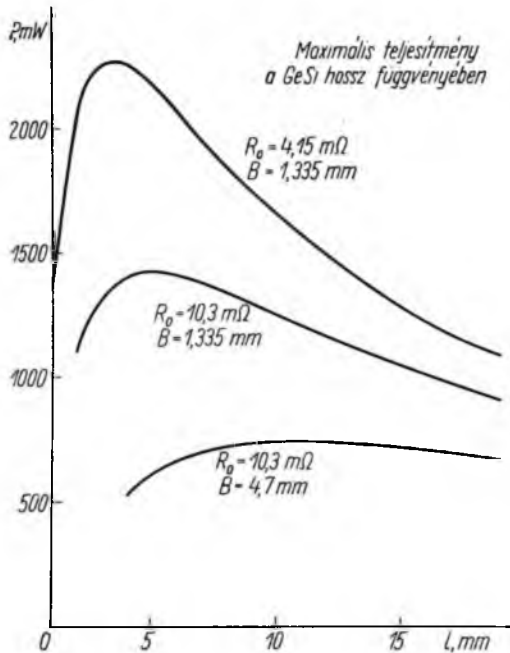
$$P_{\max} = \frac{\alpha^2 \Delta T'^2 l^2}{4(B+l)^2 \left( \varrho \frac{l}{A} + R_0 \right)}, \quad (14)$$

ahol  $\alpha$  a termovillamos anyag átlagos Seebeck-együtthatója a működési hőmérséklet-tartományban.

A függvény a GeSi oszlophossz ( $l$ ) függvényében maximumot mutat. A maximum-helye

$$l_{P_{\max}} = \frac{B + \sqrt{B^2 + \frac{8R_0 AB}{\varrho}}}{2}. \quad (15)$$

A 21-10. ábra a termovillamos elemből nyerhető maximális teljesítménynek a (14) függvényből számolt értékeit ábrázolja a GeSi oszlophossz függvényében, különböző



21-10. ábra. Egy GeSi termovillamos elemből nyerhető maximális villamos teljesítmény értékei a termovillamos oszlophossz függvényében a (14) összefüggésből számítva (0,36 cm<sup>2</sup> oszlopkeresztmetszet és  $\Delta T' = 800$  °C feltételzésével)

**Termovillamos anyagparaméterek átlagos értékei a teljesítmény és hatások hosszfüggésének számításához**  
(100...900 °C)

$\alpha_n$ az n-típusú anyag átlagos Seebeck-együtthatója	$301 \cdot 10^{-6}$ V/fok
$\alpha_p$ a p-típusú anyag átlagos Seebeck-együtthatója	$203 \cdot 10^{-6}$ V/fok
$\rho_n$ az n-típusú anyag átlagos fajlagos ellenállása	$3,61 \cdot 10^{-3}$ $\Omega$ cm
$\rho_p$ a p-típusú anyag átlagos fajlagos ellenállása	$1,76 \cdot 10^{-3}$ $\Omega$ cm
$K_n$ az n-típusú anyag fajlagos hővezető képessége	$3,9 \cdot 10^{-2}$ W/cm K
$K_p$ a p-típusú anyag fajlagos hővezető képessége	$4,05 \cdot 10^{-2}$ W/cm K

$R_0$  és  $B$  értékek mellett  $0,36 \text{ cm}^2$  oszlopkeresztmetszet és  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ -os  $\Delta T'$  feltételezésével. A többi adatot a 21-2. táblázat tartalmazza.

A paraméterek ( $R_0$  és  $B$ ) értékeit empirikusan határoztuk meg. A szokásos technológiával készített különböző méretű termovillamos elemek áramköri tulajdonságait kísérleti elrendezésben mértük. A mért adatokból  $R_0$ -t a (12) összefüggés segítségével  $B$ -t pedig a következő összefüggésből

$$B = \frac{\alpha \Delta T - U_0}{U_0} l \quad (16)$$

határoztuk meg, ahol  $U_0$  a termovillamos elem elektromotoros ereje. Az átlagos adatokból  $R_0 = 10,3 \text{ m}\Omega$ ,  $B = 4,7 \text{ mm}$  adódott. Az  $1,335 \text{ mm}$ -es  $B$  érték az átlagtól való legnagyobb eltérésből számolt adat, ami közelítőleg a kísérleti elrendezéstől független elektromos kontaktusokon létrejövő hőmérsékletesre jellemző.  $R_0 = 4,15 \text{ m}\Omega$ -os értéke pedig a termovillamos elem melegoldali villamos összekötésének (MoSi híd) számolt ellenállása (a számítás menetére vonatkozóan l. [3] 28. old.). A 21-3. ábrán ezen értékek kombinációiból számolt teljesítmény értékeit is feltüntettük.

A maximális hasznos teljesítménygörbéket önmagukban vizsgálva megállapíthatjuk, hogy az ideális hiperbolikus függés helyett, reális kontaktusokat figyelembe véve maximummal rendelkező görbéket kaptunk. A maximumhelyek  $B$  és  $R_0$  értékeinek növekedésével jobbfelé tolódnak el, és az átlagos  $R_0$  és  $B$  értékeknél a maximum meglehetősen lapos. Ebben az esetben a max. kivehető teljesítmény a hosszától kevésbé függ.

## 2.2 A termovillamos elem hatásokának számítása

A termovillamos elem hatásokának számításához, amelyet a maximális teljesítményhez tartozó esetre végeztünk el, az elemen működés közben átáramló hőt kell meghatározni. Ez több részből tevődik össze

$$Q_{\text{at}} = Q_v + Q_p - Q_J + Q_T \quad (17)$$

E kifejezésben  $Q_v$  a hővezetéssel átjutó hőmennyiség,  $Q_p$  az elem villamos terhelésekor fellépő Peltier-hatás által szállított hő,  $Q_J$  a melegoldalon képződő Joule-hő,  $Q_T$  pedig a Thomson-hő. Számításaink során ez utóbbi kettőt elhanyagoljuk, mivel különböző előjelűek, külön-külön nem haladják meg a teljes átbocsátott hőmennyiség 4%-át és számszerű értékük közel egyenlő. Például a 21-2. táblázatban szereplő paraméterű GeSi anyagból készült  $18 \text{ mm}$  hosszú elemnél  $\Delta T = 600 \text{ }^\circ\text{C}$

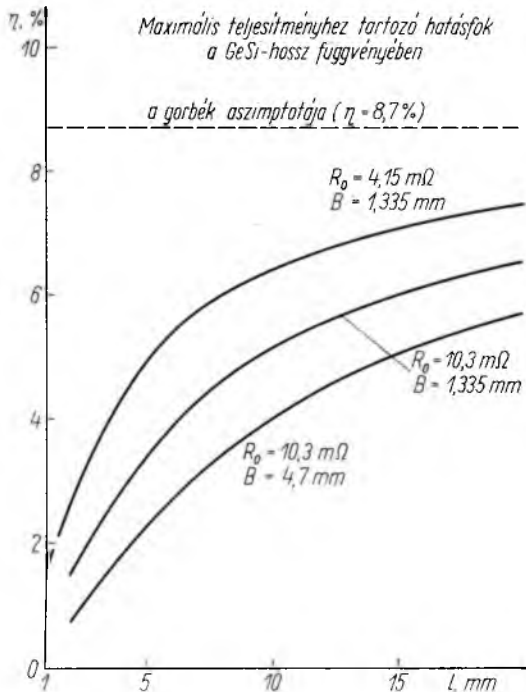
esetén  $Q_I = 0,290 \text{ W}$ ,  $Q_T = 0,283 \text{ W}$ . A termovillamos elemen átjutó hőáram tehát

$$Q_{\text{át}} = Q_v + Q_p = (\alpha_n + \alpha_p) \frac{A}{l} \Delta T + (\alpha_n + \alpha_p) T_m \cdot I. \quad (18)$$

A (13), (14) és (18) egyenletek felhasználásával, valamint azzal a feltételezéssel, hogy a  $B$  értékkel jellemzett járulékos hosszak a hideg- és a melegoldalon egyenletesen oszlanak el  $\left(B_1 = \frac{B}{2}\right)$ , kifejezhetjük a maximális teljesítményhez tartozó hatásfok értékét a reális kontaktus előzőekben bevezetett jellemzőinek figyelembevételével:

$$\eta = \frac{\alpha^2 \Delta T'}{4} \frac{l^2}{\alpha A \left( \rho \frac{l}{A} + R_0 \right) (B+l) + \frac{1}{2} \alpha^2 l [T_m(B+l) - \Delta T' B_1]} \quad (19)$$

Ez a függvény monoton növekvő az oszlophossz függvényében és a (4) egyenletnek



21-11. ábra. Egy GeSi termovillamos elem energiaátalakítási hatásfokának értékei a termovillamos oszlophossz függvényében a (19) egyenletből számítva

a fejezet elején ismertetett feltételekkel egyszerűsített alakjához tart. A termovillamos elem hatásfokának az előző fejezetben meghatározott kontaktus paraméterekkel számolt értékeit a 21-11. ábrán mutatjuk be.

A (19) összefüggés rámutat, hogy amíg az ideális eset tárgyalása szerint a termo-

villamos elem hatásfoka a geometriai méretektől független, addig a reális kontaktus paraméterei a hatásfok geometriai paramétereiktől való függését okozzák.

A (14) és (19) egyenletek egyúttal két egymásnak ellentmondó követelményt támasztanak a termovillamos elem méreteire.

Az elérhető legnagyobb hatásfokra (a hatásfok görbék aszimptotája) való törekvés a geometriai méretek helyes megválasztásával megvalósítható ugyan, azonban ez igen nagy anyagfelhasználással — azaz a beruházási költség növekedésével — és az elemekből nyerhető maximális villamos teljesítmény csökkenésével jár. A teljesítménygörbék maximumánál viszont a hatásfok kicsi.

Az Intézetben fejlesztett gáztüzelésű termovillamos generátor elemeinek hossz-méretét 14 mm-re választottuk, kompromisszumot kötve az előbbi két követelménnyel, oly módon, hogy ez az oszlophossz a hatásfokgörbe meredeken emelkedő szakaszán túl eső pontot jelöl ki, és a GeSi anyagfelhasználás a gazdaságosság határán még belül levő háromszoros növekedését eredményezi, a teljesítménymaximumhoz tartozó értékhez viszonyítva.

### 3. A termovillamos generátor hatásfoka

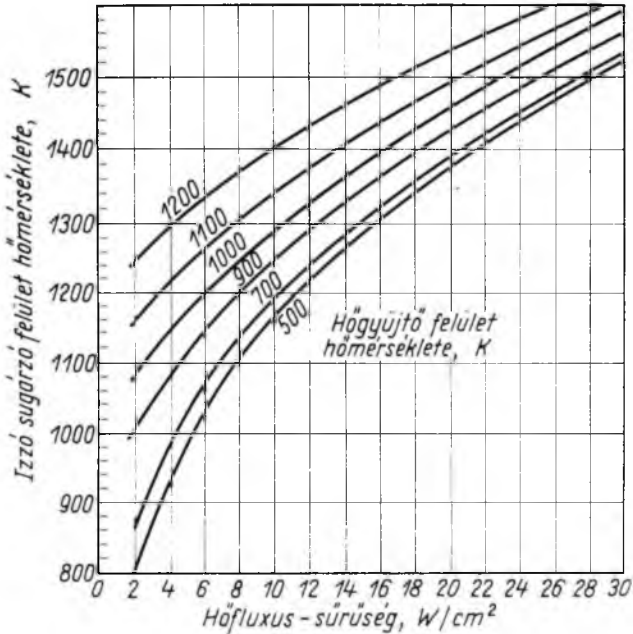
A termovillamos energiaátalakító telep teljes hatásfokát a termovillamos elemeken kívül a hőkeltéssel kapcsolatos veszteségek határozzák meg, mint azt a bevezetőben is említettük. Ezt az okozza, hogy a rendszerbe kémiai energia formájában bevitt energiából csak az tekinthető hasznosnak, ami a termovillamos elemeken keresztül távozik onnan.

Ennek alapján definiálhatjuk a hőkeltés hatásfokát, mint a termovillamos elemeken átvezetett hő és a rendszerbe bevitt összes energia viszonyát. Ez az érték ritkán haladja meg a 30...50%-ot. A veszteségek zöme két tényezőtől tevődik össze: az ún. környezeti veszteségből, vagy sönt-hőből, amit a termoelektromos elemeket körülvevő hőszigetelés tökéletessége befolyásol és a tüzelésnél fellépő füstgázvesztéséből.

A sönthő az összes bevezetett energia 10%-át teszi ki, jó hőszigetelés és alkalmas elrendezés esetén, a füstgáz-vesztés pedig, mint azt a 21-1. ábra mutatja, erősen változik a füstgázhőmérséklet függvényében, és a görbe által mutatott értékeket jelentősen elronthatjuk helytelen méretezéssel. A termovillamos oszlopokon tekintélyes hőáram halad át. A láng és a hőgyújtó felület között a hőátadási tényező kicsi és a közvetlen hőátadás az áramlási viszonyok alakításával csak szűk határok között befolyásolható. Javulás csak a tüztérben elhelyezett nagy felületű sugárzótestek segítségével érhető el. A sugárzó felületek által különböző hőmérsékletű, azonos nagyságú hőgyújtó felületnek sugárzással átadott hőáramsűrűség értékei vannak a 21-12. ábrán feltüntetve.

Mivel 700 °C felett a hőátadás nagyrészt sugárzással történik, megbecsülhető a termovillamos elemek megoldala és a távozó füstgázok közötti hőmérséklet-különbség. Ez a különbség annál nagyobb, minél nagyobb az energia-áramsűrűség, és így az energia-áramsűrűség növelése a tüzelés hatásfokának csökkenésével jár. A 21-12. és 21-11. ábra összevetéséből megállapítható, hogy például a 900 °C-os hőgyújtó felületi hőmérséklet kb. 10%-kal jobb hatásfokkal valósítható meg 8 W/cm<sup>2</sup> hőelvezetés esetén, mint 20 W/cm<sup>2</sup> hőelvezetéssel. 8 W/cm<sup>2</sup> energia-áramsűrűségnél kisebb értékek esetében ez a hatás nem ilyen nagy, és ezért a 8 W/cm<sup>2</sup> hőáram sűrűséget a méretezés szempontjából fontos határértéknek tekintjük a 900 °C-os hőgyújtó felület eléréséhez.

A hőgyújtó felület tetszés szerinti növelésének határt szab anyagának hővezető képessége, és a gyakorlati esetekben melegoldali villamos összeköttetésként és



21-12. ábra. Izzó sugárzó felület hőmérséklete a hőfluxus-sűrűség függvényében. A görbesereg paramétere a hőgyűjtő felület hőmérséklete

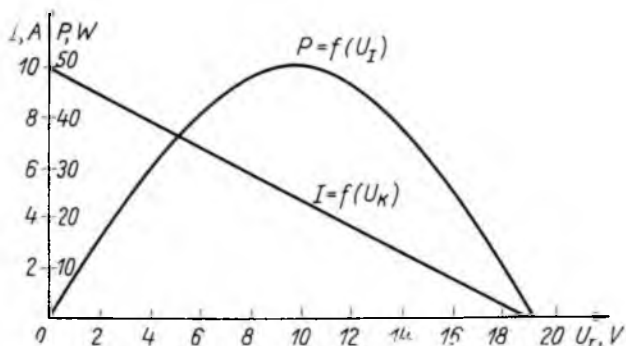
hőgyűjtő felületként használt Mo-Si hidak felülete az oszlopkeresztmetszetek 3...4-szeresére növelhető hatásosan [3].

Ez a tény további szempont az előző fejezetben a termovillamos oszlopok méreteinek meghatározásához, mivel az oszlopokon áthaladó hőáram értékét max. 24 W/cm<sup>2</sup> értékben határozza meg, és így az anyag hővezetőképességének figyelembevétele 1,3...1,4 cm közötti minimális oszlophosszt ír elő.

#### 4. Összefoglalás

A Villamosipari Kutató Intézetben folytatott munka során először olyan eljárást dolgoztunk ki, amelynek segítségével homogén összetételű GeSi ötvözetek készíthetők, majd megvizsgáltuk különböző adalékanyagoknak az alapötvözet termovillamos tulajdonságaira gyakorolt hatását. Króm és W adalékanyagok alkalmazása esetén a termovillamos jósági szám növekedését tapasztaltuk. Az ismertetett technológiával készült anyagokat alkalmaztuk termovillamos generátortelep építésére.

Munkánk során megvizsgáltuk a reális kontaktusok hatását a termoelektromos energiaátalakító rendszer hatásfokára és az egy termovillamos elemből nyerhető maximális teljesítményre. Megállapítottuk, hogy a reális kontaktusok által okozott hatásfokcsökkenés az elemek méreteinek megválasztásával kompenzálható, bár ez a teljesítménysűrűség csökkenésével jár. Ugyancsak megvizsgáltuk, hogy milyen követelményeket támaszt a fosszilis tüzelés a termovillamos elemekkel szemben, és azt találtuk, hogy azok az elemhatásfok növelése által meghatározottakkal azonos feltételeket szabnak.



21-13. ábra. Termovillamos generátortelep áram—feszültség, teljesítmény—feszültség karakterisztikái

A kifejlesztett alapanyag bázisán és az ismertetett méretezési elvek figyelembevételével szerkesztett termovillamos generátortelep áram—feszültség-, teljesítmény—feszültségkarakterisztikáit a 21-13. ábrán mutatjuk be.

A generátortelepbe 48 db termovillamos elemet építettünk be, az átlagos hőmérséklet-különbség  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , fűtőanyaga PB gáz, gázfogyasztása  $24\text{ dg/h}$ . Az egységből nyerhető maximális villamos teljesítmény  $50\text{ W}$ , amihez  $10\text{ V}$ -os kapocsfeszültség és  $5\text{ A}$  áramerősség tartozik.

#### Irodalom

- [1] *Ioffe, A. F.*: Semiconductor Thermoelements and Thermoelectric Cooling. Intosearch Limited London, 1957.
- [2] *Cohen, R. W.—Abeles, B.*: Efficiency Calculation of Thermoelectric Generators With Temperature Varying Parameters. J. of Appl. Phys. Vol. 34. N.O. 6. June 1963.
- [3] Thermoelectric Power Modules R.C.A. final report 1964. (US Army Electronics Research and Development Laboratories Fort Monmouth New Jersey).
- [4] *Dismukes, J. P.* et al.: J. Appl. Phys. Vol. 35. No. 10 (1964.), p. 2899.
- [5] *U. Birkholz*: Z. Angew. phys. Bd 22, Heft 5 (1967.) s. 395.
- [6] *Hesse, J.*: Z. Metallkunde Bd 60, Heft 6 (1969.) s. 557.
- [7] *Dismuke, J. P.—Ekstrom, L.*: Trans. Met. Soc. AIME Vol. 223 (1965.), p. 672.
- [8] *Röder, M.—Dietz, W.—Herrmann, H.*: DAS 1, 230, 227.
- [9] VKI Szolgálati Szabadalmi bejelentés.



## Elektrodinamikus nyomásos öntés kutatása

*DENK REZSŐ—BALOGH ISTVÁN*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők ismertetik a Villamosipari Kutató Intézetben 5 éve folyó elektrodinamikus fémalakítási eljárásokkal kapcsolatos kutatások legújabb eredményeit. A melegalakítási technológiák alkalmazását biztosító elektrodinamikus alakító gép elektromos és szerkezeti felépítésének ismertetésén túl, a szerzők az elektrodinamikus nyomásos öntés technológiai leírását nyújtják. Kitérnek az új technológiával készített munkadarabok geometriai lehetőségeire és mechanikai jellemzőire.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИТЬЯ ПОД ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ

*Р. Денк—И. Балог*

#### Резюме

Авторы сообщают о новейших результатах исследований, связанных с электродинамическими методами обработки металлов, проводимых уже пятый год в Научно-Исследовательском Институте Электрической Промышленности. Авторы кроме описания конструктивного построения станка электродинамической обработки металлов, обеспечивающего применение технологий горячей обработки, приводят и описание технологии литья под электродинамическим давлением. Авторы останавливаются на геометрических возможностях и механических характеристиках изделий, изготовленных по новой технологии.

### FORSCHUNG DES ELEKTRODYNAMISCHEN DRUCKGUSSES

*R. Denk—I. Balogh*

#### Zusammenfassung

Die Verfasser berichten über die neuesten Ergebnisse der vor 5 Jahren angelaufenen Forschung im Forschungsinstitut der Elektroindustrie. Ausser der Bekanntmachung des elektrischen und konstruktionellen Aufbaus der elektrodynamischen Formmaschine, bei der auch Warmformungstechnologien angewandt werden können, wird auch die Technologie des elektrodynamischen Druckgusses beschrieben. Auch die geometrischen Möglichkeiten und die mechanischen Kennwerte der mit dem neuen Verfahren gefertigten Arbeitsstücke werden dargestellt.

## RESEARCH OF ELECTRODYNAMIC PRESSURE CASTING

By R. Denk—I. Balogh

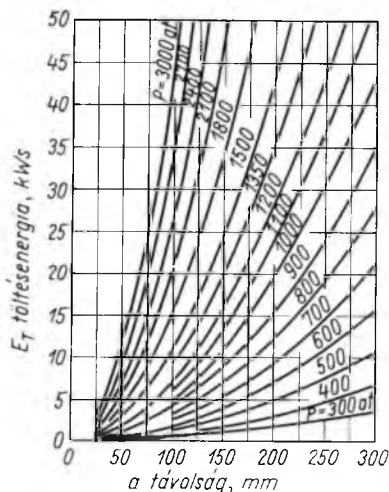
### Summary

Account is given of the latest achievements of research work in the field of the electro-dynamic metal-forming processes conducted by the Research Institute of the Electrical Industry during the past 5 years. In addition to describing the electrical and mechanical design of the electro-dynamic forming machine permitting the application of hot-forming processes, the authors describe the technology of electro-dynamic pressure casting. The geometrical capabilities and mechanical properties of workpieces produced by the new technology are mentioned.

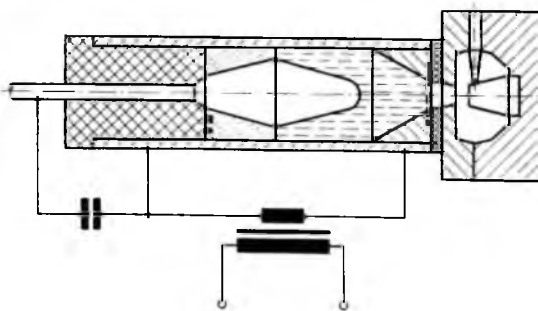
Az utóbbi időben a műszaki gyakorlat minden területén egyre gyakrabban találkozunk nyomás alatti öntési eljárással készült alkatrészekkel. Kezdetben ezt a technológiát főleg Zamak-típusú alapanyagból készült gyermekjátékok előállítására használták, majd ebből kiindulva jutott el a nyomásos öntés a mai fejlettségi fokra, amikor is az acélt kivéve szinte minden önthető fémre vonatkozóan az eljárást kidolgozták, sőt az acél nyomásos öntésére is végeztek — bár egyelőre nem túl eredményes — kísérleteket [3].

A nyomásos öntési eljárással készült munkadarabok különösebb szilárdsági igényeket kielégíteni nem tudnak, de a módszer nagy termelékenysége és méretpontossága folytán (tűréshatárai  $\pm 0,05 \dots 0,2$  mm) néhány meghatározott helyre rendkívül gazdaságosak. Az öntvényeket általában nem vagy csak kevéssé kell megmunkálni, de ez nem is kívánatos, mert az öntvény legnagyobb szilárdságú része a külső kéreg. A belső részek a fémutánpótlás hiánya, a bezárt levegő és a nagy nyomáson elnyelt gázok következtében porózusak.

A nyomásos öntés esetén a kokilla kitöltési folyamata másképp megy végbe, mint a többi szokványos eljárás során, ezért a kokillát és a megvágásokat más szempontok szerint kell kialakítani. A korszerű prés-öntőgépek kivétel nélkül hidraulikus működtetésűek. Általános, és a gyakorlatban is bizonyított felfogás, hogy nyomásos öntéssel gyakorlatilag tetszés szerinti alakú munkadarabok hoz-



22-1. ábra. Elektrohidraulikus térben mért nyomásértékek a szikracsatornától való távolság és a töltési energia függvényében



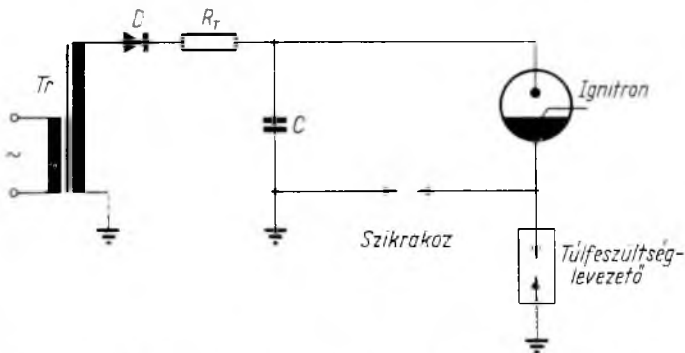
22-2. ábra. Kísérleti elektrodinamikus nyomásos öntőberendezés elvi felépítése

hatók létre és a megvágás bárhol elhelyezhető, ha kellő nyomással tudjuk a fém-ömledéket a kokillába vezetni.

A Villamosipari Kutató Intézet 3. Villamostechnológiák Főosztályán (Félvezető Főosztály) 5 éve folyik intenzív kutatómunka az elektrodinamikus fémalakítási technológiák különböző változatainak kifejlesztésére. Ez a tevékenység 1971 óta a melegalakítások területére is kiterjed. Egyik lehetséges variánsként merült fel az a gondolat, hogy az elektrohidraulikus elvet — folyadékba merített elektródok közötti ívkisüléssel létrehozott nyomáshullám alkalmazása munkavégzésre — eredményesen lehetne alkalmazni nyomásos öntvények előállítására. Ez esetben a zárt tartályban elhelyezett, folyékony halmazállapotú fém a hidraulikus közeg, és az elektrohidraulikus folyamat ún. sötét szakaszában expandáló plazma egy nyomászelepen át a kokillába préseli a fémömledéket. Az így elérhető nyomás — a hagyományos présöntőgépekkel biztosítható maximálisan mintegy  $1500 \text{ kp/cm}^2$ -rel szemben — néhányszor  $10^3$  atmoszféra (22-1. ábra), ily módon várhatóan a formakitöltés — különösen bonyolult bordázatú munkadarabok esetén — rendkívül jó.

A 22-2. ábra szerinti öntőkészülék koaxiális elektródelrendezésű, ahol az ömledéket magában foglaló földelt tartály az egyik elektród. A tartályban levő modellfém hevítését egy izzítótranszformátorral valósítottuk meg. Az impulzusgenerátor (az ábrán egyszerűen kondenzátorként jelölve) és az izzítótranszformátor szekunder tekercse azonos (földpotenciálú) ponton kerülnek galvanikus kapcsolatba, így a transzformátor és az impulzusgenerátor egyidejűleg működhet.

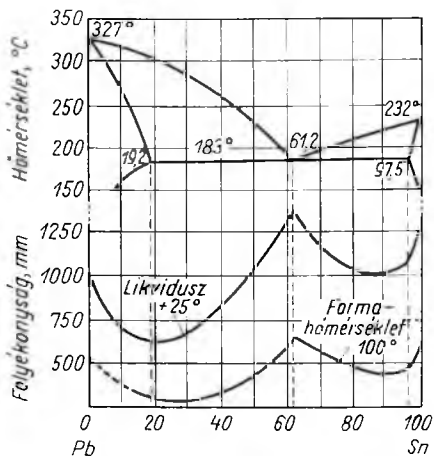
Az elektrodinamikus nyomásos öntési eljárást megvalósító alapgéppel szemben nincsenek különösebb követelmények. Egyetlen megkötöttség van csupán, hogy a



22-3. ábra. Szikraközös elektrohidraulikus alakítógép alapkapcsolása

kondenzátortelep töltése dielektrikummal elválasztott kimeneti kapcsok esetén is biztosítható legyen. Egy ilyen elektrohidraulikus alakítógép elvi kapcsolását mutatja a 22-3. ábra. Az elektrodinamikus nyomásos öntés céljára készített alakítógép — a későbbiekben részletezett okokból — ismétlőautomatikával, valamint a kokilla vákuumozását biztosító, távműködtetett szivattyúrendszerrel van ellátva.

Az elektrodinamikus nyomásos öntés viszonyainak tisztázására modellfémrel végeztünk öntési kísérleteket. A modellfém 50% Sn és 50% Pb tartalmú ötvözet volt. A Pb—Sn ötvözetek állapotábráját és öntéstechnikai szempontból lényeges jellemzőit a 22-4. ábrában foglaltuk össze. Szándékosan nem az egyébként legkedvezőbb öntési tulajdonságokkal rendelkező eutektikus összetételt választottuk, mert az eutektikumnak rendkívül kicsi a dermedési intervalluma. A megdermedt eutektikum felületén a



22-4. ábra. Pb—Sn állapotábra és a Pb—Sn ötvözetek öntéstechnikai jellemzői

kristályosodás rajzolata utólag általában meglátszik és esetenként zavarólag hathat [4], [6].

Kísérleteink folyamán első célkitűzésünk az volt, hogy az elektrodinamikus nyomásos öntés és a hagyományos módszerekkel megvalósított nyomásos öntés formatöltési folyamata közötti egyezéseket, ill. különbségeket meghatározzuk.

A kokilla kitöltési folyamatának elméleti vizsgálatakor a hidraulika törvényeiből kell kiindulni, ugyanis a beöntőcsatornában (megvágásban) és a kokillában a fémömladék a hidraulika törvényei szerint mozog. A beömlő fém a beöntőcsatornából kilépve megtartja eredeti sugárformáját, ha sebessége és nyomása nem változik. Ezen a feltételezésen alapul a kokilla kitöltésének hidraulikai elmélete [2]. Ha a beömlő fémet valamilyen

módon gyorsítjuk (hagyományos eljárás esetén pl. a nyomódugattyú gyorsuló mozgásával), a sugár szétszóródik, ami már a beömlés kezdetekor megakadályozza a levegő eltávozását a kokillából. A megolvasztott fém mozgására érvényes a hidraulika első törvénye, a kontinuitási törvény:

$$v_i f_i = \text{const.} \quad (1)$$

Ugyancsak érvényes a fémömladék mozgására a Bernoulli-törvény is. Bármely viszkózus folyadék valós áramlására igaz, hogy

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \frac{\Delta p}{\gamma}. \quad (2)$$

A nyomásos öntésnél bármely  $p_i$  nyomásra igaz, hogy  $p_i \gg z_i$ , ezért a hidrosztatikai magasságok elhanyagolhatók, és a Bernoulli-egyenlet a következő formában írható fel:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} + \frac{\Delta p}{\gamma}, \quad (3)$$

ahol  $\alpha_1$  és  $\alpha_2$  együtthatók az  $\frac{mv^2}{2}$  a viszkózus folyadék mozgási energiája eloszlásának

változását jelzik a különböző keresztmetszetekben;

$\Delta p$  nyomásesettség az 1 és 2 indexszel jelölt keresztmetszetek között.

Általános esetben a fémömladék mozgása leírható az  $x, y, z$  derékszögű koordináta-rendszerben a Stokes-tétel szerint:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_x}{d\tau} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 v_x; \\ \frac{dv_y}{d\tau} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 v_y; \\ \frac{dv_z}{d\tau} &= -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 v_z; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ahol  $\frac{dv_x}{d\tau}$ ,  $\frac{dv_y}{d\tau}$  és  $\frac{dv_z}{d\tau}$

a sebességkomponensek idő szerinti teljes differenciálhányadosa.

$$\frac{dv_i}{d\tau} = \frac{\partial v_i}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial v_i}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_i}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_i}{\partial z}; \quad (4a)$$

( $i = x, y, z$ ).

$\nabla^2 v_x$ ,  $\nabla^2 v_y$  és  $\nabla^2 v_z$

$$\nabla^2 v_i = \frac{\partial^2 v_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_i}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_i}{\partial z^2}; \quad \text{Laplace-operátorok.} \quad (4b)$$

( $i = x, y, z$ ).

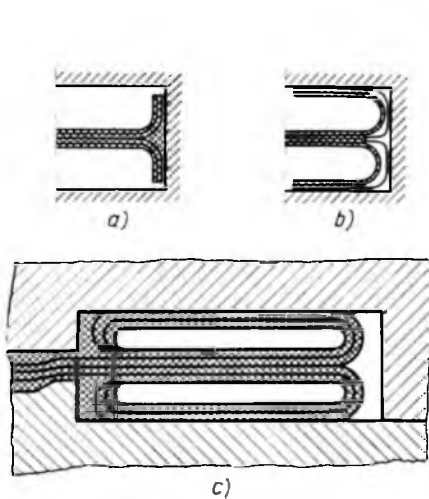
Stokes egyenleteiben a kinematikus viszkozitás  $\nu = \text{const.}$ , azaz a mozgás izotermikus. A továbbiakban a fémömladék mozgását változó viszkozitást feltételezve, a nyomásos öntés valódi körülményeinek megfelelően vizsgáljuk, ezért a kinematikai viszkozitás változása,  $\nu = \nu(t)$  függvényének megfelelően a (4) egyenletrendszer ki kell bővíteni a hőtágulás Fourier—Kirchhoff egyenletével

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\lambda}{c\rho} \nabla^2 t, \quad (5)$$

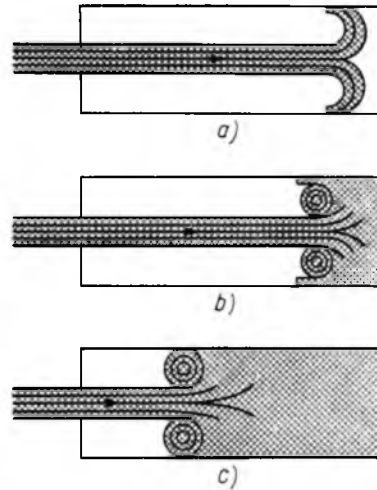
ahol

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{\partial t}{\partial \tau} + v_x \frac{\partial t}{\partial x} + v_y \frac{\partial t}{\partial y} + v_z \frac{\partial t}{\partial z}; \quad (5a)$$

$$\nabla^2 t = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}; \quad (5b)$$



22-5. ábra. Ideális folyadék formatöltési folyamata



22-6. ábra. Valós folyadék formatöltési folyamata klasszikus nyomásos öntés esetén

ahol

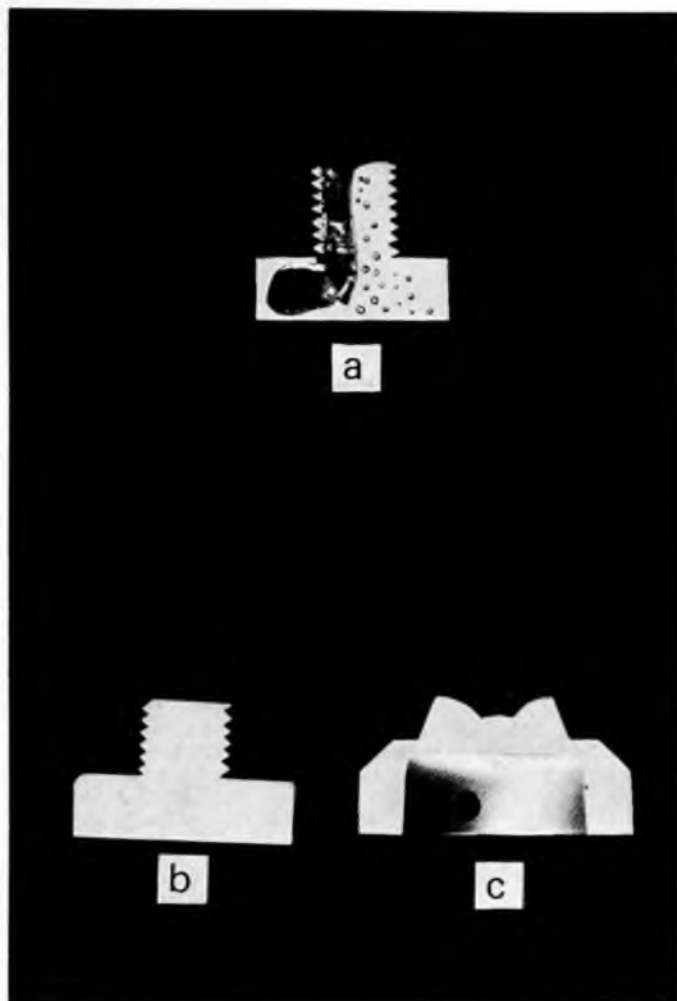
- $t$  a hőmérséklet;
- $\lambda$  a hővezetési tényező;
- $c$  a folyékony fém fajlagos hőtágulása;
- $\rho$  a folyékony fém sűrűsége.

A fenti elméleti alapok felhasználásával állította fel L. Frommer hipotézisét a nyomásos öntés formatöltési folyamatáról ideális folyadékra [1]. Frommer szerint az üregbe belépő fémsugár a beömlőnyílással szemközti határsíkon felütközik és szétterül (22-5a ábra).

A szétterülő fém az oldalfalakig eljutva, azon a beömlés irányával ellentétesen kezd mozogni mindaddig, amíg újabb iránytörést szenvedve és a beömlő sugárral egyesülve zárt körfolyamat nem alakul ki (22-5c ábra). Valós folyadékok, tehát a nyomásos öntés esetében is, a körfolyamat nem tud kialakulni, hanem a kokilla a 22-6. ábra szerint a beömlési iránnyal ellentétesen töltődik fel, az olvadt fém a levegőt maga előtt kitojja.



22-7. ábra. Elektrodinamikus nyomásos öntés formatöltési fázisai



22-8. ábra. Elektrodinamikusan nyomásos öntvények

a) egyszerű öntvény; b) és c) vákuumozott szerszámban utántöltéssel előállított nyomásos öntvény

Sajnos az elektrodinamikusan nyomásos öntés sebesség és nyomásviszonyai lehetővé teszik — ellentétben az egyéb nyomásos öntési eljárásokkal — a zárt körfolyamat kialakulását. A modellfémmel végzett kísérleteink egy-egy fázisát mutató 22-7. ábra tulajdonképpen az 22-5b és 22-5c ábrák megfelelője. A következmény sajnos az, hogy a kokillában majdnem a teljes levegőmennyiség megmarad az áramlásán belül bezárva. Elengedhetetlen tehát a kokilla vákuumozása, aminek viszont további előnye, hogy a fémbe oldott és onnan kiváló gázokat is el lehet így távolítani. A nyomásos öntés másik jellemzője, hogy megfelelő tápfej hiányában fogyási üregek tudnak az öntvény belsejében kialakulni [5]. A megfelelő utánpótlást biztosítja az elektrodinamikusan présöntőgépen alkalmazott ismétlő-automatika, amely bár a műveleti időt

meghosszabbítja, de a szokásos nyomásos öntvénytől eltérő, teljes értékű öntvény létrehozását teszi lehetővé. A 22-8a ábra egy lövéssel, nem vákuumozott kokillában készült öntvényt mutat. A felvételen igen jól megfigyelhetők a gázzárványok és a fogyási üreg. A 22-8b és a 22-8c ábra jó minőségű, elektrodinamikus nyomásos öntvények metszetét mutatja.

Az elektrodinamikus nyomásos öntés a tárolható energia korlátozott volta miatt várhatóan csak a néhányszor 10 cm<sup>3</sup> térfogatú darabok előállításáig terjeszthető ki. Az ismertetett előnyös tulajdonságai alapján a hagyományos nyomásos öntvényekkel szemben kétségtelen előnyei vannak, ily módon tömeggyártásban való alkalmazása a gép- és villamosipar számos területén reálisan várható.

### Irodalom

- [1] *Frommer, L.—Liby, G.*: Druckgiess — Technick. Berlin, 1965.
- [2] *Belopuhov, A. K.*: Technologicseszkije rezsimi, lityja pod davljenijem. Moszkva, 1967.
- [3] *Brunhuber, E.*: Moderne Druckgussfertigung. Berlin, 1963.
- [4] *Sáfár L.*: Elméleti megfontolások gyakorlati alkalmazása az öntészetben. Budapest, 1964.
- [5] *Veinyik, A. J.*: Tyeplovije osznovi tyeorii lityja. Moszkva, 1961.
- [6] *Harocops, B.—Fisher, T. P.*: The Technology of Grawity Die Casting. London, 1967.



## Kis- és középteljesítményű villamos járművek fejlesztési kérdései

*BALOGH ISTVÁN—BENEDEK MIKLÓS—PATAKI EÖRS*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk ismerteti a Villamosipari Kutató Intézetben a 30 kW teljesítményen belüli villamos járművek kifejlesztésére irányuló, 5 éve folyó, komplex tevékenységet és az elért eredményeket. Számpéldán keresztül feltárja a villamos járművek tervezése során felmerülő problémákat és megoldási lehetőségeket mutat be a szerkezeti részekre is.

### ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТА МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

*И. Балог—М. Бенедек—Э. Патаки*

#### Резюме

Статья ознакомляет читателя с комплексной деятельностью и достигнутыми результатами работ, проводимых уже пятый год в Научно-Исследовательском Институте Электрической Промышленности в области разработки электрических средств транспорта с мощностью до 30 кВт.

На численных примерах знакомят с проблемами, появляющимися при проектировании электрических средств транспорта и указывают на возможные решения.

### ENTWICKLUNGSFRAGEN VON ELEKTRISCHEN FAHRZEUGEN KLEINER UND MITTLERER LEISTUNG

*I. Balogh—M. Benedek—E. Pataki*

#### Zusammenfassung

Im Aufsatz wird über die vor 5 Jahren angelaufene komplexe Entwicklung der elektrischen Fahrzeuge mit einem Leistungsbedarf bis 30 kW im Forschungsinstitut der Elektroindustrie berichtet, und auch die Ergebnisse werden aufgezeigt. Durch Zahlenbeispiele werden die Probleme bei der Projektierung von elektrischen Fahrzeugen dargestellt und es werden Lösungsmöglichkeiten vorgeschlagen.

### DEVELOPMENT OF LOW AND MEDIUM-POWER ELECTRIC VEHICLES

*By I. Balogh—M. Benedek—E. Pataki*

#### Summary

Account is given in the paper of the last 5 years' complex activity of the Research Institute of the Electrical Industry aimed at, and the results achieved in, the development of electric vehicles with rated powers below 30 kW. Numerical examples illustrate the problems encountered in the design of electric vehicles, and possible solutions are suggested.

## 23-1. táblázat

## Villamos járművek összesített adatai

A kocsi típusa és a kifejlesztő cég	Bemutatás éve	Utasszám	Kocsisúly, A, kg	Telep	Motor
1. Renault Dauphine, Henney Kilowatt Eureka Williams Corp.	1962 előtt	4	1000	ólomakkumu- látor 72 V 115 Ah	kommutátoros egyenáramú motor
2. B. M. C. Minitraveller I. Electricity Council London AEI Ltd.	1966 előtt	2	1150	ólomakkumu- látor 96 V, 66 Ah, 36 kg	7,5 kW 96 V
3. B. M. C. Minitraveller II. Electricity Council London Telearchics Ltd.	1966 előtt	2	1060	ólomakkumu- látor 64 V, 105 Ah, 375 kg	kettő pár- huzamosan 64 V, 2,25 kW
4. Scamp Scottish Aviation Ltd.	1966 előtt	2	450	ólomakkumu- látor 48 V, 105 Ah, 155 kg	kettő sorosan
5. Electrovair I. General Motors	1966 előtt	5		cinkezüst 450 V, 60 Ah	indukciós 86 kW, 13 000 1/min
6. Electrovair II. General Motors	1966 okt.	5	1550	cinkezüst 530 V, 60 Ah, 304 kg	indukciós 86 kW, 13 000 1/min
7. Daihatsu Compagno Kansai, Elec. Power Co. Japan Storage Batt Co. Daihatsu Kogyo Co. Nippon Yusaki Co.	1966 nov.	2	1000	ólomakkumu- látor 84 V, 120 Ah	5 kW, 80 V, 80 A 2900 1/min
8. Corona Van 1200 Chubu Elec. Power Co. Yuasa Batt. Co. Shinko Denki Co.	1966 dec.	4	1750	Ni-Cd, 96 V, 120 Ah	6 kW, 80 V, 89 A, 2300 1/min

Feszültség- szabályozás	Max. tárolható energia, B, kWh	B/A Wh/kg	Sebesség, km		Hatótávolság, km	Hegymászó képesség	Vissza- tápláló fékezés
			csúcs	opti- mum			
kontaktor	8,3	8,3	48 – 64		65,6		nincs
időarány	6,3	5,2	65,5		57,5 48 km/h mellett	1 1 : 6	van
szénoszlop	6,72	6,35	64		45		nincs
szénoszlop	5	11	56		24 32	1 1 : 4	nincs
modulátor és inverter	21,5				64		nincs
modulátor és inverter	25,4	13,9	128		120 km, 48 km/h		nincs
időarány	10,1	10,1	70	50	80	10 km/h 1 1 : 4, 45 km/h 1 1 : 20	van
időarány	11,5	6,6	79,5	47,7	89	22 km/h 1 1 : 6 50 km/h 1 1 : 20	van

23-1. táblázat folytatása

A kocsi típusa és a kifejlesztő cég	Bemutatás éve	Utasszám	Kocsisúly, A, kg	Telep	Motor
9. Mitsubishi 360 Van Tokyo Electric Power Co. Japan Storage Battery Co. Mitsubishi Jycogyo Co. Mitsubishi Elec. Mach. Co.	1966 dec.	2	900	ólomakkumulátor 96 V, 80 Ah	5,5 kW, 90 V, 80 A, 5550 1/min
10. 1962 Caball Light Van, Yuasa Batt. Co.	1966 dec.	2	2280	ólomakkumulátor 80 V, 400 Ah	7,9 kW, 63 V, 2400 1/min
11. Toyota Publica Van Tokyo Shibaura Elec. Co. Ltd.	1967	2	910	ólomakkumulátor 226 kg	kefe nélküli tirisztoros kommutátor 20 kW, 2000 1/min
12. Renault R10 Mars II. Electric Fuel Propulsion	1967	4	1850	ólom-kobalt 120 V, 240 Ah, 880 kg	11 kW, 100 kg
13. Markette Westinghouse Electric Co.	1967 ápr.	2 felnőtt, 2 gyermek	795	ólomakkumulátor 72 V; 12 Wh, 0,45 kg 350 kg	két db 3,4 kW, 36 V, 20 kg
14. Comuta Ford of Britain Ford of USA	1967 jún.	2 felnőtt, 2 gyermek	700	ólomakkumulátor 48 V, 120 Ah, 144 kg	két db 3,75 kW, 24 V, 17 kg
15. Test car General Electric Co.	1967 okt.	2	1050	Ni-Cd, és ólom- akkumulátor 415 kg	egyenáramú kommutátoros
16. Prototype, Rowan Controller, Ghia SpA. De Tomaso Automobili	1967 nov.	4	610	ólomakkumulátor 48 V, 150 Ah, 250 kg	két db kompaund 11 000 1/min 2,25 kW

Feszültség- szabályozás	Max. tárolható energia, B, kWh	B/A Wh/kg	Sebesség, km		Hatótávolság, km	Hegymászó képesség	Vissza- tápláló fékezés
			csúcs	opti- mum			
időarány	6,7	7,5	74,6	59,5	94,5	12 km/h 1 1 : 4 20 km/h 1 1 : 8	van
időarány	32	14	64,6	39,6	160	20 km/h 1 1 : 7 45 km/h 1 1 : 20	van
időarány	7,5 15 Wh/ 0,453 kg-nál	8,25	100		80	1 1 : 5 1 1 : 5	van
kontaktor	28,8	15,5	96		190 48 km/h esetén		van
ellenállás—idő- arány tetszés szerint	9,5	12	40	40	80		nincs
időarány	5,8	8,25	64	44,8	60 40 km/h esetén		nincs
különféle szilárdtest típus	14	13,3	88	48,5	160 . . . 190 48 . . . 56 km/h esetén		nincs
kontaktor	7,2	11,8	72				van

23-1. táblázat folytatása

A kocsi típusa és a kifejlesztő cég	Bemutatás éve	Utasszám	Kocsisúly, A, kg	Telep	Motor
17. US Army Engin. Research and Development Laboratories	1967	(hasznos teher) 0,75 t tehergépkocsi		4 db 5 kW-os üzemanyagcella (hidrazin)	egyenáram soros
18. Toshiba Tokio-Shibaura: Electric Co.	1968	4		ólomakkumulátor-telep	27 LE kommutátoros motor
19. Delta Electric Car. General Electric	1968	2 felnőtt 3 gyerek	1150	ólom és Ni-Cd hibr. 72 V	11 LE egyenáramú soros
20. The Amitron Motors and Gulton Industries	1968	3 személy		Li-Ni-fluorid akkumulátor-telep és Ni-Cd tüzelőanyagcella, hibrid	egyenáramú soros
21. Hospedit VKI	1969	3 személy	440	ólomakkumulátor telep 48 V, 80 Ah	egyenáramú, soros, 2 db, 1,2 kW
22. The Enfield 465	1970	2 felnőtt, 2 gyerek		ólomakkumulátor telep 48 V, 210 kp, Oldham typ.	egyenáramú soros, 4,6 LE 2200 l/min
23. Tiny 70 VKI	1970	2 felnőtt, 2 gyerek	870	ólomakkumulátor telep, 86 V, 135 Ah	egyenáramú soros, 2 db, 4 kW
24. Dornier Delta II. E	1972	4 személy 330 kg	1260	ólomakkumulátor 80 V, 150 Ah	egyenáramú soros, 6,7/14,8 kW, 6000 l/min 33 kg
25. VW, Elektro transporter	1972	1000 kg	3300	ólomakkumulátor 144 V, 180 Ah	külső gerjesztésű egyenáramú motor 22/44 kW

Feszültség- szabályozás	Max. tárolható energia, B, kWh	B/A Wh/kg	Sebesség, km		Hatótávolság, km	Hegymászó képesség	Vissza- tápláló fékezés
			csúcs	opti- mum			
időarány			75	50			nincs
időarány			100	50	80		nincs
időarány			88	60	160		nincs
időarány				80	240		nincs
időarány			18	6...8	40	15%	nincs
soros parallel- telep kapcs. + gerj. kapcs.			64	45	55		nincs
időarány	11		55	48	60...80	15%	van
időarány 280 Hz	12		60	40	60...70	15%	—
időarány	26		80	40	60...105	21%	—

A világ nagyvárosaiban közlekedő gépjárművek kipufogó gázai kedvezőtlen időjárási viszonyok mellett nem egy esetben közvetlen tragédiákat okozó füstködöt alkotnak. Közismert tény a nagyvárosi zaj egészségkárosító hatása is. E humán tényezőkön túlmenően a speciális villamos gépjárművek fejlesztését a következő tények is indokolják. A városi forgalomban részt vevő 4—5 férőhelyes személygépkocsik legtöbb esetben 1—2 személyt szállítanak. A gépjárművek számának növekedésével romlik az utak személyátbocsátó képessége, egyre növekvő parkolási gondokkal kell megküzdeni. A személygépkocsikat 100 km/h feletti végsebességre tervezik, ami meghatározza a karosszéria alakját és robusztus futóműveket, nagy teljesítményű motort, valamint a sebesség négyzetével növekvő mozgási energia felemésztésére alkalmas fékberendezést kíván. E tényezők az országúti forgalomban érvényesülnek, a városban elérhető 35...40 km/h és az engedélyezett 60 km/h maximális sebesség mellett nincsenek kihasználva. Mindezek miatt szükségesnek látszik egy zajtalan, nem füstölő, kis helyet foglaló, jól gyorsuló, kényelmes ki- és beszállást biztosító városi autó létrehozása, s ez a villamos autó lehet.

Intézetünk — felismerve a villamos járművek eljövendő szerepét a városi közlekedés fejlesztésében — már 1968-ban elindította a kis és közép teljesítményű villamos járművek komplex fejlesztését.

Sokan közbevetnék, hogy a villamos autó nem mai találmány. Az autózás hőskorában valóban számos villamos autó közlekedett, sőt az akkor bűvös 100 km/h sebességet villamos járművel lépték át először. A belső égésű motorok fejlődése akkor megállította a villamos autók elterjedését, a postai csomagszállításra, árukihordásra, belsőtéri áruszállításra azonban azóta is használnak akkumulátoros járműveket.

A villamos járművek újkori fejlesztését az 1960-as évektől számíthatjuk. Szerte a világon igen sok kísérleti járművet építettek. Ezek jellemző adatait az 23-1. táblázatban foglaltuk össze. A kísérletek két irányt követnek. Egyik irány követői olcsó, túlnyomórészt hagyományos elemekkel felépített, maximálisan két felnőttet és két gyermeket, vagy csak két felnőttet szállító városi járműveket építettek. Ez a törekvés főleg az európai és a japán kísérleteket jellemzi. Egyes amerikai kísérletekben, a modern technika vívmányait felhasználva, a belső égésű motorral hajtott országúti nagykocsi jellemzőit fedezhetjük fel. Az első elgondolás szerinti járművek közül több sorozatgyártásra került — pl. az Enfield és a Ford Comuta —, a többi, nagykocsival végzett kísérlet viszont csak műszaki érdekesség maradt.

Nagyszámú kísérletet elemezve megállapítható, hogy az energiatárolás gazdaságos megoldásának ma még a hagyományos ólomakkumulátort lehet tekinteni, bár a különböző primer elemek, nátrium—kén akkumulátor és a tüzelőanyagcellák fejlesztése terén is eredményeket érnek el. A villamos hajtómotor soros gerjesztésű egyenáramú motor. A motor veszteségmentes fordulatszám-szabályozását tirisztoros szaggatóval oldják meg rekuperációs fékezéssel kombinálva vagy anélkül. A villamos motor a vele egybeépített hajtómű közbeiktatásával a hátsó két kereket hajtja, de megvalósították a két hátsó kerék egymástól független motorról láncsal vagy fogazott szíjjal való hajtását is.

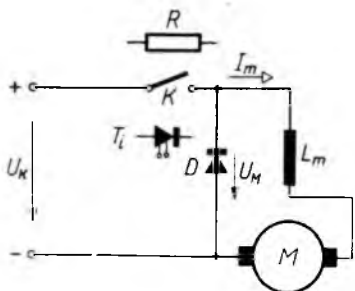
A karosszériát a kényelmes ki- és beszállási lehetőség, a körültekintést biztosító ablakok, valamint az akkumulátor helyszükségletét, súlyát és kezelhetőségét figyelembe vevő kialakítás jellemzi.

Az Intézetünkben meginduló fejlesztőmunka első állomásának egy kis méretű városi autó, a TINY megalkotása tekinthető, amely részben a villamos autónak kívánt híveket szerezni, részben pedig a járműszerkesztési és kivitelező munkával párhuzamosan fejlesztett tirisztoros szaggatóáramkörök üzemi körülmények közötti kipróbálását célozta.

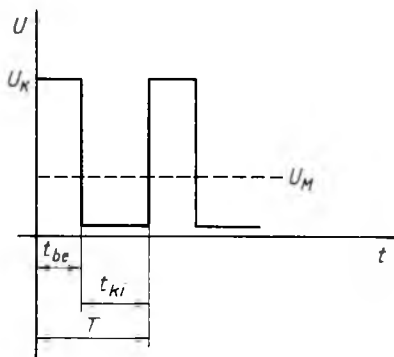


Az egyenáramú motor tirisztoros szaggatóval megvalósítható közel veszteségmentes fordulatszám-vezérlése az egyik új lehetőség a villamos autók akkumulátorai-ban tárolt energia jobb hasznosítására.

Mint ismeretes, az egyenáramú motor fordulatszám-vezérlése változó kapcsoló-feszültségről való táplálással történhet [1], [2]. A közel állandó feszültségű akkumulátortelepről ez úgy lehetséges, hogy az akkumulátor és a motor kapcsai közé ellenállást iktatunk be. A motor árama keresztülfolyik az ellenálláson, így a motorra a tápfeszültség és az ellenállásra eső feszültség különbsége jut. Az ellenálláson  $I^2R$  veszteségi teljesítmény disszipálódik. A veszteség akkor lehet zérus, ha az ellenállás értéke



23-1. ábra. Szaggatóáramkör elvi kapcsolási vázlata



23-2. ábra. A szaggatóáramkör kimeneti feszültség—idő függvénye

$R=0$ , vagy  $R= \infty$ , ugyanis ekkor  $I=0$ . Ezt megvalósíthatjuk, ha az ellenállás helyére egy ideális kapcsolót iktatunk be, amely nyitott helyzetben szakadást, zárt helyzetben rövidzárat képvisel. A bekapcsolás ideje alatt ( $t_{be}$ ) az akkumulátor teljes kapcsoló-feszültsége a motorkörre jut. A kapcsoló nyitásakor a motorkörben levő induktivitáson indukálódott ellenelektromotoros erő a szabadonfutó diódán keresztül fenn-tartja a motor áramát a kikapcsolás ideje alatt ( $t_{ki}$ ). A ki- és bekapcsolást periodikusan ismételve a motorra jutó feszültség középértéke kisebb, mint az akkumulátor kapcsoló-feszültsége:

$$U_M = U_K \frac{t_{be}}{t_{be} + t_{ki}}$$

Az  $\frac{1}{t_{be} + t_{ki}}$  hányadost kapcsolási frekvenciának, a  $\frac{t_{be}}{t_{be} + t_{ki}}$  hányadost kitöltési tényezőnek nevezzük. A kitöltési tényező a motorra jutó feszültség és a tápfeszültség értéke közötti áttételi viszonyt fejezi ki.

A  $K$  kapcsolót tirisztorral helyettesítve közel veszteségmentes szaggatóáramkört kapunk. A tirisztor kikapcsolt állapotban kis maradékáram, bekapcsolt állapotban kis maradékfeszültség jellemzi. Az egyenáramú szaggatók fő problémája a kapcsolótirisztor áramának megszüntetése, a kapcsoló újra szigetelő állapotba hozása, amelyet egy segédáramkörrel, az ún. oltókörrel oldanak meg. Az oltókör segéd-tirisztor a egy feltöltött kondenzátortelepet kapcsol párhuzamosan a terhelőáramot vezető fő tirisztor anód—katód pontjára oly módon, hogy a tirisztor anód—katód pontja záróirányban legyen előfeszítve a tirisztorra jellemző szabadbá válási ideig. A tirisztor árama a tartó-

áram értéke alá csökken, a tirisztor visszanyeri nyitóirányú záróképességét. A szokásos szaggató áramkörökben a kondenzátortelep közel egyszeres tápfeszültségre töltődik fel. A feltöltődés mértéke a terhelőáram növekedésével csökken. A tirisztor áramának oltásához szükséges minimális kondenzátorkapacitás a következő összefüggésből határozható meg:

$$C \equiv \frac{I_t t_{\text{off}}}{U_C}$$

ahol  $C$  a kondenzátortelep kapacitása;

$I_t$  a terhelőáram;

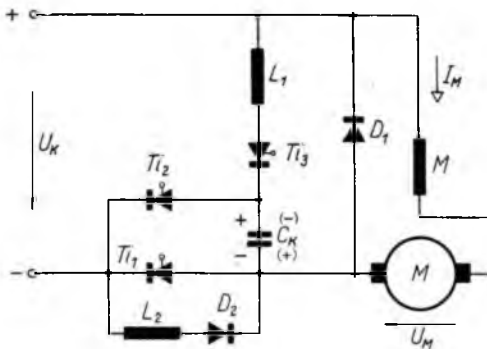
$t_{\text{off}}$  a tirisztor szabaddáválási ideje;

$U_C$  a kondenzátortelep feszültsége.

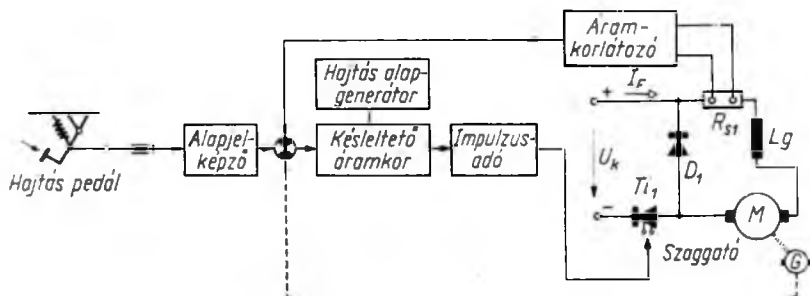
A kis- és középteljesítményű villamos járművek akkumulátortelepének kapcsolásfeszültsége az esetek többségében 100 V alatt van (24 V, 40 V, 80 V). Ilyen kis kapcsolásfeszültség mellett a szaggató oltókörében nagy kapacitású kondenzátortelepet kell alkalmazni, amelyet nagy geometriai méretei miatt kényelmetlen elhelyezni. Ahhoz, hogy induláskor elegendően kis kitöltést tudjunk biztosítani, 100 Hz alatti kapcsolási frekvenciát kell választanunk. Az alacsony kapcsolási frekvencia a motorkörben az áram hullámosságát megnöveli; hogy ezt elkerüljük, járulékos induktivitást kell az armatúrákörrel sorbakötni, ami többletsúlyt, többletköltséget jelent. A hagyományos szaggatóknál a kis feszültségen fokozottabban jelezhető hátrányok elkerülésére egy háromtirisztoros szaggatóáramkört fejlesztettünk ki.

A szaggató vezérlése a következők szerint történik. A  $Ti_1$  főtirisztor és a  $Ti_3$  segédtirisztor egyszerre gyújtjuk. Ekkor a terhelést az akkumulátortelepre kapcsoljuk, valamint a  $+$ ,  $L_1$ ,  $Ti_3$ ,  $C_k$ ,  $Ti_1$  – rezgőkörben megindul a kondenzátortelep feltöltődése. A  $C_k$  kondenzátor feszültsége egy félperiódus alatt a  $+$ ,  $-$  akkumulátorkapcsok feszültségének kétszeresére növekszik az ábrán a  $C_k$  kondenzátor fegyverzetein jelzett, zárójel nélküli polaritással. A rezgőkörben az áram iránya nem tud megfordulni, a  $Ti_3$  tirisztor anód–katód pontjára záróirányú feszültség jut,  $Ti_3$  lezár. A  $Ti_3$  nyitóirányú záróképességének visszatérése után a  $Ti_1$  főtirisztor már oltható. A  $Ti_2$  segédtirisztor és azon vezérlése a  $C_k$  kondenzátor párhuzamosan kapcsolódik a  $Ti_1$  főtirisztorral és azon záróirányú áramot hajt át. A  $Ti_1$  főtirisztor kialszik. A  $C_k$  kondenzátor átveszi a motor  $I_M$  áramát, valamint a  $C_k$ ,  $Ti_2$ ,  $L_2$ ,  $D_2$  rezgőkörben a kondenzátor töltése átlendül. A  $C_k$  kondenzátor feszültsége először nullára csökken, majd a kondenzátor kapcsain zárójelben jelzett polaritású feszültségre töltődik. A  $D_1$

dióda nyitásának pillanatában az  $L_2$  induktivitásban tárolt elektromágneses energia a  $-$ ,  $L_2$ ,  $D_2$ ,  $D_1$ ,  $+$  áramkörben visszatáplálódik az akkumulátorba. A főtirisztor kikapcsolása után az  $I_M$  motoráram a  $D_1$ ,  $L_M$ ,  $M$  körben folyik. A  $Ti_1$  és  $Ti_3$  tirisztorokat újból egyszerre gyújtva a  $C_k$  kondenzátor zárójeles polaritású feszültsége hozzáadódik az akkumulátor  $U_k$  kapcsolásfeszültségéhez. Így a  $C_k$  kondenzátor feszültsége a háromszoros  $U_k$  kapcsolásfeszültség értékére lendül át a kondenzátor fegyverzetein zárójel nélkül jelölt polarításra. A következő periódusokban a  $C_k$  konden-



23-3. ábra. Két átlendítőkörös szaggatóáramkör kapcsolási vázlata



23-4. ábra. A fordulatszám-szabályozó kör hatásvázlata

zator feszültsége a háromszoros kapocsfeszültség értékénél nagyobb feszültségre már nem növekedhet, mert a kondenzátor többletenergiája az  $L_2$  induktivitás segítségével minden esetben visszatáplálódik az akkumulátorba akkor is, ha az  $I_M$  motoráram zérus lenne. A szaggatóáramkör vezérlésének indítása a  $Ti_2$  segédtrisztor gyújtásával is kezdődhet. Mint láttuk, a szaggató a motorkörtől függetlenül is működhet, így a motoráram zérus értékű is lehet. Az oltókondenzátor feszültsége a tápfeszültség közel háromszorosára növekszik, így a kondenzátortelep körülbelül harmadakkora kapacitású lehet, mint a szokásos szaggatók esetében. A kondenzátorteleknek a motorkörtől független átlendülése lehetővé teszi a néhány százalékos kezdeti és a 95...96%-os végkitöltés elérését. A szaggató nagyobb feszültségű (100 V feletti) akkumulátortelephez is alkalmazható oly módon, hogy az  $L_1$  induktivitást nem a teljes tápfeszültségre, hanem az akkumulátortelep megcsapolására kötjük. Az akkumulátorba visszatáplált áram középértéke egy 80 V-os, 200 A-es szaggató esetén 5...6 A értékű. A visszatáplálás kismértékben javítja az akkumulátor Ah-hatásfokát.

A fordulatszám szabályozására egységes rendszert fejlesztettünk ki 300 W-tól 30 kW teljesítménytartományra. A szabályozás blokkismáját a 23-4. ábrán mutatjuk be. Az alapjelképző potenciométert a benzinüzemű autó gázpedáljának megfelelő gyorsítópédállal állítjuk be. Az alapgenerátor állandó frekvenciával indít egy késleltető áramkört, amelynek késleltetését az alapjel és az árammal arányos visszacsatolt jel különbsége határozza meg. Az impulzusadó az indítójellel és a késleltetett jellel egyidejűleg kiadott impulzusokkal ellenütemben vezérli a trisztoros szaggatóáramkör fő- és segédtrisztorait. A sebesség — közvetve a fordulatszám — szabályozása nem automatikus, a volán mellett ülő személy a sebességszabályozó kör tagja. Épületen belül közlekedő, pontos beállítást igénylő járművek esetén célszerű külső gerjesztésű motort alkalmazni, vagy ezen kívül, a vezető tehermentesítésére a fordulatszám arányos negatív visszacsatolást alkalmazni.

A továbbiakban szeretnénk bemutatni a HOSPEDIT és a TINY 70 elnevezés járműveinket, valamint a Jászberényi Aprítógépgyár üzemcsarnokába készített pályakocsit. Mindhárom jármű fordulatszám-szabályozása az ismertett három trisztoros szaggatóval és szabályozókörrrel készült.

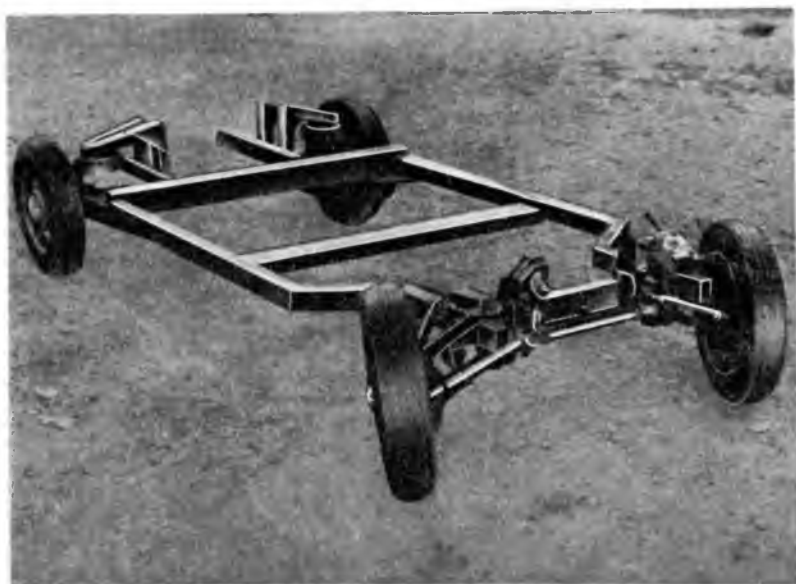
A HOSPEDIT egy kis sebességű, belsőtéri szállítójármű kórházi betegszállító változata, sebessége 0...8 km/h között változtatható (23-5. ábra). Hajtását két 1,2 kW-os külső gerjesztésű egyenáramú motor szolgáltatja. Az energiátárolás Ky típusú ólomakkumulátorban történik (60 V, 86 Ah).

Szerkezeti jellemzői:

- acéllemez karosszéria;
- keresztartós, szimmetrikus, hegesztett alvázkeret (23-6. ábra);



23-5. ábra. „Hospedit” kórházi villamos jármű



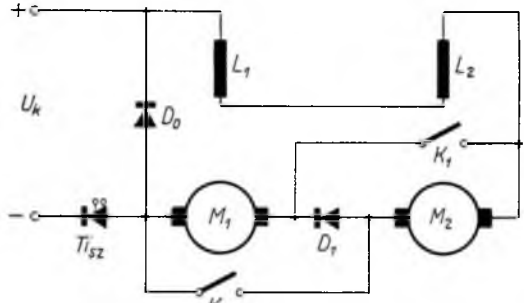
23-6. ábra. „Tiny 70” villamos jármű alvázkerete

- független kerékfelfüggesztés gumirugózott hossz-lengőkarokkal;
- a két hátsó féltengelyt a két 1,2 kW-os, külső gerjesztésű egyenáramú motor ékszij- és láncáttétellel hajtja meg;
- fogasléces kormánygép osztott nyomtávrudakkal.

Az akkumulátortelep 8 órasi kórházi üzemet biztosít.

A TINY 70 közúti személyszállító jármű (1. 18—12. ábra) sebességét 0...65 km/h tartományban vezérelhetjük. A jármű energiaforrása Ky jelű telep (80 V, 135 Ah).

Feltöltött akkumulátorteleppel a városi forgalomban 60...80 km távolság futható be. A járművet két 4 kW-os soros motor hajtja. A főáramkörü motor armatúráját egy, a vezető által könnyen kezelhető karral menet közben soros üzemből párhuzamos üzembe kapcsolhatjuk át, ill. vissza, kihasználva a soros üzemben adódó nagyobb indítónyomatékot és a párhuzamos üzemben adódó nagyobb végsebességet (23-7. ábra). A forgásirányváltás a gerjesztés irányának megfordításával történik. A kocsi szerkezeti jellemzői a következők:



23-7. ábra. „Tiny 70” hajtómotorjainak soros—párhuzamos átkapcsolásai

- poliészter karosszéria;
- kereszttartós, szimmetrikus, hegesztett alvázkeret;
- független kerékfelfüggesztés;
- láncáttétel a motorok és a két hátsó féltengely között.

A Jászberényi Aprítógépgyár felkérésére az Aprítógépgyár üzemcsarnokában alkalmazott pályakocsit villamos hajtással szereltük fel. A pályakocsi hajtómotorja 8,3 kW-os, 1000 ford/min fordulatszámú, vegyes gerjesztésű egyenáramú motor. Az energiát 80 V-os 200 Ah-ás bolgár járművontató telepben tároltuk. A pályakocsi sebességét a kocsi platójára szerelt vezetőülésből 0...4 km/h sebességtartományban szabályozhatjuk; ellenállásos villamos fékezést alkalmaztunk. A pályakocsi önsúlya 3 t, teherbírása 20 t.

A TINY 70 akkumulátoros személyautóra vonatkozó gazdaságossági számítások azt mutatják, hogy a villamos autó fenntartása olcsóbb, mint egy benzinüzemű személyautóé, ugyanakkor a vételár kb. 1,5...2-szerese egy személyautó vételárának. A villamos személyautó városra korlátozott hatótávolsága szintén csökkenti a járművek iránti érdeklődést. Valószínűleg az érdeklődés akkor növekedik majd, ha családönként legalább két gépjárművel rendelkeznek.

Igen elterjedtek a városi forgalomban az 1...1,5 t teherbírású kis teherautók. Ezeket a gépjárműveket a városi üzlethálózat áruval való ellátására, postai csomagkihordásra fejlesztették ki. Tipikus városi járművek, jó körülméktől biztosító, nagy szélvédő üveggel, 100 km/h végsebességgel. A sütőiparban és a postánál nyert tapasztalatok szerint ezeknek az autóknak kis százaléka vesz csak részt városon kívüli forgalomban. A városon belül egy nap alatt 40...50 km-t futnak be. Mindezen tényezők arra ösztönöznek, hogy a villamos járművek között először ezek a kis teherautók terjedjenek el. Intézetünk az 1973-as évi fejlesztési tervébe felvette a Barkas B 1000 típusú NDK gyártmányú autó villamosítását.

Kövessük végig ezen a járművön a villamos járművek fejlesztési problémáit. A villamosított B 1000 típusnak a következő adatokkal kell rendelkeznie:

- végsebesség: 50 km/h,
- súly (átlagos terheléssel): 2500 kp,
- gyorsulás: 1,6 m/s<sup>2</sup>,
- hatótávolság: 60...80 km.

A kocsit 2%-os lejtőn sebességváltozás nélkül tartsa az 50 km/h sebességet. Első lépésként a kocsi dinamikai méretezéseit végezzük el [3]. A vonóerő-szükségletet a gördüléllenállás, a légellenállás, a lejtő emelőellenállása és a gyorsításhoz szükséges vonóerő összege adja. A gördüléllenállás:

$$F_g = fG = 2500 \cdot 0,015 = 37,5 \text{ kp},$$

ahol  $G$  a kocsi súlya;

$f$  a gördüléllenállási tényező sima beton úton.

A légellenállás:

$$F_1 = 47 \cdot 10^{-4} \cdot c_A v^2 = 47 \cdot 10^{-4} \cdot 0,65 \cdot 2,53 \cdot 50^2 = 19,3 \text{ kp},$$

ahol  $C$  a gépkocsi alakjától függő formatényező,  $A$  a gépjármű homlokfelülete.

A 2%-os lejtő emelőellenállása:

$$F = G \sin \alpha = 2500 \cdot 0,02 = 50 \text{ kp},$$

ahol  $\alpha$  a lejtő szöge (kis szögek esetén  $\alpha \approx \sin \alpha \approx \text{tg } \alpha$ ). A 2%-os lejtőn az 50 km/h sebességhez szükséges menetteljesítmény:

$$P = \frac{Fv}{270} = \frac{(F_g + F_1 + F)v}{270} = \frac{(37,5 + 19,3 + 50)50}{270} = 19,8 \text{ LE}.$$

A hajtómű hatásfokát  $\eta = 0,9$ -re választva a szükséges motorteljesítmény:

$$P_m = \frac{P}{\eta} = \frac{19,8}{0,9} = 22 \text{ LE} = 16,2 \text{ kW}$$

A motorteljesítményt 17 kW-ra választjuk. A hajtómű áttételei közül a második fokozatot alkalmazzuk, amely a keréktengely és a motortengely között 12,8-es módosítást biztosít. A motor fordulatszámja 50 km/h sebesség esetén:

$$n_m = \frac{v \cdot 30b}{3,6 \cdot R_g \pi} = \frac{50 \cdot 30 \cdot 12,8}{3,6 \cdot 0,309 \cdot 3,14} = 5500 \text{ ford/min},$$

ahol  $b$  a módosítás;

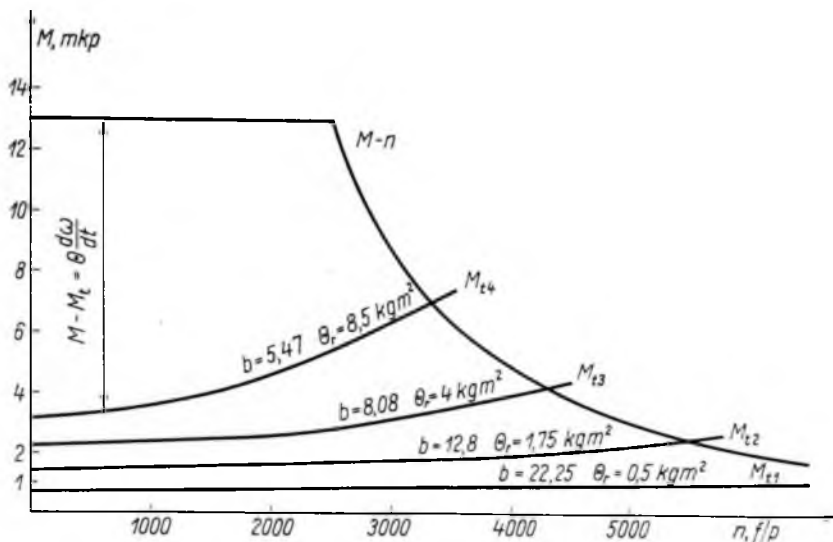
$R_g$  a kerék sugara.

A motor indítónyomatékát az előírt gyorsulást biztosító vonóerő és a gördüléllenállás figyelembevételével határoztuk meg:

$$F_{gy} = ma = 2500 \cdot 1,6 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4000 \text{ N}.$$

Az indítónyomaték:

$$M_i = \frac{(F_{gy} + F_g)R_g}{b\eta} = \frac{(408 + 37,5) \cdot 0,309}{12,8 \cdot 0,9} = 120 \text{ Nm}.$$



23-8. ábra. Villamosított Barkas B 1000 villamos motor nyomatékának és a motor tengelyére redukált terhelőnyomatékának a fordulatszámfüggése az 1., 2., 3., 4., sebességfokozatokban

A motor kiválasztásakor figyelembe kellett venni, hogy a motort a robbanómotor helyére szereljük és a jármű szerkezetén nem szeretnénk változtatni. Ennek megfelelően a motor jellemzői: 5500 ford/min (max. 7200 ford/min), 17 kWh-s teljesítmény és 33 kW csúcsteljesítmény, a motor tömege 100 kg. A motor nyomaték—fordulatszám jelleggörbéjét és a motor tengelyére redukált terhelőnyomaték -fordulatszám jelleggörbét [2] a 23-8. ábrán mutatjuk be. A jármű mozgásegyenlete:

$$M - M_t = \Theta_r \frac{d\omega}{dt}$$

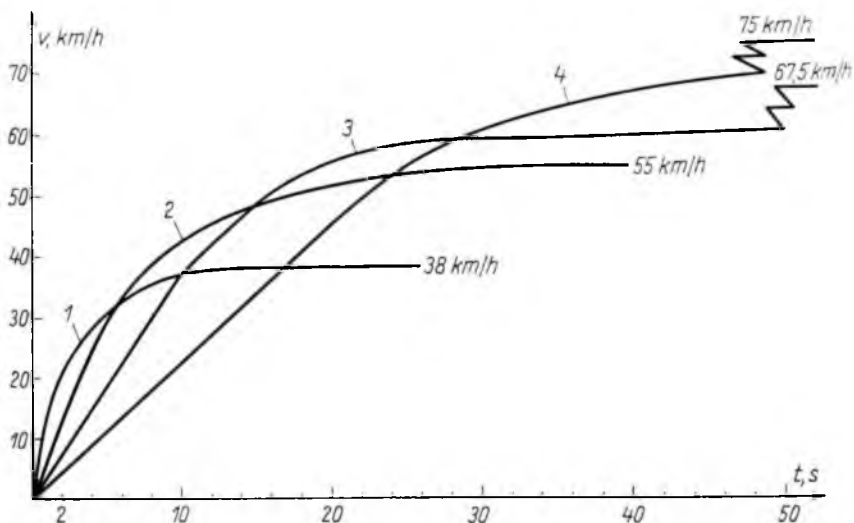
ahol  $\Theta_r$  a motor tengelyére redukált tehetetlenségi nyomaték;  $\omega$  a szögsebesség. A mozgásegyenletből meghatározzuk a fordulatszám—idő, illetve a sebesség—idő függvényét. Az  $\omega_1$  szögsebességről  $\omega_2$ -re való felgyorsításhoz szükséges idő:

$$t_{1,2} = \frac{\Theta_r(\omega_1 - \omega_2)}{M - M_t}$$

A sebesség—idő függvényeket a 23-9. ábrán rajzoltuk fel a hajtómű négy sebességfokozata esetén. A motort kívülről át kell szellőztetni, a hűlési viszonyok a negyedik sebességfokozat alkalmazását nem teszik lehetővé, az első fokozatban viszont a max. fordulatszámnál nagyobb fordulatok lépnének fel. A 23-8. és 23-9. ábra segítségével meghatározhatjuk a teljesítmény—idő függvényt. A teljesítmény—idő függvény integrálja:

$$E = \int_0^t P dt$$

adja meg a  $t$  idő alatt felhasznált energiát. Ebből meghatározzuk az akkumulátorban tárolandó energia mennyiségét.



23-9. ábra. A villamosított Barkas B 1000 sebesség—idő függvényei az 1., 2., 3., 4. sebességfokokozatokban

Budapest területén 50 km hosszú útszakaszt vizsgáltunk meg és megállapítottuk, hogy átlagosan 575 m-ként meg kell állni. Egy útszakaszon felgyorsítunk 40 km/h sebességre, egyenletes sebességgel haladunk, majd 30 m-es kifutással megállunk. Ezen menetdiagramm szerint egy 80 km-es út megtételéhez 22 kWh energia szükséges. Az akkumulátortelep feszültségét 192 V-ban határoztuk meg, Ah-kapacitása 120 Ah háromórás kisütésre. A Posta Járműtelep akkumulátor-részlege által előállított könnyített kivitelű akkumulátortelep súlya 800 kg.

A B 1000 és a villamosított jármű tervezett súly-, raktérfogat- és végsebesség-adatait összevetve:

<i>benzinüzemű jármű</i>		<i>akkumulátoros jármű</i>
megengedett összsúly:	2240 kg	2700 kg
üres súly (a gépkocsivezetővel):	1240 kg	2200 kg
hasznos terhelés (a gépkocsivezetővel):	1000 kg	500 kg
raktérfogat	6,4 m <sup>3</sup>	5,6 m <sup>3</sup>
végsebesség:	100 km/h	55 km/h

Láthatjuk, hogy egy belsőégésű motorral hajtott jármű villamosítása — ólomakkumulátor-telep alkalmazása esetén — szükségessé teszi a jármű összsúlyának növelését, a jármű viszonylagos túlterhelése révén, a végsebesség jelentős (kb. 50%-os) csökkentése mellett. A hasznos terhelést 500 kg-ra kellett redukálni. A jármű használati értéke nem csökken ilyen arányban, ugyanis a raktérfogat az akkumulátortelep beépítésével csak 12,5%-kal csökken. A megnövekedett súly miatt a járműszerkezetet szilárdságtani szempontból ellenőrizni kell.



## Irodalom

- [1] *Dr. Csáki F.—Dr. Ganszky K.—Ipsits I.—Marti S.*: Teljesítményelektronika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
- [2] *Dr. Rácz I.*: Villamos hajtások. Tankönyvkiadó, Budapest, 1971.
- [3] *Dr. Ternai Z.*: Gépjárműszerkezetek méretezése.  
Az I. táblázat adatait nagyszámú folyóiratcikk feldolgozása útján állítottuk össze. Mivel néhány cikk felsorolása nem adhat teljes képet a villamos járművek irodalmáról, így azok felsorolásától eltekintettünk. A felsorolt néhány könyv gyakorlati segítséget nyújt a felmerült problémák megoldásához.



# 24.

## A villamos energia közvetlen előállításának módszereinek kutatása

*HORVÁTH PÁL—ÁGH JÁNOS—SOÓKI-TÓTH GÁBOR*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők beszámolnak a közvetlen energiaátalakításnak az Intézetben folyó kutatásairól. Részletezeten: a kémiai energiának gáz üzemanyagú tüzelőanyag-cellákban villamos energiává történő átalakítása elméleti és technológiai vonatkozású kérdéseiről, problémáiról, kiemelve a problémakör elektrokémiai és termodinamikai vonatkozásait és az e területen folytatott kutatás eredményeit.

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

*П. Хорват—Й. Аг—Г. Шооки-Тот*

#### Резюме

Авторы дают обзор об исследованиях в области непосредственного преобразования энергии, произведенных в Институте. Конкретно: о проблемах, вопросах технологического и теоретического характеров, возникающих при преобразовании химической энергии с топливными элементами — с горючем на газе — в электрическую энергию, подчёркивая электрохимические и термодинамические аспекты проблем и результаты исследований в данной области.

### FORSCHUNG DIREKTER HERSTELLUNGSMETHODEN DER ELEKTRISCHEN ENERGIE

*P. Horváth—J. Ágh—G. Soóki-Tóth*

#### Zusammenfassung

Die Verfasser berichten über die Forschung der direkten Energieumwandlung, die im Forschungsinstitut der Elektroindustrie im Gange ist. Ausführlicher: über die theoretischen und technologischen Fragen und Probleme der Umwandlung der chemischen Energie in Gas-Brennstoffzellen, hervorhebend die elektrochemischen und thermodynamischen Beziehungen des Problems und die Ergebnisse der auf diesem Gebiet durchgeführten Forschung.

### RESEARCH METHOD OF PRODUCING ELECTRICAL ENERGY DIRECTLY

*By P. Horváth—J. Ágh—G. Soóki-Tóth*

#### Summary

The authors inform us about the research of the direct energy conversion in the Research Institute of the Electrical Industry. More detailedly: about theoretical and

technological questions and problems of the chemical energy conversion to electrical energy in fuel cells working gas fuels, underlining the electrochemical and thermodynamical aspects of the problems and the results of the research carried out in this field.

## 1. Bevezetés

A Villamosipari Kutatóintézetben 1966. óta folyó, a villamos energia közvetlen előállításának kutatásának célkitűzéseiről, az ezt realizáló kutatások üteméről és eredményeiről a VKI Közleményeinek előző két számában folyamatosan számot adtunk [1] [2].

E dolgozat az alkálikarbonát elektrolitú, középhőmérsékletű tüzelőanyagelemek kutatási területéről szándékozik bemutatni néhány olyan problémát, amely az elemkonstrukciós tevékenységgel párhuzamosan folyó vizsgálatokkal együtt, az elért eredmények tükrében egyre világosabban jelöli ki a fejlesztés alatt álló konstrukció helyét és határozza meg lehetőségeit.

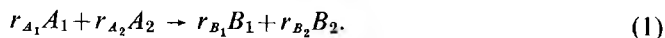
A tüzelőanyagelem-kutatás fő problémája a közepes és nagy hőmérsékletű területen elegendően nagy fajlagos teljesítménysűrűségű, hosszú élettartamú, zavartalan üzemű rendszer konstruálása.

Természetesen első lépésként egyedi, kis méretű elemek létrehozásával kell az említett, alapvető problémákat megoldani annak szem előtt tartásával, hogy olcsó üzemanyagú, jó hatásfokú rendszer alapelemei kerüljenek kialakításra. A megfelelő eredmények birtokában az ezekből felépített rendszerek vizsgálatával — az itt felmerülő többletproblémákat megoldva — lehet remélni, hogy a leghatékonyabb eredményt realizáljuk.

Alapvető termodinamikai és elektrokémiai fogalmak idézése után példaként a metán üzemanyagú tüzelőanyag-elem elméleti vizsgálata kapcsán rámutatunk az alkálikarbonát elektrolitú középhőmérsékletű tüzelőanyag-elem üzemeltetési körülményeivel kapcsolatos legfontosabb problémákra. A következtetés: szénhidrogén bázisú üzemanyag közvetlenül, előzetes bontás nélkül zavartalan üzemben nem, vagy nehézkesen alakítható át a kifejlesztett tüzelőanyag-elemünkben. A szénhidrogének bontására, és az ilyen irányú kutatásainkra nem térünk ki. A petrolkémiaiban részletesen művelt terület eredményeit a speciális körülmények figyelembevételével használjuk fel kísérleti munkánk során. A reformált szénhidrogének kapcsán nyert termék-gáz tüzelőanyag-elemben történő reverzibilis és reális körülmények közti elektrokémiai oxidációjának vizsgálata bázisán néhány — a kísérleti tüzelőanyagelem-kutatás terén elért — eredményünkről is beszámolunk. A gyakorlati körülmények közti realizálható összhatalmokat befolyásoló és meghatározó paramétereket részletesen vizsgáljuk.

## 2. Elméleti megfontolások

A tüzelőanyag-elem működése közben az  $A_1$  és  $A_2$  kiindulási anyagok  $r_{A_1}$  és  $r_{A_2}$  stöchiometriai mennyiségéből reverzibilis úton  $r_{B_1}$  és  $r_{B_2}$  mennyiségű  $B_1$  és  $B_2$  végtermékeket hoz létre, azaz a reakció:



A termodinamika törvényei szerint az elektrokémiai reakcióval együttjáró  $E$  elektromotoros erő:

$$-zFE = \Delta G = \Delta H - T\Delta S, \quad (2)$$

ahol

- $\Delta G$  a szabad entalpia reakcióval együttjáró változása;
- $\Delta S$  az entrópia változása;
- $T$  a rendszer hőmérséklete;
- $z$  a reakcióban az elektródokra átlépő elektronok száma;
- $F$  a Faraday-konstans;
- $\Delta H$  a konstans nyomáson végbemenő reakció reakcióhője.

Ha a  $\Delta G$ ,  $\Delta H$  és  $T\Delta S$ -t eV-ben fejezzük ki (gyakran szokásos kcal/mol helyett), akkor (2) egyszerűsödik:

$$E_v = -\frac{\Delta G(\text{eV})}{z}$$

A folyamat hatásfoka:

$$\eta = \frac{\Delta G}{\Delta H} = 1 - \frac{T\Delta S}{\Delta H} \quad (3)$$

Mivel energiatermelő reakciókra  $\Delta H$  mindig negatív a (3) szerint  $\Delta S$  előjele szabja meg, hogy az (1) reakció ideális hatásfoka milyen irányban és mily mértékben tér el az egységtől, ill. a 100%-tól. Tüzelőanyag-elemekben leggyakrabban használt reakciókra a  $|\Delta S| \ll |\Delta G|$ , tehát  $\eta$  általában nem túlságosan magas hőmérsékleteken 100% körüli érték. Éppen ez a vonzó tulajdonság az oka az intenzív és nagy gazdasági ráfordításokkal folyó kutatásoknak.

Klasszikus energiaátalakítási folyamat, mint pl. hőerőgépekben végbemenő átalakítás elérhető maximális hatásfokát — mint ez jól ismert — a Carnot-körfolyamat hatásfoka maximalizálja. Ez konkrétan azt jelenti pl., hogy két hőtartály közti  $500^\circ\text{C} = \Delta T$  esetén — ha a hidegoldali hőtartály szobahőmérsékletű — a Carnot-körfolyamat hatásfoka 48%, a realizálható érték pedig 30% körüli, ezzel szemben  $\text{H}_2\text{-O}_2$  tüzelőanyag-elem esetén  $500^\circ\text{C}$ -on 78% az elméleti hatásfokérték és 60%-os gyakorlati hatásfok is biztosítható.

Bizonyos esetekben az elméleti hatásfok értékét, ill. ennek jellegét az (1) bázisán megbecsülhetjük. Mint említettük a  $\Delta S$  előjele szabja meg azt, hogy a hatásfok a 100%-tól milyen irányban tér el. Könnyen belátható, hogy a gázok teljes entrópiája mindig sokkal nagyobb, mint a kondenzált fázisé. Egyszerű molekulákra — nem túlságosan extrém hőmérsékleti viszonyok közt — a translációs és vibrációs entrópia túlsúlyban van az elektromos és vibrációs entrópiák összegével szemben, így a gázkomponens megjelenését vagy eltűnését entrópiánövekedés vagy -csökkenés kíséri. Tehát gázreakciókban  $\Delta S > 0$ , ha a gázmolekulák száma növekszik,  $\Delta S < 0$  ha csökken és  $\Delta S \approx 0$  ha a molekulák száma nem változik.

Mivel a célunk a reális tüzelőanyag-elemben lejátszódó folyamatok vizsgálata, a (2) összefüggést részletesebben elemezzük. A további számítások során gázreakciókkal foglalkozunk, tehát az elemi termodinamika szerint [3]

$$\mu_i = \mu_{i0} + RT \ln p_i$$

$$\text{és} \quad \Delta G = \sum_i \nu_i \mu_i + RT \sum_i \nu_i \ln p_i = -RT \ln K_p + RT \sum_i \nu_i \ln p_i,$$

ahol  $\mu_i$  az  $i$ -edik komponens parciális moláris szabad entalpiája (kémiai potenciálja);  $\mu_{i0}$  a kémiai potenciál standard értéke;  $p_i$  az  $i$ -edik komponens parciális nyomása, és a gázreakció  $K_p$  egyensúlyi konstansa:

$$K_p = \prod_i p_i^{\nu_i}$$

Ezek felhasználásával az elektromotoros erő:

$$E(p, T) = - \frac{\sum_i r_i u_{i0}}{zF} - \frac{RT}{zF} \sum_i r_i \ln p_i = \frac{RT}{zF} \ln K_p - \frac{RT}{zF} \sum_i r_i \ln p_i. \quad (4)$$

A (4) egyenlet első tagját definiálhatjuk mint a reakció  $E_0$  standard elektromotoros erejét:

$$E_0 = \frac{RT}{zF} \ln K_p, \quad (5)$$

míg a második tag a reagensek és reakciótermékek elegyedési entrópiájának hatását képviseli.

A gyakorlatban a reagensek és reakciótermékek anyagi termodinamikai jellemzői által meghatározott (4) elektromotoros erő csak úgy nyerhető, ha a tüzelőanyag-elem konstrukciós kialakítása olyan, hogy az elektromotoros erőt megszabó elektrokémiai folyamatok létrejöttének és lejártszódásának reális feltételeit biztosítani tudjuk. A tüzelőanyag-elem-kutatás alapvető célja és feladata, hogy ezeket a feltételeket megismerjük és ezáltal a realizálható optimális konstrukciót létrehozzuk.

Természetesen, ha a (4) egyensúlyi elektromotoros erő nyerhető, az ezt biztosító egyensúlyi elektródfolyamatok a termodinamikából ismert ún. dinamikus egyensúlyi folyamatok révén jönnek létre. Ha a cella külső terhelőkörbe elektromos energiát szállít, az ezen állapothoz tartozó anyagi jellemzők által meghatározott új egyensúly a jellemző. A termodinamikai számítások teljesen exakt módon csak zárt rendszerekre végezhetők el. A tüzelőanyag-elemek ugyanakkor működéssüket tekintve olyan galván-elemek, amelyekben az anód-, ill. katódoldali reagensek és reakciótermékek folyamatos — esetleg kvázifolyamatos be- és kivezetése történik. A számításokat tehát úgy végezhetjük el, hogy rögzített kiindulási termékek mellett a cellát reverzibilis körülmények közt kisütjük egy ismert végállapot elégséig, majd ezt ismételjük. — Az ezen folyamat alatt nyert munka átlaga jellemzi a cellát. A reális körülmények — mint később látni fogjuk — az irreverzibilis veszteségek miatt kedvezőtlenebbek.

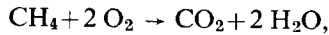
A (4) elektromotoros erőt létrehozó elektródfolyamatok dinamikus egyensúlyára jellemző a megfelelő folyamat csereárama. Minél nagyobb ez, annál inkább remélhető, hogy a cella működése kisütése közben kevésbé tér el a reverzibilistől. Gáz—elektród (fém)—elektrolit rendszerű tüzelőanyag-elemekben e három fázis kellően nagy felületű érintkezésének biztosítására és így a csereáram növelésére technikailag legkidolgozottabb módszer a porozus elektródok alkalmazása.

Esetünkben az elektrolit ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$  és  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) alkálikarbonátok célszerűen megválasztott elegye. Az üzemi hőmérsékleten olvadékként jelenlevő elektrolitot a porozus fémelektrodokba történő elárasztás jellegű kiszivódás megakadályozására inert, az elektródoknál finomabb porozitású vázba (MgO vagy alkáliálmínát) felitavva (a Davtyan típusú, Broers által továbbfejlesztett elektrolittípus) használjuk [4], [5]. Az elektródok az anódoldalon, ill. katódoldalon azonos kivitelűek bizonyos mennyiségű Ni-szemcséket tartalmazó ezüst szemcsékből szinterelt porozus szerkezetek stabilan az inert vázanyagra hőkezelve. Ez a kísérleti cellatípus később részletezett módosításokkal alkalmas  $550^\circ\text{C} \dots 750^\circ\text{C}$  különféle elektrokémiai folyamatok elemzésére.

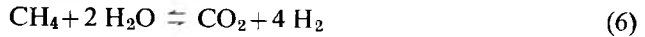
Mint korábbi közleményeinkben erről beszámoltunk — a Villamosipari Kutató Intézetben középhőmérsékletű, alkálikarbonát elektrolitú tüzelőanyag-elemek kutatásának megindításakor az alap gondolat az olcsó szénhidrogének elektrokémiai oxidációjára alkalmas rendszer kifejlesztése volt. Példaként bemutatjuk a metán elektrokémiai oxidációjának folyamatait.

## 2.1 A metán közvetlen elektrokémiai oxidációja

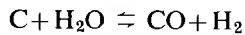
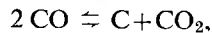
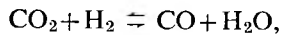
Ha a tüzelőanyag-elem anódterébe tiszta  $\text{CH}_4$ -et vezetünk és a cellát terheljük, akkor a metán oxidációja révén elektrokémiai folyamat  $z = 8$  töltésszám változása mellett megy végbe:



mint látható, víz és  $\text{CO}_2$  keletkezik az anódon. A víz jelenléte a

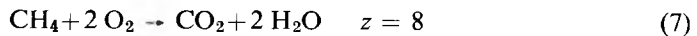


egyensúlyhoz vezethet. Ebben az esetben azonban még számolni kell közbenső állapotként a

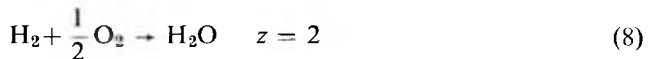


kémiai egyensúlyi reakciókkal. Lehetséges, hogy amint a  $\text{H}_2$  képződik — ennek a gáznak a galvanikus oxidációja lesz a háromfázishatáron a valójában domináns reakció. Bizonyos körülmények közt a hőmérséklet növelése nem kedvez ezeknek a kémiai reakcióknak, pusztán elméleti szempontból ezeket ki is zárhatnánk. A gyakorlati körülmények ugyanakkor azt mutatják, hogy szénkiválással kell számolni az elektródfelületen.

Amint a  $\text{H}_2$  megjelenik az anódon, mint említettük nagyon valószínű, hogy ennek a gáznak a galvanikus oxidációja lesz a háromfázishatáron a domináns. Ugyanis a hidrogén különösen magas hőmérsékleten Ag-Ni alapú elektródon jól definiált reverzibilis potenciált képes létrehozni. Ha figyelembe vesszük még, hogy a metán



elektrokémiai oxidációja a „fonalszerű” háromfázishatár tartományában megy végbe, míg a (6) reakció az előbbinél minden bizonnyal nagyobb fémfelület kalitikus hatására (nagyon valószínű, hogy ez katalitikus kémiai reakció) elegendően nagy sebességgel folyik le. Tehát (7) mellett még a



elektrokémiai folyamatot is figyelembe kell vennünk.

24-1. táblázat

A hidrogén és metán jellemző termodinamikai adatai és az elektrokémiai oxidáció jellemzői néhány hőmérsékleten

$T, ^\circ\text{K}$	$\Delta G_0, \text{eV}$		$\Delta H_0, \text{eV}$		$E_0, \text{V}$		$\eta_{\text{ideális}}, \%$	
	$\text{H}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{H}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{H}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{H}_2$	$\text{CH}_4$
298	-2,36	-8,30	-2,51	-8,31	1,184	1,038	94	100
800	-2,108	-8,30	-2,54	-8,28	1,054	1,038	83	100
1000	-1,99	-8,21	-2,56	-8,29	0,997	1,039	78	100

A 24-1. táblázatban idézzük a hidrogén és metán elektrokémiai oxidációjának jellemző termodinamikai adatait néhány hőmérsékleten.

A (6) egyensúlyra az egyensúlyi konstans:

$$K_6 = \frac{P_{\text{CO}_2} P_{\text{H}_2}^4}{P_{\text{CH}_4} P_{\text{H}_2\text{O}}^2}$$

A (4) szerint igaz, hogy

$$\ln K_6 = \frac{8F(E_{07} - E_{08})}{RT}$$

mivel a (6) folyamat a (7) és (8) folyamat alatt végbemenő reakciók különbsége.

Részletesen a következők szerint járhatunk el. Ha 1 mól metánt vezetünk 1 atm nyomás mellett az anódtérbe és  $\alpha$  mól belőle a cella reverzibilis kisütése közben átalakult a (7) egyenlet szerint, akkor  $\alpha$  mól  $\text{CO}_2$  és  $2\alpha$  mól  $\text{H}_2\text{O}$  képződött. A (6) egyensúly szerint  $x$  mól metán átalakul még. Ennek során  $2x$  mól  $\text{H}_2\text{O}$  elfogy és  $x$  mól  $\text{CO}_2$ , valamint  $4x$  mól  $\text{H}_2$  keletkezik. Tehát reverzibilis körülmények közt  $x$  mólnyi metán a (6) egyensúlyi reakcióra is a jellemző anyagok móljainak száma a metán 1 mólnyi mennyiségére vonatkoztatva:

$$\begin{aligned} n_{\text{CH}_4} &= 1 - \alpha - x, \\ n_{\text{H}_2\text{O}} &= 2(\alpha - x), \\ n_{\text{CO}_2} &= \alpha + x, \\ n_{\text{H}_2} &= 4x, \\ \sum n &= 1 + 2\alpha + 2x \quad \text{és} \quad \Delta r = 2, \end{aligned}$$

tehát írhatjuk, hogy

$$K_6 = \frac{(\alpha + x)(4x)^4}{(1 - \alpha - x)4(\alpha - x)^2(1 + 2\alpha + 2x)^2} \quad (9)$$

és az elektromotoros erő az  $\text{O}_2$  hatását elhanyagolva:

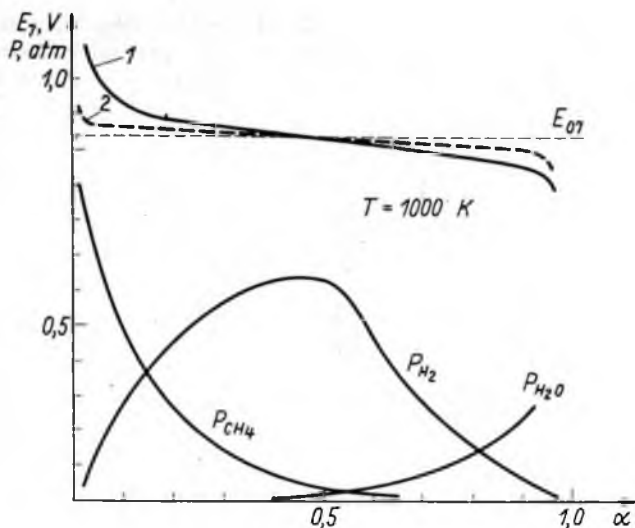
$$E_7 = E_{07} + \frac{RT}{8F} \ln \frac{(1 - \alpha - x)(1 + 2\alpha + 2x)^2}{4(\alpha - x)^2(\alpha + x)} + \Delta \quad (10)$$

Rögzített mennyiségű metán ( $\alpha$ ) elektrokémiai konverziójához tartozó  $x$  értékeket, azaz a (6) egyensúly által átalakult metán mennyiségét a (9) egyenletből kapjuk. Ezeket az  $x$  értékeket felhasználva a (10) egyenlet  $\alpha$  függvényében megoldva a 24-1. ábrán ábrázoljuk ( $I$  görbe). A (10) egyenletben szereplő  $\Delta$  tag a katódoldali  $\text{O}_2$  hatását tartalmazza, azonban hatásától eltekintünk, mivel még levegő esetén is (folyamatos átöblítést feltételezve) hatása az elektromotoros erőre mindössze néhány századvolt nagyságrendű. Ennek a feltételezésnek jogosságát röviden a következők szerint igazolhatjuk. A (8) szerinti elektrokémiai reakció lejátszódásakor a cella elektromotoros ereje:

$$E_8 = E_{08} + \frac{RT}{2F} \ln \frac{P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}} + \frac{RT}{4F} \ln P_{\text{O}_2} + \Delta_2. \quad (11)$$

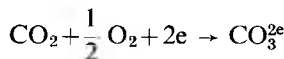
Ebben az egyenletben  $\Delta_2$  jelzésű tagban még szerepet kapnak a cella anód- és katódterében jelenlevő  $\text{CO}_2$  parciális nyomáskülönbségéből eredő koncentrációs potenciálként megjelenő tagok, de gondolatmenetünk szempontjából szerepük nincs. Tekintsük





24-1. ábra. A metán reverzibilis elektrokémiai konverziójának jellemzői tiszta elektrokémiai és vegyes folyamatok során

az egyenlet jobb oldalának harmadik tagját, amely az oxigén hatását írja le. Az oxigén parciális nyomása a katódtérben általában  $P_{O_2} \sim 0,15$  atm. A katódon lejátszódó



reakció maximális határárama 2 : 1 arányú  $CO_2 : O_2$  arány esetén várható — és így  $CO_2$  : levegő összetételű katódkomponensek használata esetén ez  $k P_{CO_2} = 0,33$  atm,  $k P_{O_2} = 0,15$  atm és a további az inert gáz, pl. a  $k P_{N_2} = 1 - k P_{CO_2} - k P_{O_2}$ . A cella kisütése közben tehát az oxigén parciális nyomásának változásából eredően az elektromotoros erő megváltozása

$$\Delta E_8 = \frac{RT}{4F} \ln \frac{k_1 P_{O_2}}{k_2 P_{O_2}}$$

ahol — ha az 1, ill. 2 jelzett két állapot közti eltérés pl. háromszoros, azaz az oxigén parciális nyomása 0,05 atm-ra esne le, az elektromotoros erőben mindössze 20...30 mV változást okozna, aminek vizsgálataink során tehát számottevő szerepe nincs. Annál is inkább, mert ennél alacsonyabb parciális nyomású oxigén esetén a katódtérben a határáram jelenik meg, azaz a katódtér kimerülését jelentené — számunkra pedig elsősorban nem ilyen természetű effektusok fontosak a vizsgálat során. Ezt a problémát akkor küszöbölhetjük ki, ha a katódoldali elektród körüli teret folyamatosan közel 30% körüli  $CO_2$ -t tartalmazó levegővel öblítjük át. Ez a jelenség nyilvánvalóvá a katódoldal és anódoldal polarizációs tulajdonságainak kísérleti vizsgálata és összehasonlítása során válik.

A 24-1. ábrán bemutatjuk a (9) egyenlet alapján származtatva a hidrogén parciális nyomásának alakulását a metán konverziója közben. Látható, hogy reverzibilis konverzió közben a  $H_2$  jelenléte a reverzibilis izotermikus elektromotoros erőt megnöveli ahhoz az esethez viszonyítva, amikor  $H_2$  nincs jelen, a rendszerben (2 görbe). Erre az esetre feltételezzük, hogy a (6) reakció nem játszódik le.

A (6) reakció végbemenetelétől függetlenül a reverzibilis folyamat során azaz  $\alpha = 1$ -hez tartozó villamos energia: 1 mól metán teljes elektrokémiai konverziójakor:

$$N = 8F E_{07} - RT \ln \sqrt{P_{\text{CO}_2}} - RT \ln \sqrt{P_{\text{H}_2\text{O}}^2},$$

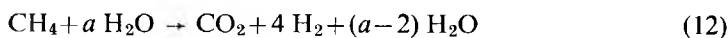
ahol  $\sqrt{P_{\text{CO}_2}}$ , ill.  $\sqrt{P_{\text{H}_2\text{O}}}$  a végállapotban 1/3, ill. 2/3.

Az  $N$  értéke a folyamatra jellemző  $\eta_{\text{ideális}} = 100\%$  hatásfokkal megegyezik a metán konvencionális elégetése során felszabaduló hőenergiával.

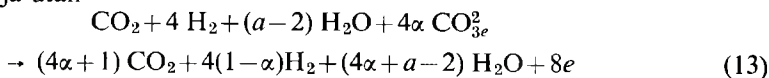
A 24-1. ábrából nyilvánvalóan látszik, hogy míg a reakció reverzibilisen megy végbe, addig a metán legalább 90%-a konvertálódhat számottevő feszültségcsökkenés nélkül.

## 2.2 Bontás utáni elektrokémiai konverzió

Gyakorlati körülmények közt üzemelő tüzelőanyagelemben a (7) elektrokémiai reakciót csak különleges körülmények közt folytathatjuk le. Különösen vonatkozik ez magasabb szénatomszámú szénhidrogének közvetlen elektrokémiai oxidációjára, ui. a (7), ill. (6) folyamatok eredményeként az elemben jelenlevő komponensek, valamint az elem heterogén fázishatárai egyéb kémiai folyamatok lejátszódásának lehetőségét is biztosítják. Különösen érvényes ez az ún. Boudouard-egyensúly szerint megszabott szénkiválásra, amely ha végbemegy, autokatalitikus hatása révén az elem további működését általában lehetetlenné teszi. Ez a hatás a folyamat sebességét vissza vonhatatlanul felgyorsítja. Meggátlása elvben szénhidrogénhez történő rögzített mennyiségű víznek az anódtérbe adagolásával lehetséges, a közismert vízgáz-egyensúly létrehozása céljából. Energetikailag ez a módszer könnyen belátható módon a bontás irreverzibilis hőigénye miatt az előzőtől különböző eredményt szolgáltat. Az előbbi okok következtében, technikailag könnyebb kezelhetősége miatt, az előzőben részletesen elmondott folyamattól eltérően, az energiatermelő elektrokémiai folyamatot a szénhidrogénbázisú üzemanyagokat előzetes bontással  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  és  $\text{H}_2\text{O}$  tartalmú üzemanyaggázzá alakítva, és a tüzelőanyag-elembe ilyen komponenseket bevezetve célszerű lefolytatni. Metán esetében a bontás



folyamat szerint megy végbe. A tüzelőanyag-elemben az anódreakció mól  $\text{H}_2$  elektrokémiai konverziója után

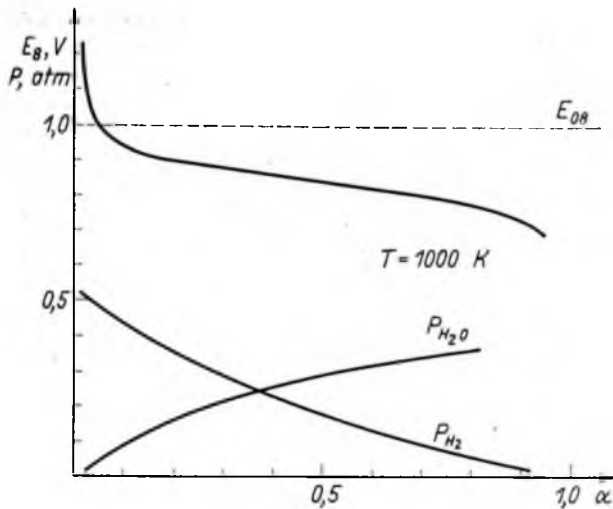


a (8) szerinti elektrokémiai reakció bázisán.

A metán elektrokémiai reakciójának vizsgálatához hasonlóan elvégzett számítások eredményeként a rendszernek a 24-2. ábra szerinti lefutású elektromotoros ereje van  $T = 1000 \text{ K}$  hőmérsékleten a 4 mólnyi  $\text{H}_2$  fokozatos elektrokémiai konverzióját tekintve. A folyamatra jellemző adatok:  $a = 2$  mól, azaz csak a konverzióhoz szükséges mennyiségű vizet adagoljuk a bontás előtt a metánhoz, ill. az előzőkhöz hasonlóan elhanyagoljuk a katódoldali oxigén hatását, hallgatólagosan feltételezve, hogy a katódtérben megfelelő mennyiségű  $\text{O}_2$  és  $\text{CO}_2$  áll rendelkezésre az elektrokémiai folyamat reverzibilis lefolytatásához.

A 24-1. és 24-2. ábrán bemutatott folyamatok közti különbség elsörendű oka az anódtérben jelenlevő  $\text{H}_2$  parciális nyomásának különbözőségében keresendő.

A kisütés alatt a potenciál első szakaszának meredeken leszálló ága a (11) egyenlet jobb oldala második tagjának szerepével értelmezhető kölcsönösen mindkét esetre.



24-2. ábra. Bontott metán reverzibilis elektrokémiai konverziójának jellemzői

A reakciótermékek (a víz ill.  $\text{CO}_2$ ) mindkét esetben kezdetben rendkívül alacsony mennyiségben lehetnek jelen és ez — mint Broers erre rámutatott [4] — a potenciál kezdeti értékét definiálatlaná teheti. Értelemszerűen a reakciótermékek kisütés közben ellenkező hatást jelentenek: kedvezőtlenül polarizálják az anódot. A metán közvetlen elektrokémiai oxidációja során ez oly mértékben nem érvényesül, mivel a víz az elektród heterogén tartományában kémiai reakciók során — jelentős  $\text{H}_2$  létrehozása közben a metánnal reakcióba lép. Bontott anódgáz használata esetén viszont ezen polarizációs jelenség dominánsan jelentkezik (24-2. ábra).

Ennek a jelenségnek tulajdonítható az a kísérleti tapasztalat is, hogy tiszta hidrogénnel vagy víztelenített bontott gázzal üzemeltetett tüzelőanyag-elem — kellően gáz-tömören szerelve esetenként 1,3...1,4 V névleges potenciált is szolgáltat a termodinamikailag definiált standard értékekkel ellentétben. Ennek a jelenségnek ismerete rendkívül fontos például a polarizációs jelenségek tanulmányozása és a kapott eredmények értelmezése során, mivel értékét üzemeltetési körülmények — konstrukció és üzemanyag-gáz összetételével is jelentősen befolyásolják. A metán közvetlen elektrokémiai konverziója a kedvező tulajdonságok ellenére a gyakorlatban — mint részleteztük — nehezen vagy egyáltalán nem kivitelezhető út, mindaddig, amíg a bemenő anódgáz dominánsan metánt tartalmaz. 15...20% metán tartalmú ún. városi gáz esetén 600 °C felett viszont biztonságos üzem folytatható — mivel a szénkiválásos egyensúlyi reakció — az ún. Boudouard-egyensúly — egyensúlyi konstansa nem számottevő kis értéket vesz fel. Nagyobb szénatomszámú szénhidrogének esetén a biztonságos üzemhez előzetesen feltétlenül szükséges a bontási reakció.

Mint a 24-2. ábrából látható a cella anódgázának elektrokémiai kisütését nem célszerű 75...80%-nál tovább folytatni a cellapotenciál rohamos csökkenése miatt. Ebből következik, hogy a reverzibilis kisütés esetében is a maximális 1000 K-hez tartozó 78% összhatásfoknál kedvezőtlenebb értéket kapunk  $\text{H}_2$ -re vonatkoztatva. A kiindulási metángáz kalorikus égéshőjére vonatkoztatva még kedvezőtlenebb az eredmény. Ezt numerikus példa kapcsán is be fogjuk mutatni. Előzetesen azonban néhány további — az értelmezhetőség szempontjából fontos — problémát mutatunk be.

### 3. Kísérleti tüzelőanyag-elemek

#### 3.1 Elektrolitszerkezet

A kísérleti tüzelőanyag-elemek 45...52 mm átmérőjű, 2...5 mm vastag tárcsa alakú ún. mátrixban immobilizált, és ezáltal önhordó kivitelű makroszkopikusan szilárd, mikroszkopikusan mechanikai és fizikai tulajdonságait tekintve a kváziszilárd elektrolit és a pasztaelektrolit közti átmenetet képviseli, úgyhogy az elektródok közti töltés-átvivő mechanizmust a vázban olvadékként jelenlevő alkálikarbonátok biztosítják. Az elektródok az elektrolitszerkezet által hordozott porózus vagy rácsos fémszerkezetek.

Az 1...2  $\mu\text{m}$  porszemcséjű MgO vázanyag használatával készült elemek esetén a Li- és Na-karbonátok eutektikus elegyének 30...40%-os arányának alkalmazása tűnt a legkedvezőbbnek. A hidegen őrlött és homogenizált porok hidegsajtolás utáni — összetételtől függően pontosított — 800 °C környezetében történt hőkezelésével hozzuk létre egy lépésben az elektrolit — vázszerkezet rendszert.

A bizonyos előnyöket jelentő  $\gamma$ -Li-metaaluminát vázanyag alkalmazását is vizsgáljuk. A módszer lényege az, hogy az aluminát vázanyag létrehozásával egy lépésben biztosítható az aluminát vázanyag—elektrolit rendszer létrejötte. A gélállapotúvá alakított kiindulási anyagok közt a technológiai hőmérsékleten játszódik le az alkálikarbonátok olvadékában a kémiai reakció, így a rendkívül finom eloszlásban képződő és vázszerkezetet alkotó szilárd szemcsék felületét bevonja az alkálikarbonátok olvadéka. A leglényegesebb jellemzője a rendszernek a  $\gamma$ -LiAlO<sub>2</sub> szemcsék méreteloszlása, ill. ennek befolyásolhatósága.

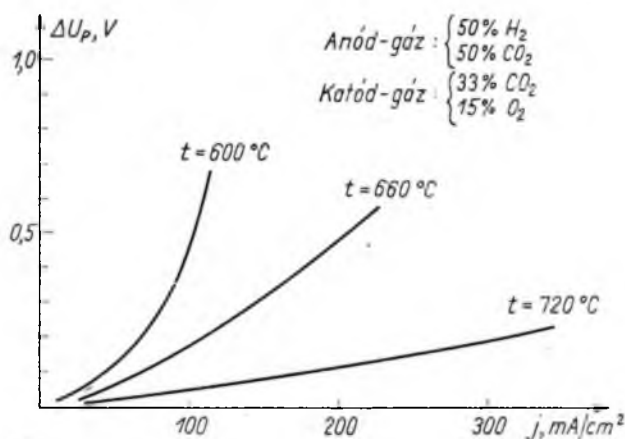
A kialakított elektrolitszerkezetek termoanalitikai és röntgendiffrakciós vizsgálata mellett fontos információkat szolgáltat a mechanikai stabilitást befolyásoló tényezők elemzése szempontjából a szerkezet porozitása. A vizsgálataink szerint a szilárd, inert vázkomponens arányának növelése esetén a mérhető nyílt porozitás egyre jobban eltér attól az értéktől, amely az alkálikarbonát elektrolitanyag szilárd és folyadékalapota közti sűrűségkontrakcióval még értelmezhető lenne (az olvadékfázisban a móltérfogat kb. 25%-kal nagyobb mint a szilárd fázisban). Ezeknek a pórusoknak a jelenléte erős hőigénybevételek esetén (nagy hűtési—fűtési ciklusszám) makroszkopikus hibahelyekre vezethet.

#### 3.2 Az elektródok

Könnyen belátható, hogy nagy fajlagos terhelhetőség eléréséhez az elektrolit és a gázkomponensek közti elektródfolyamatok megfelelő aktivitását kell biztosítani. A speciális szerkezeti anyagú és összetételű ún. Bacon-típusú elektródokkal kiváló eredményeket sikerült realizálni. Lényege a kettős póruseloszlás, azaz egy finomabb póruseloszlású, az elektrolittal érintkező belső réteg és egy durva póruseloszlású külső réteg alkalmazása, azzal a megfontolással, hogy a finom pórusú — a vázszerkezet pórus-szerkezeténél nyilvánvalóan lényegesen durvább szerkezetű — elektrolittal nedvesített belső réteg az elektrolitot kapilláris erők révén nem engedi a durvább pórusokba áramolni, hanem pusztán ezek falát képező fémszerkezetet nedvesíteni. A szerkezet komoly hátránya a magas üzemelési hőmérséklet miatti jelentős utánsugorodási hajlam. Ez sajnos az aktivitás időbeni csökkenését okozza. Ilyen okok miatt szerényebb fajlagos áramsűrűséget biztosító — de időben stabilabb szerkezetű rácsos ill. hálós fémelektrodokkal is folytatunk kísérleteket.

### 3.3 Az elektródpolarizáció és belső ellenállás

Kielégítő elektrokémiai funkciót biztosító elektródkonstrukció tulajdonságainak vizsgálata és kialakítása mellett az elem fajlagos terhelhetőségi paraméterei szempontjából a polarizáció mellett legalább ilyen fontos paraméter még az elem elektrolitjának belső ellenállása. E két fontos paraméter egyidejű mérésére kidolgoztunk egy mérési módszert, amely az ún. kommutátormódszernek egy módosított változata. Az elemet stacionálisan terhelő áramot 1...100 Hz frekvenciájú szimmetrikus négy-szögimpulzusokkal (az impulzusidő a félhullámhosszal egyezik) szaggatjuk. A terhelés



24-3. ábra. Kísérleti elemtípus együttes anód—katód oldali polarizációja a hőmérséklet függvényében

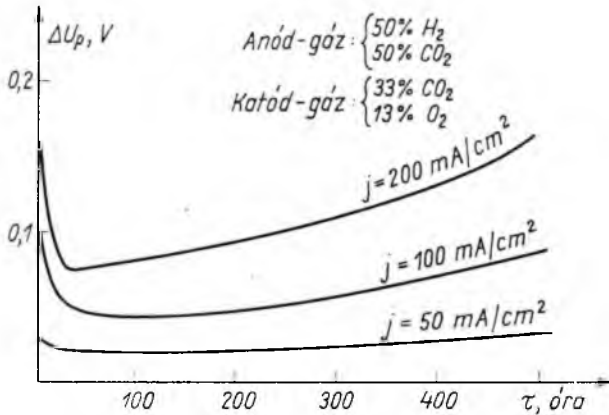
egy kapcsolóüzemű tranzisztor kollektor—emitter köre. Az elem elektródjain megjelenő feszültségesést kétsugaras oszcilloszkópon vizsgáljuk ismert ellenálláson eső potenciállal összehasonlítva, ill. a terheletlen elem galvanikus potenciáljához vagy beépített referenciaelektroódhoz képest. A jelalak pontos információt szolgáltat az elem rezisztív belső ellenállására, ill. az elektródokon fellépő polarizációra.

10 cm<sup>2</sup> aktív geometriai felületű elemek esetén a belső ellenállás 0,1  $\Omega$  körüli értéket képvisel. Ritkábban — emelt alkálikarbonát-tartalom esetén — 0,02  $\Omega$  körüli értékek is realizálhatók. Ugyanakkor több száz órás működési idő után sem tapasztalható a belső ellenállás 10%-ot meghaladó növekedése. Ez a tény jelzi, hogy kialakított kísérleti elemeinkben a működés közben lejátszódó elektrokémiai irreverzibilis változások okai az elektrolitösszetétel változásának még 2000 órás üzemidő alatt sem tulajdoníthatók.

Bacon-típusú elektródokkal ellátott kísérleti elem tipikus elektródpolarizációját mutatja a 24-3. ábra a terhelő áramsűrűség függvényében különböző hőmérsékleteken. A polarizáció az anód- és katódoldal együttes polarizációját szemlélteti. Az ábrán bemutatott értékek szerint az elektrokémiai folyamathoz szükséges aktiválási (termikus) energia 660 °C környezetében már elegendő az optimális terhelhetőség eléréséhez.

Az elemek működése szempontjából fontos jellemzője az elektródok polarizációjának, a pórusszerkezetnek, stb. az üzemeltetés során az időbeni stabilitás. A 24-4. ábrán különböző fajlagos áramterhelések mellett az elektródok együttes polarizációjának változását mutatjuk be az üzemeltetési idő függvényében.

Látható, hogy 50 mA/cm<sup>2</sup> terhelés mellett az elektródok polarizációja az üzemeltetés során nem változik jelentősen. Érdekes ennek az eredménynek értelmezéséhez idézni azt a kísérleti tapasztalatot, hogy 0,2 V feletti polarizációs túlfeszültség mellett alkálikarbonát-ömladék elektrolízisének O<sub>2</sub> és CO<sub>2</sub> jelenik meg, míg ennél kisebb polarizációs túlfeszültség esetén csak O<sub>2</sub> transzport detektálható. Mivel az elektródkonstrukció olyan, hogy egy jelentős része elektrokémiailag nem funkcionál — elektrolitba merül — ezért a fentihez hasonló folyamatok létrehozására képes, azaz alkáli fém-oxidok kell, hogy megjelenjenek jelentős túlfeszültség mellett az elektród inaktív



24-4. ábra. Kísérleti elem típus együttes anód—katód oldali polarizációjának alakulása az üzemelési idő függvényében, különböző fajlagos áramsűrűségek esetére

tartományát határoló elektrolitban. E feltehetően tartósan irreverzibilis változások elkerülésére célszerű hosszú élettartamú rendszerek esetén az üzemmódot úgy megválasztani, hogy az elem elektródjainak együttes polarizációja ne haladja meg a 0,15... 0,2 V értéket.

#### 4. Bontott gázüzemű tüzelőanyag-elem hatásfoka

Visszatérve a 2.2. pont végén nyitva hagyott kérdésre, becsüljük meg bontott gázzal üzemelő tüzelőanyaggalval reális körülmények közt biztosítható összhatásfokot.  $A_j$  áramsűrűséggel terhelt elem  $U_k$  kapocsfeszültsége:

$$U_k = E_8 - jR - \Delta U_p, \quad (14)$$

ahol

$E_8$  a 24-2. ábra által a mindenkori anódgázösszetétellel meghatározott potenciál, V;

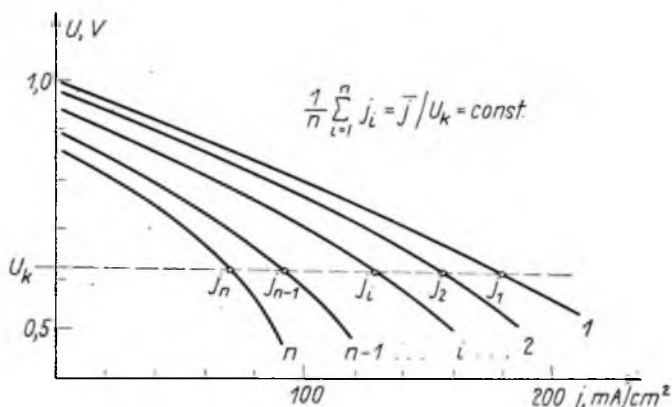
$R$  a cella 1 cm<sup>3</sup> elektrolitjának ellenállása,  $\Omega$  cm<sup>-2</sup>;

$\Delta U_p$  az elektródok együttes polarizációja  $j$  terhelőáram hatására, V.

A működő elem hatásfoka az anódgáz hidrogénkomponensének  $\alpha$  mértékű kisütéséig (l. 24-2. ábra):

$$\eta = \frac{8\alpha F U_k}{\Delta H_0 \text{ metán}}$$

Ha az  $\alpha$  értékről feltételezzük, hogy 0,8, azaz 80%-ig hasznosítjuk az anódgáz hidrogéntartalmát elektrokémiai konverzióval, akkor a 24-2. ábra szerint a cella  $E_8$  Nerst-potenciálja 0,78 V.  $1 \Omega/\text{cm}^2$  elektrolit-ellenállást feltételezve  $0,1 \text{ V} = jR$  rezisztív feszültségcsökkenés lép fel az elektrolitban, a polarizáció mértéke a 24-4. ábra szerint:  $\Delta U_p \approx 0,07 \text{ V}$ , tehát a (14) egyenlet értelmében a cella kapcsolásfeszültsége  $U_k = 0,61 \text{ V}$ , mivel  $\Delta H_{0, \text{metán}} = 191,8 \text{ kcal/mól}$ ,  $\eta$  értéke: 46,8%. Összehasonlításként  $\alpha = 0,7$  esetén:  $\eta = 41\%$ . A metán kalorikus fűtőértékére vonatkoztatva a maximálisan remélhető hatások gyakorlati körülmények közt tehát 45% körüli érték. Ez az érték természetesen csak akkor realizálható, ha az elektrokémiai áramforrás olyan teljesítményű, hogy a belső veszteségek (belső ellenálláson keletkező Joule-hő +  $j \Delta U_p$ . felelet) az üzemi hőmérsékletet képesek fenntartani. Részletes vizsgálatok szerint legalább néhány kilowattos teljesítményű egység szükséges ennek a feltételnek a teljesítéséhez.



24-5. ábra. Nagy elektródfelületű tüzelőanyag-elem üzemi fajlagos anizotrópiájának szemléltetése

Az előzőekben bemutatott számítással összefüggésben egy nagyon lényeges problémára célszerű rámutatnunk. A fajlagos áramsűrűségnek ez a kiválasztott értéke a reális tüzelőanyag-elemben tapasztalható inhomogenitás kialakulásának rendkívül nehezen kiküszöbölhető problémakörével függ össze. Nevezetesen nagy elektródfelületű (80...100 cm<sup>2</sup>) tüzelőanyag-elemek esetében a kísérleti, kis felületű elemek biztosította fajlagos értékek (fajlagos áramsűrűség — polarizáció) általában nem realizálhatók. Nagyobb felületű elem üzemeltetése során ugyanis a gázellátás kétféle módon biztosítható. Egyenletes lassú áramban átöblítjük az anód-, ill. katódtereket állandó irányú gázárammal, vagy megfelelően konstruált gázterelő pillérek beépítésével — elsősorban az elektródok jobb átöblítése érdekében — gázáramlási csatornákat alakítunk ki. Mindkét esetben villamosan párhuzamosan kapcsolt, gázellátás szempontjából soros üzemű  $n$  darab egyedi elemi egység-cellára bonthatjuk az 1 db nagy felületű tüzelőanyag-elemünket. Az  $n$  értékét a még homogén, gázterében azonos koncentrációjú legkisebb kiválasztható elemi egység határozza meg, feltételezve hogy az elektród minősége azonos. Az így nyert elemi cellák minden tagja a vizsgált egyedi kísérleti celláinkhoz hasonlóan viselkedik, azzal az eltéréssel, hogy mindegyik a megfelelő saját gázösszetételének megfelelő terhelési görbével jellemezhető — ahogy ezt a 24-5. ábrán szemléltetjük. A cellára jellemző  $\bar{j}$  átlagos áramsűrűség tehát reálisan a belépő friss anódgáz által borított elektródfelületeken lényegesen nagyobb fajlagos

áramsűrűséget képvisel, mint a cellát elhagyó „fáradt” anódgáz által fedett elektród-felületek által szolgáltatott járuléék. Ezzel együtt nyilvánvalóan a polarizáció mértéke is jelentősen eltér, tehát az elektrolit-igénybevétel („öregedés”) különböző mértékű kielégítő konverziós hatásfokú üzem biztosítása esetén.

## 5. Összefoglalás

A középhőmérsékletű, alkális-karbonát elektrolitú tüzelőanyag-elem kutatásának területéről bemutatott néhány eredmény, ill. az e kutatás során tapasztalt, zömében még megoldásra váró problémák kapcsán elsősorban a terület komplex jellegét kívántuk szemléltetni, s egyben a kiragadott példa kapcsán megmutatni egy lehetséges konstrukció várható leglényegesebb jellemzőit.

### Irodalom

- [1] *Dr. Simó Tamás*: A villamos energia közvetlen előállítás. A Villamosipari Kutató Intézet Közleményei. Budapest. 1969. 437—445.
- [2] *Krajcsovics F.—Gerzsenyi Gy.—Dávid P.*: A nagy hőmérsékletű tüzelőanyag-elemkutatás helyzete. A Villamosipari Kutató Intézet Közleményei. Budapest. [1972. 4. kötet. 213—225. oldal.
- [3] *Erdey-Grúz Tibor—Schay Géza*: Elméleti Fizikai Kémia. I, II, III. kötet. Bp. 1962.
- [4] *Broers, G. H. J.*: High Temperature Galvanic Fuel Cells. 1958. Amsterdam.



## Szilícium bázisú napelemek és tulajdonságaik

MOLNÁR ISTVÁN—HORVÁTH PÁL—JEDLOVSZKY PÁLNÉ

### ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők beszámolnak a fényenergia villamos energiává történő alakításának módszereiről, félvezető pn átmenetek felhasználásával. Megadják a folyamat mechanizmusának elemzése bázisán leszarmaztatott technológiai és anyagparaméter-feltételek optimalizációját. Kitérnek a problémakör félvezető-technológiai és szilárdtestfizikai vonatkozásaira. A kész szilícium bázisú napelemek tulajdonságainak, paramétereinek bemutatásával a felhasználáshoz szükséges információkat szolgáltatják.

### КРЕМНИЕВЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

*И. Молнар—П. Хорват—П. Йедловски-не*

#### Резюме

Авторы информируют о методе преобразования световой энергии в электрическую с использованием pn переходов в полупроводниках. Извещают об оптимизации условий параметров материалов и технологии, полученной на базе изучения механизма физического явления. Авторы останавливаются на аспектах данного круга проблем, касающихся полупроводниковой техники и физики твердых тел. Сообщаются информации, необходимые при эксплуатации путем демонстрации параметров и особенностей солнечных батарей на кремниевой базе.

### SOLARZELLEN AUF SILIZIUMBASIS UND IHRE EIGENSCHAFTEN

*I. Molnár—P. Horváth—Frau P. Jedlovsky*

#### Zusammenfassung

Die Verfasser berichten über die Methoden der Umwandlung der Lichtenergie in elektrische Energie unter Verwendung von Halbleiter-pn Übergängen. Es wird eine aus der Prozessanalyse abgeleitete Optimierung der Bedingungen der Verfahrens- und Materialparameter gegeben. Auch die Beziehungen des Komplexes zur Halbleitertechnologie und Festkörperphysik werden verdeutlicht. Die zum Einsatz erforderlichen Informationen werden durch die Erläuterung der Eigenschaften und der Parameter der Solarzellen auf Siliziumbasis gegeben.

# SILICON-BASED SOLAR CELLS AND THEIR PROPERTIES

By I. Molnár—P. Horváth—Mrs. P. Jedlovsky

## Summary

The authors deal with the method of converting light energy into electric energy by means of semiconductor pn junctions. Optimization of technological and material parameters based on analysing the mechanism of the process is given. Related problems of semiconductor technology and solid-state physics are also discussed. Information for application purposes is given by presenting the properties and parameters of actual silicon-base solar cells.

## 1. Bevezetés

A Nap sugárzó fényenergiájának elektromos energiává történő közvetlen átalakítása, s így a hasznosítása kapcsán elkerülhetetlen közhelynek tűnő bevezető megjegyzést tenni. S épp ennek látszó jellege miatt hajlamosak vagyunk a lényegyet elfelejteni: a Nap kevés kivétellel minden földi jelenség eredő forrása. Közvetett úton az élővilág megjelenésével együtt mintegy elengedhetetlen szükségletként megkezdődött a felhasználása a primitív élő szervezetek láncán át a kultúrnövényeket termesztő, a kőolajat kitermelő és fogyasztó stb. emberi tevékenységig. S amikor az energiaéhség vagy hasonló fogalmak kapcsán a lehetőségek elemzését [1], s ezzel nyilvánvalóan párhuzamosan a rendelkezésre álló vagy realizálható energiatermelő módok ma objektívnek látszó korlátait látjuk, megállapítható, hogy még ma sem kellő mértékben tudatos az a tény, hogy amilyen mértékben közhelynek látszó az előző kijelentésünk, legalább oly mértékben bánunk pazarlóan e természetes és szinte mindenütt rendelkezésünkre álló ingyen energiahordozóval.

A Nap sugárzó fényenergiájának a már említettekén kívüli felhasználására lehetőségként számos módszer kínálkozik. Az indirekt utak, mint pl. tükrös vagy lencsés rendszerű energiakoncentrátorok alkalmazása mellett nagyon biztonságosnak ígérkezik e fényenergiának közvetlenül villamos energiává történő átalakítása révén való hasznosítása. Hisz a növényi szervezetek fotoszintézise révén általában max. 7% körüli energiaátalakítási hatásokkal realizálódik bioaktív anyagok formájában, míg a jelenlegi technológiai bázison félvezető szilícium alapanyagú ún. napelemek alkalmazása 10...15% összhatófokot biztosít [2], [3]. Jelen tanulmányunk célja ezen eszköz alapvető tulajdonságainak és lehetőségeinek bemutatása.

A fényelektromos eszközök kutatásában és előállításában jelentős fellendülés következett be a szilárdtest-fizikai ismeretek bővülésével és a technológiák fejlődésével, mely ugrásszerűen a félvezető eszközök elterjedésével vált. Ki kell emelni, hogy a jó minőségű félvezető alapanyagok megjelenése a korábbi szelén vagy rézoxid bázisú jeldetektorok helyett jó hatásokkal mérhető direkt energiaátalakítók készítését tette lehetővé. Az ezen a területen az 1950-es évek végén megindult rendkívül intenzív kutatási munka eredményeként (elsősorban a Szovjetunióban és az USA-ban) szilícium alapanyag felhasználásával 10...12%-os hatásfokú napelemeket sikerült előállítani. A kutatási-fejlesztési munka ezekben az években elsősorban az űrkutatási programok felmerülő igényeinek kielégítését szolgálta, bár fellelhetőek különféle publikációk, melyek más, földfelszíni viszonyok közt üzemelő fogyasztók energiaellátásáról számoltak be. Elsősorban a félvezetőalapanyag-technológiák tökéletesítése következtében ma már nemcsak extrém esetekben van lehetőség arra, hogy fogyasztók energiaellátását napelemek felhasználásával biztosítsák annak ellenére, hogy lényeges

hatásfok-növekedést később részletezendő alapvető anyagszerkezeti okok miatt nem sikerült elérni.

A Villamosipari Kutató Intézetben a saját előállítású szilícium alapanyag bázis felhasználásával elért eredmények ismertetése előtt ismertetjük ezen eszközök működési alapjainak fizikai vonatkozásait.

## 2. Fényelektromos generátorok fizikai elmélete

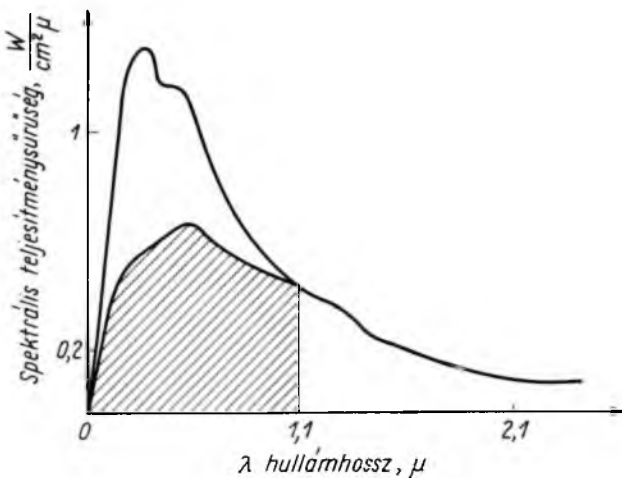
Tekintsünk egy sík felülettel határolt félvezető anyagot, amelyre az egyszerűség kedvéért merőlegesen fényt bocsátunk. Ha  $I_0(\lambda) d\lambda$  a  $(\lambda + d\lambda)$  és  $\lambda$  közti hullámhossz-intervallumban a beeső fényenergia fajlagos intenzitása, akkor a félvezető anyagból készült  $\delta$  vastagságú rétegen történő áthaladás után a rétegben az abszorpció következtében előálló intenzitás

$$I d\lambda = I_0(1-r)(1 - e^{-\alpha\delta}) d\lambda, \quad (1)$$

ahol  $r$  a reflexiók együttható;

$\alpha$  az abszorpciók együttható.

A teljes abszorbeálódott mennyiséget az (1) kifejezésnek a szóba jövő teljes intervallumra kiterjesztett integrációjával nyerjük.



25-1. ábra. A napspektrum és a szilíciumban elektron—lyuk pár gerjesztéssel hasznosítható része

Az  $I_0$ -ra érvényes kifejezést napsugárzás esetén a 25-1. ábrán ábrázoljuk. Az ábra a Naptól érkező fénysugárzás tengerszinten mért spektrális teljesítménysűrűségét ábrázolja a hullámhossz függvényében. Az ábrán bemutatott görbe jellegéből látható, hogy nagyon jó közelítéssel követi a fekete test Planck-féle sugárzási törvényét ( $T_{\text{eff}} = 5800 \text{ K}$ ), néhány %-nál nagyobb hibát nem is követünk el, ha a fajlagos intenzitás fenti összefüggésébe ezt helyettesítjük. A  $hc/\lambda$  energiájú foton abszorpciója a félvezető anyagok energiasáv-struktúrájának tulajdonságaiból eredően — amennyiben az abszorbeálódó foton energiája nagyobb, mint a félvezető anyag ún.  $\Delta E$  tilos sáv-szélessége — legnagyobb valószínűséggel elektron—lyuk pár gerjesztésével jön létre[5].

A megmaradási törvények ugyanis szigorú feltételeket írnak elő a folyamat lehetőségére. Ha  $E_c(\bar{K}_n)$  a fényabszorpció során a vezetési sávban gerjesztett  $\bar{K}_n$  hullámszámvektorú elektron energiája és  $E_v(\bar{K}_p)$  az ún. vegyértékkötési sávban az elektrongerjesztés során keletkező  $\bar{K}_p$  hullámszámvektorú lyuk energiája, akkor az energiamegmaradás törvénye értelmében

$$\frac{hc}{\lambda} = E_c(\bar{K}_n) + E_v(\bar{K}_p). \quad (2)$$

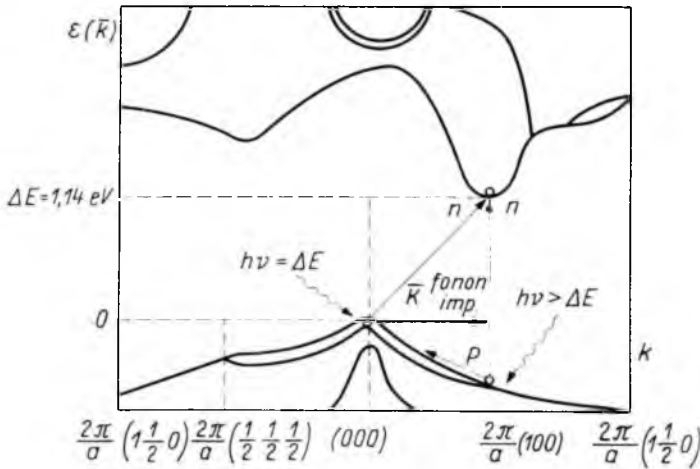
Az impulzusmegmaradási törvény értelmében viszont

$$\bar{K}_n - \bar{K}_p = \bar{K}_\lambda, \quad (3)$$

ahol  $\bar{K}_\lambda$  a  $\lambda$  hullámhosszú fényenergia-kvantum hullámszámvektora. Azonban reális körülményeket figyelembe véve: termikus energiával („kváziszabad” elektron a vezetési sávban és „kváziszabad” lyuk a vegyértékkötési sávban) rendelkező elektron, ill. lyuk  $T = 300$  K-on  $10^{-7}$  cm körüli hullámhosszal rendelkezik, míg félvezető Si esetén elektron—lyuk pár gerjesztésre (2) értelmében elegendő energiával rendelkező monokromatikus fény esetén  $|\bar{K}_\lambda| \sim 10^{-4}$  cm, ezért  $|\bar{K}_\lambda| \ll |\bar{K}_n|$ , így

$$\bar{K}_n \approx \bar{K}_p \quad (4)$$

feltételnek teljesülnie kell. Ez pedig azt jelenti, hogy a 25-2. ábrán bemutatott Si

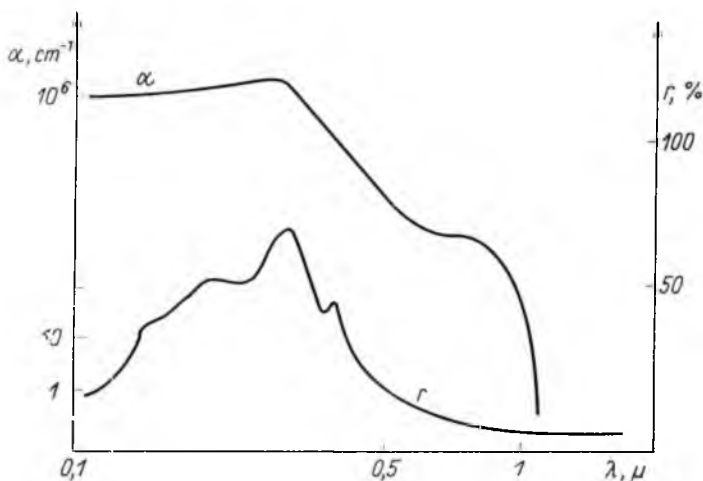


25-2. ábra. A félvezető szilícium egykristály energiasáv-szerkezetének részlete a hullámszámtérben ábrázolva

Szemléletesen a fotonabszorpcióra két példát mutatunk be: a három részecske (elektron, lyuk, foton) kölcsönhatásával végbemenő, és a kisebb valószínűségű, négy részecske (elektron lyuk, fonon, foton) kölcsönhatásával végbemenő folyamatra

energiasáv-struktúrája [7] értelmében mintegy „független”, azonos hullámszám melletti gerjesztés lehetséges. Ez az egyik magyarázata annak, hogy a Si napelemek esetén a spektrális érzékenységi maximum  $0,8 \mu$  körüli hullámhosszknál, azaz a  $\Delta E$  tilos sávszélességnél nagyobb energiájú fotonok esetén jelentkezik, az infravörös tartomány határán.

A Nap spektrum elektron-lyuk pár gerjesztésre rendelkezésre álló, valamint az e folyamat során elhasznált, azaz a fényelektromos generátorban hasznosított energiatartományát a 25-1. ábrán bevonalkázott területtel ábrázoltuk. A spektrumgörbe alatti terület és a jelzett terület közti nem hasznosított energiameennyiség egyrészt a generált töltéshordozók kinetikus energiája révén, másrészt fényenergia-abszorpciónál közvetlenül — a kristályrács fononspektrumának gerjesztése révén — fellépő Joule-hő formájában emeli az abszorbeáló anyagok hőmérsékletét. (Ennek értelmében a (2), (3) és (4) összefüggések csak a legvalószínűbb esetre érvényesek.)

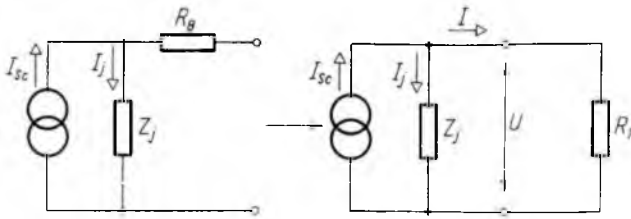


25-3. ábra. A Si egykristály reflexiós és abszorpciós együtthatója

Az aktuális tulajdonságú szilícium alapanyag abszorpciós és reflexiós együtthatóját a hullámhossz függvényében a 25-3. ábrán ábrázoljuk. Az (1) összefüggés, a 25-1. ábra szerinti napspektrum és a 25-3. ábrán bemutatott abszorpciós együttható ismeretében nyilvánvaló, hogy a fotonabszorpció a félvezető szilícium első néhány mikronnyi rétegében legalább 60%-ban lezajlik. A reflexiós együttható jellegében az elektromosan jól vezető anyagok ismert tulajdonságát mutatja, amely szerint a reflexiós tulajdonságok az abszorpció növekedésével növekednek [6].

Az eddigiek felhasználásával a generátor elméleti energiahasznosítási hatásfoka napspektrum esetén 46%. A generált töltéshordozók hasznosítása érdekében ezek legjobb hatásfokú szeparációja és összegyűjtése belső elektromos terek létrehozásával lehetséges. Erre az elméleti számításokkal egyezően [3] a legmegfelelőbb pn átmenet létrehozása. Nyilvánvaló, hogy a hatásfok további növelését a p és n tartományban a tömbön belüli folytonos koncentrációgradiens kialakításával biztosíthatjuk, különösen akkor, ha a lemez alakú eszköz vastagsága (pl. a kollektorokként funkcionáló p<sup>+</sup>, ill. n<sup>+</sup> rétegek távolsága) az abszorpció folytán generált töltéshordozók szabad úthosszánál lényegesen nagyobb (ebben az esetben ugyanis a folytonos koncentrációgradiens miatt fellépő potenciál addicionálisan befolyásolja a töltéshordozók diffúziós transzportját).

A továbbiakban fenomenologikus paraméterek bevezetésére célszerű a napelem helyettesítő kétpólusának képét használni. Egy R<sub>T</sub> terhelőellenállással terhelt fényelektromos generátor helyettesítő képe a 25-4. ábrán látható.



25-4. ábra. A napelem helyettesítő képe ( $Z_j$  a pn átmenet impedanciája a megvilágítás hatására)

A pn átmenetek elméletéből ismert összefüggés szerint egy ideális diódán  $U$  potenciál hatására az átfolyó áram

$$I_j = I_0 \left\{ \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right\} \quad (5)$$

és a Kirckhoff-törvény értelmében:

$$I = I_{sc} - I_0 \left\{ \exp\left(\frac{eU}{kT}\right) - 1 \right\}, \quad (6)$$

ahol  $I_0$  a hőmérséklet által a félvezető tömbben keletkező elektron—lyuk párokból adódó áram, amely ideálisan kivitelezett, nem megvilágított pn átmenet esetén a záróirányú telítési árammal mérhető, és  $I_{sc}$  a megvilágítás hatására a teljes — elektron és lyukáramból eredő — áramsűrűség, amelyet jó közelítéssel a megvilágított pn átmenet rövidzárási áramával mérhetünk (valójában additív tagként az egyenlet bal oldalához a rekombinációból eredő áramsűrűséget is figyelembe kellene venni, mint hatásfokrontó paramétert). Az előzőekben tett megfontolások szerint  $I_{sc}$ -re írható:

$$I_{sc} = \underbrace{\eta_0 (1-r)}_{\text{}} (1 - e^{-\alpha d}) N_{\text{foton}} e, \quad (7)$$

ahol  $\eta_0$  a gerjesztett elektron—lyuk párok összegyűjtési hatásfoka, amely könnyen belátható okok miatt a párgerjesztést okozó fénykvantum hullámhosszától erősen függ egy adott generátorkonstrukció esetén (a Si spektrális érzékenysége maximumánál 85% körüli érték elméleti számítások szerint biztosítható)  $N_{\text{foton}}$  a beeső fotonok átlagos száma. Az összefüggés jelzett része az elméletileg idealizált kivitelezést feltételezve Si-ra 0,35 körüli érték. Így 100 mW/cm<sup>2</sup>-es beeső fény-teljesítménysűrűség esetén (nyári, derült időben mért érték a tengerszinten a mi földrajzi szélességünkön)  $I_{sc \text{ max}} = 37 \text{ mA/cm}^2$ . A maximális mérhető  $U$  feszültséget a (6) összefüggésből kifejezve

$$U = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_{sc} - I}{I_0} - 1\right) \quad (8)$$

$I = 0$  esetére kapjuk.  $U$ -ra a technológiailag realizálható maximális érték 20 °C-on 0,6...0,61 V. Hőmérsékletfüggésére különféle konstrukciók esetén részletes vizsgálatokat végeztek [8]. Elért eredményeinkkel is egyezően p bázisú pn napelem esetén  $\Delta U/\Delta T = -1,8 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ .

Értelemszerűen következik a fentiekből, hogy a (6) és (8) összefüggés felhasználásával előállított teljesítményérték, a

$$P = IU \quad (9)$$

extrémumhelyéhez tartozó  $I_{\max}$  és  $U_{\max}$ -ra érvényes, hogy  $I_{\text{Sc}} > I_{\max}$  és  $U > U_{\max}$ , mely értékeket a (9) összefüggés extrémumhelyének megkeresésével lehet előállítani.

(9) összefüggésbe a (6) értékét behelyettesítve, az  $U$  szerinti differenciálást elvégezve és az eredményt nullával egyenlővé téve, majd rendezve, az

$$\left\{ \frac{1 + eU_{\max}}{KT} \right\} \exp \frac{eU_{\max}}{KT} = 1 + \frac{I_{\text{Sc}}}{I_0} = \exp \frac{eU}{KT} \quad (10)$$

egyenletet kielégítő  $U_{\max}$  értéket numerikusan meghatározhatjuk.

A (6) összefüggést  $I_{\max}$ -ra felírva, majd a (10)-ből az

$$\exp \frac{eU_{\max}}{KT} = \left\{ 1 + \frac{I_{\text{Sc}}}{I_0} \right\} \frac{1}{1 + \frac{eU_{\max}}{KT}}$$

összefüggést felhasználva, rendezés után kapjuk  $I_{\max}$ -ra:

$$I_{\max} = \frac{\frac{eU_{\max}}{KT} I_{\text{Sc}}}{1 + \frac{eU_{\max}}{KT}} \left\{ 1 + \frac{I_0}{I_{\text{Sc}}} \right\}. \quad (11)$$

Ezen  $I_{\max}$  érték csak a 25-4. ábrán bemutatott helyettesítő ábra  $R_B=0$  értéke esetén lenne biztosítható, azaz ha a generátor bázislemezének ellenállása elegendően kicsi lenne. Reális körülmények közt  $1 \text{ cm}^2$  felületű generátorelem esetén 1% összhatásfokromlást  $4 \Omega$  körüli belső ellenállás okoz, amely értéknek realizálása rendkívül nehéz technológiai feladat.

A kivethető maximális elektromos teljesítmény a (9) és (11) egyenletek alapján:

$$P_{\max} = \frac{\frac{eU_{\max}}{KT} U_{\max} I_{\text{Sc}}}{1 + \frac{eU_{\max}}{KT}} \left\{ 1 + \frac{I_0}{I_{\text{Sc}}} \right\}, \quad (12)$$

amelynek felhasználásával definiálható a fényelektromos generátor maximális hatásfoka:

$$\eta_{\max} = \frac{\frac{eU_{\max}}{KT} U_{\max} I_{\text{Sc}}}{1 + \frac{eU_{\max}}{KT}} \frac{1}{N_{\text{foton}} h\nu}. \quad (13)$$

Az elmondottak együttes értékelése eredményeként Si alapanyagból készített fényelektromos generátor maximális hatásfoka (napfényespektrumot feltételezve) nem haladhatja meg a 20%-ot. Összehasonlításként az irodalmi adatok alapján eddig elért legjobb hatásfokú generátor 14%-os fényenergia-hasznosítást biztosít.

Ezen elvi korlát magyarázza azt a bevezetőben említett körülményt, miszerint a technológiai—fejlesztési tevékenység lényeges hatásfokjavítást nem eredményezhet, következményei szinte kizárólagosan gazdaságossági paraméterekben jelentkezhetnek. Ezek viszont nagyfokú rentabilitást eredményezhetnek nagy volumenű villamosenergia-termelő rendszerek kialakításának perspektíváit tekintve.

### 3. Kísérleti és technológiai vonatkozások

Az előzőekben kifejtett elméleti megfontolások minél jobb kielégítése érdekében a vizsgálandó és megoldandó főbb kritériumok a következők:

- a) optimális alapanyag-paraméterek; egykristálystruktúrát feltételezve a bázisanyag elektromosan aktív, ill. inaktív szennyezéseinek optimalizációja, vezetőképesség, diszlokációsűrűség, kisebbségi töltéshordozók élettartama szerint;
- b) optimális pn átmenet mélység; az abszorpciós tulajdonságokat figyelembe véve napfény spektrum esetén a részletes vizsgálat  $0,1 \dots 1 \mu$  közötti tartományt jelöl ki az aktív felület alatt a pn átmenet mélységére, azonban konkrét, kísérletileg realizálható körülmények közt jelentős mértékben összefügg az *a* és *c* pontban elmondottakkal;
- c) optimális szennyezéskonzentráció a pn átmenet mindkét oldalán és a töltéshordozó kollektor félvezető-fémátmenetek tartományában;
- d) reflexiós veszteségek csökkentése; különös tekintettel arra a körülményre, hogy a reflexiómaximumot épp a napfény spektrum maximumának környezetében — *s* egyben az abszorpció maximumának környezetében mutat (25-3. ábra) — a probléma elemzése különösen indokolt. Könnyen igazolható elméleti megfontolásokkal [6], hogy ezen feltétel teljesítése maradék nélkül csak bizonyos rögzített hullámhosszak környezetében teljesíthető a felületre felvitt optikailag rögzített tulajdonságú hárttyák létrehozásával (a hárttya  $d$  vastagsága a választott  $\lambda$  hullámhosszal a  $d = \lambda/4$  összefüggést kell kielégítse és a törésmutatója az  $n > n_s$ ; feltételt kell, hogy teljesítse;) célszerűen választott  $800 \dots 1000 \text{ \AA}$  vastagságú szilíciumdioxid vagy stabilizált szilíciummonoxid a feltételeket kiválóan teljesíti;
- e) optimális geometriai konstrukció; a lemez alakú generátor vastagságára és dimenziójára ad követelményt és az *a*) és *b*) pontokban elmondottakkal összefüggésben a generátoron belüli ohmos jellegű veszteségek csökkentése érdekében a töltéshordozókat összegyűjtő fémkontaktusok méretezésére és elhelyezésére.

A felsorolt optimalizációs szempontok részletes és komplex elemzése alapján létrehozott néhány  $\text{cm}^2$  területű, különböző alakú (kör, négyzet, téglalap) napelemek közül egy típus lényegesebb jellemzőit a 25-5. ábrán bemutatjuk, összehasonlítva a pusztán elméleti megfontolások alapján várt jelleggörbével.

Az itt bemutatott tulajdonságú elemek soros — párhuzamos kötés kombinációjával szinte tetszőleges áram – feszültség karakterisztikájú telepek állíthatók össze, kezdve a néhány tized watt teljesítményű rádiókészülék akkumulátorának töltőgenerátoraként funkcionáló telep (25-6. és 25-7. ábra) vagy a 10 W nagyságrendű teljesítménnyel üzemelő vagy ezt meghaladó teljesítményű rendszerek (25-8. ábra) kialakításáig.

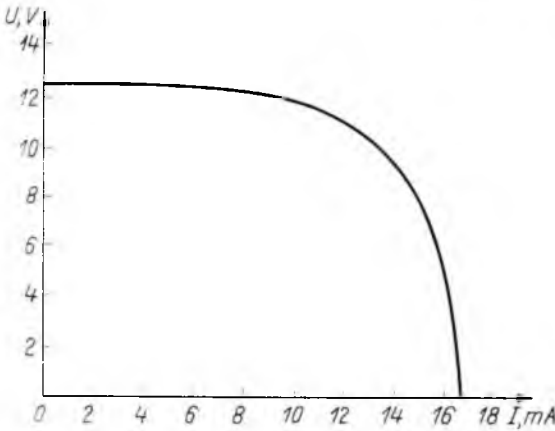
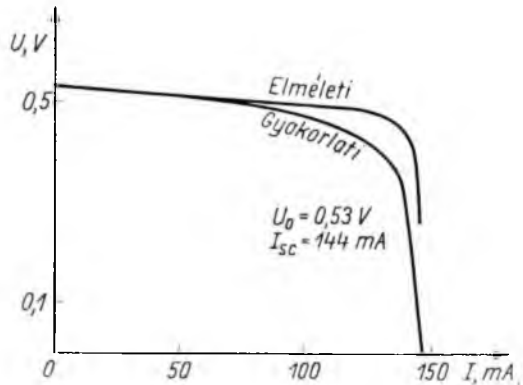
Természetesen szabadban üzemelő rendszerek esetén megfelelő klímaállásról kell gondoskodni. E célra kifejlesztett speciális konstrukciójú rendszereink ( $-40 \dots +90 \text{ }^\circ\text{C}$ -ig) szabadterepi működésre alkalmasak (25-8. ábra).

Az adott földrajzi és meteorológiai körülmények évszakonkénti változásában szélsőségesen mutakozó eltérések egyértelmű értékelhetősége érdekében a mindenkori terhelhetőségi állapot jellemzésére (mivel az  $U_K$  kapocsfeszültség kb. 3000 lx feletti megvilágításnál nagyobb értékek esetén — a nyári napfény több mint  $10^5 \text{ lx}$  — közelítőleg elhanyagolható mértékben változik), a nyári delelő nap sugárzási szintjére — te-



25-5. ábra. Szilícium bázisú napelem  
karakterisztikája

méret:  $24 \times 22 \times 0,35$  mm; aktív felület:  $4,55 \text{ cm}^2$ ;  
beeső teljesítménysűrűség napfényben  
 $\sim 95 \text{ mW/cm}^2$ ;  $\eta = 11,7\%$



25-6. ábra. Az SPH 222 tip. telep  
karakterisztikája átlagos napfényben  
mérve

hát a névleges telep teljesítményre — vonatkoztatott ekvivalens napsütéses órák számát bevezettük és definíció szerint

$$t_{\text{ekv}} = \frac{N \text{ (adott időszakban termelt elektromos energia)}}{P_{\text{névl}}}$$

értéket értjük rajta. Mérése a vizsgált időtartam alatt a telep kapocsfeszültségének konstans értékéhez tartozó áram durranógáz Coulomb-méterben történő integrációjával történik, rögzített betájolási szög mellett. Ezáltal napi vagy éppen havi eloszlásban rendelkezésre álló ekvivalens napsütéses órák száma méretezési és tervezési bázisadatokot szolgáltat, mivel  $t_{\text{ekv}} = \frac{t_{\text{reális}}}{C}$ . Az eddigi vizsgálataink szerint a  $C$  értéke

1,3...0,6 közti érték különböző meteorológiai körülmények közt ( $t_{\text{reális}}$  a tényleges napsütéses órák száma). Ugyanis míg derült nyári napsütésben, déli órákban felületegységenként a nap sugárzási teljesítménysűrűsége  $100 \dots 102 \text{ mW/cm}^2$ , addig télen hasonló körülmények közt ez az érték  $60 \dots 65 \text{ mW/cm}^2$ ; azonban erősen borult időben még mindig  $10 \dots 15 \text{ mW/cm}^2$  teljesítménysűrűség a felületelemre érkező szint. Tehát kb. 10 óra borult idő közel ekvivalens 1 órai napsütéssel a termelhető elektromos energia szempontjából.



25-7. ábra. Az SPH 222. tip. kereskedelmi forgalomban kapható telep rádióval

A felhasználási területekre általánosságban elmondható, hogy a napelem alkalmazása ott indokolt, ahol a fogyasztó működési funkcióját tekintve a hálózati villamos energiától függetlenül is kell hogy üzemeljen vagy ahol a villamosenergia-vezeték beruházási költsége aránytalanul magas, az ott működtetett fogyasztó villamosenergia-igényéhez képest.

Fentieket figyelembe véve alkalmazási területként elsősorban vezetékes hálózattól távol eső híradástechnikai átvivőláncok erősítőegységeinél, kihelyezett automatikus jelző- és figyelőberendezés áramforrásaként vehető számításba. Alkalmazható továbbá különféle hordozható meteorológiai, geodéziai, mezőgazdasági mérőműszerek és berendezések, hordozható rádiók, magnetofonok és egyéb, a közhasználatú vezetékes energiahálózattól távol eső berendezések tápáramforrásaként.

Az említett alkalmazási területeken felsorolt fogyasztók üzeme lehet szakaszos vagy állandó. A fogyasztók folyamatos energiaellátásának biztosítására akkumulátortelep alkalmazása – közbeiktatása – szükséges. Ez a teljesítményigényhez méretezett napelemtelepről tölthető. Amennyiben szakaszos üzemű berendezést táplál, akkor természetesen lényegesen kisebb teljesítményű napelemes energiátápegység is alkalmas a közbeiktatott akkumulátortelep megfelelő töltésére.

Konkrét példaként a fentiek illusztrálására szolgáljon az alábbi: egy nehezen megközelíthető terepen (pl. hegycsúcs) telepített 50 W teljesítményű rádióadóval ellátott figyelőautomatika üzemel (külön parancsra híradástechnikai átjátszó állomás, vagy pl. meteorológiai figyelőszolgálatot teljesítő rendszer). A vételkészégi állapot



25-8. ábra. 22 W névleges teljesítményű napelemes telep szerelten

(5 W teljesítménnyel) a napi időszak négyötöde. Adási időszak átlagban így egyötöd időtartam. A napi átlagos teljesítményfelvétel:

$$P_{\text{átl}} = \left( \frac{24 \cdot 4}{5} \cdot 5 \text{ Wh} + \frac{24}{5} \cdot 50 \text{ Wh} \right) \frac{1}{24 \text{ h}} = 14 \text{ W}.$$

Ha télen is folyamatos üzemet kívánunk tőle és teljesítményigényét napelemes teleppel kívánjuk kielégíteni, akkor havi energiaigénye

$$E = 14 \cdot 24 \cdot 30 \text{ Wh} = 10,1 \text{ kWh}.$$

Vizsgálataink szerint a téli hónapokban az ekvivalens napsütéses órák számának minimuma 60 h/hó körüli érték a magyarországi kedvezőtlen meteorológiai körülményeket feltételezve — szemben az októberi vagy akár márciusi 150 h/hó körüli értékkel. Ez 80% körüli feszültségstabilizálási és töltéstárolási hatásfokot feltételezve 210 W teljesítményigényt jelent a napelemes telepre vonatkozóan. Ennek ugyanakkor kihasználtsági hatásfoka nyári hónapokban maximálisan 30%. Összevetve azonban

a hálózatépítési beruházási költségekkel, vagy akár az akkumulátorok töltésének biztosítására a majdnem folyamatos felügyelettel és üzemeltetési költségekkel, a napelemes telep beruházási költsége, mely ebben az esetben alig haladja meg a 0,6 MFt-ot, messze alatta marad az egyéb lehetséges megoldások teljes költségének.

Ha az előbbi példában szereplő adatnál figyelembe vesszük azt a körülményt, hogy nyári időszakban a napi termelt energia 1,5...2 kWh, akkor nagyobb teljesítményű szakaszos üzemű fogyasztó igénye is biztonsággal kielégíthető — pl. mezőgazdasági termelőüzemekben, ahol a munkaszükséglet a meteorológiai ciklusokkal természetesen közeli szinkront mutat.

Az előzőekben említettek példaként szolgáltak annak illusztrálására, hogy ezen közel másféléves múltra tekintő kutatási munka eredményeit a népgazdaság mely területein lehet, milyen speciális paraméterek mellett felhasználni.

### Irodalom

- [1] *Simonyi Károly*: Elektrotechnika 60. évf. 5. sz. 1967. 207...216. old.
- [2] *Loferski, J. J.*: Proceedings of the IEEE. 51. (1963) 667...674.
- [3] *Ellis, B.—Moss, T. S.*: Solid-State Electronics. Pergamon Press 1970. Vol. 13. 1—24.
- [4] *Wolf, M.*: Proceedings of the IRE. 48 (1960) 1246...1263.
- [5] *Macfarlane, G. G.—Mc Lean T. P.—Quarrington, J. E.—Roberts, V.*: Proc. Phys. Soc., 71 (1958) 863.
- [6] *Horváth János*: Optika. Tankönyvkiadó. Budapest, 1966. 103...110.
- [7] *Anszelm*: Bevezetés a félvezetők elméletébe (oroszul) (1962) Moszkva.
- [8] *Keunerud, K. L.*: IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems. Vol. AES-3. 1967. 586...690.

# VILLAMOS KÉSZÜLÉK FŐOSZTÁLY



# 26.

## A VKI Villamos Készülék Főosztályának 25 éves munkássága

*DR. NÉVERI ISTVÁN*

### 1. Bevezetés

A villamos készülékek szerepét sokszor még a villamos szakemberek sem látják világosan, lebecsülik a készülékek fontosságát és az áramkörök kialakításakor másodrendű jelentőséget tulajdonítanak nekik. Pedig amennyire igaz az, hogy korszerű ipar nem képzelhető el magas színvonalon álló villamosítás nélkül, annyira igaz az is, hogy a villamos energia termelése, elosztása és üzembiztos felhasználása nem valósítható meg fejlett konstrukciójú, megbízható kapcsolókészülékek nélkül. A kapcsolókészülékek feladata az áramkörök zárásán és nyitásán kívül az áramköri elemek és fogyasztóberendezések védelme is. Így mindjárt belátható, hogy egy-egy készülék — ha megbízhatóan látja el feladatát és a tervező kellő körültekintéssel választotta meg a megfelelő típust — saját áránál nagyságrendekkel nagyobb értékek megvédésére hivatott. A készülékek helytelen kiválasztása vagy hibás készülékműködés azonban nemcsak a védendő berendezések értékének megfelelő károkat okozhat, hanem pl. egy korszerű, automatizált termelési folyamat leállításával, több milliós értékű termelőkiesés is bekövetkezhet. Mindezek alapján mondhatjuk, hogy a kapcsolókészülékek szerepe egyáltalán nem elhanyagolható, sőt a kapcsolókészülék a villamosenergia-ellátás egyik legfontosabb eleme.

A felszabadulás után, a régi licenckapcsolatok megszűntével, a magyar iparnak nemcsak a gyárak üzemképessé tétele jelentett gondot, hanem biztosítani kellett az önálló fejlesztés feltételeit is. A készülékipar különösen nehéz helyzetben volt, hiszen a második világháború előtt úgyszólván teljesen a nagy nyugati cégek fejlesztési tevékenységére támaszkodott. Létkérdéssé vált az önálló gyártmányfejlesztés megteremtése, amely korszerű kutatási tevékenység nélkül már akkor is elképzelhetetlennek látszott. Ezt a tényt a VKI vezetősége már az Intézet megalakulásának pillanatában felismerte, ezért 1949-től növekvő szellemi kapacitást fordítottunk készülékkutatásra. Az első években csak pár főből álló kis csoport, később Dr. Rusznyák Endre kandidátus vezetésével külön osztály foglalkozott a villamos kapcsolókészülékekkel, majd az Intézet új székházának és ezzel a nagyteljesítményű zárlati laboratóriumok elkészítésével, megteremtődött az alapfeltétele a Villamos Készülék Főosztály megszervezésének, amely 1965-ben meg is alakult Dr. Mocsáry József kandidátus vezetésével.

A kapcsolókészülékek kutatása és fejlesztése meglehetősen széles körű ismereteket követel a témával foglalkozó szakemberektől. A villamos forgógépek és transzformátorok méretezésére — mivel ezeket általában állandósult üzemre kell méretezni — viszonylag egyszerűen kezelhető matematikai formulák állnak rendelkezésre, ezzel szemben a kapcsolókészülékeket működésük közben villamos, mechanikai és hőtranziensek egész sora veszi igénybe. A készülékek méretezése ezért egyszerű módszerekkel nem lehetséges, a legtöbb esetben nagyszámú kísérlet alapján kialakított közelítő, empirikus formulákat kell alkalmaznunk. A számítógépek alkalmazása valamivel közelebb hozta ugyan az egzakt méretezés lehetőségét, a modellkísérletek és a direkt

vizsgálatok azonban ma sem nélkülözhetők. A készülékfejlesztés során, az ívöltással kapcsolatos ívfizikai problémák mellett, az áramutak dinamikus és termikus igénybevételeivel, a működtetőszervezetek, pl. működtetőmágnes tranzienst viszonyaival, az érintkezőanyagok anyagtechnológiai kérdéseivel, valamint szigetelőanyagok ív- és hőállóságával is foglalkozni kell, amelyek a villamosmérnöki ismeretekén túl fizikus, gépész, metallográfus és vegyész szakemberek összehangolt tevékenységét igényelik. Alapvető fontosságú még — a szükséges kísérletek és vizsgálatok elvégzéséhez — a magas színvonalú, nagy teljesítményű próbaberendezések és korszerű mérés-technikai lehetőségek kialakítása. Mindezek alapján nyilvánvaló, hogy komoly apparátus, a megfelelő alapfeltételek kialakítása nélkül elfogadható eredmények elérése reménytelen.

## 2. A főosztály jelentős eredményei

Az elmúlt 25 év alatt, a készülékkutatás alapfeltételeinek fokozatos megteremtésével párhuzamosan foglalkoztunk az egyes kutatási témákkal, mindig az adott időszaknak megfelelő legfontosabb ipari igények és a pillanatnyilag meglévő lehetőségek összehangolásával. Az első időkben — néhány alapvető elvi kutatási feladat mellett (pl. ívfizika, villamos érintkezés elmélete stb.) — súllyal a közép- és kismegfeszítésű biztosító-kutatással foglalkoztunk, ami még a mostoha lehetőségek mellett is eredményességgel kecsegtetett. A biztosító-kutatás terén elért igen jelentős eredményeink bázisán, a későbbiek során a kismegfeszítésű mechanikus kapcsolókészülékek kutatásához is hozzáfoghattunk. Ennek már alapfeltétele volt a saját kismegfeszítésű, nagy teljesítményű váltakozóáramú és a később kifejlesztett egyenáramú zárlati laboratórium. Néhány éve középfeszítésű mechanikus kapcsolókészülékek kutatás—fejlesztési munkáival is elkezdhattunk foglalkozni; első lépésként az egyszerű készülékfajtákat véve, mint pl. szakaszoló, szabadtéri oszlopkapcsoló, áramváltó stb. Ez utóbbi feladatok megoldásához szükséges próbalehetőségre a szomszédos Villamosenergiaipari Kutató Intézet laboratóriumaiban nyílt lehetőség, ahol a két intézet között kialakult igen jó kapcsolat biztosította számunkra is a szükséges fejlesztési—kutatási vizsgálatok zavartalan lebonyolítását. A komolyabb mértékű kutatási munka a közép- és nagyfeszítésű mechanikus kapcsolókészülékek területén (megszakítók, terheléskapcsolók stb.), egyébként jelenleg még nem is szükségszerű igény, hiszen e téren a készülékgyártás elsősorban külföldi licenciák alapján gyárt. A feladat itt inkább külföldi termékek adaptációjával és kisebb jelentőségű továbbfejlesztési kérdésekkel kapcsolatos, amihez a VEIKI és a külföldi nagyfeszítésű, nagyteljesítményű zárlati laboratóriumok képezik a fejlesztési és minősítő vizsgálatok alapját. Ezekben a vizsgálati kérdésekben inkább csak szaktanácsadással és a vizsgálati programok összeállításában és lefolytatásában nyújtott segítségadással vettünk részt.

A következőkben a főosztály jelentős eredményeit tételesen ismertetem, súllyal az utolsó öt évet figyelembe véve, mivel az Intézet 20 éves fennállásával kapcsolatban az eddigi tevékenységről a VKI Közlemények 3. kötetében számoltunk be [1].

### 2.1 Áramkorlátozó olvadóbiztosítók

Az áramkorlátozó olvadóbiztosítók kialakítására irányuló kutatási tevékenységünk elsősorban a készülékben lejátszódó alapvető fizikai folyamatok megismerésére irányult, majd tisztáztuk azokat a paramétereket, amelyek befolyásolják a készüléktől megkívánt feladatok végrehajtását. Elsősorban a biztosítóban levő olvadóelemek

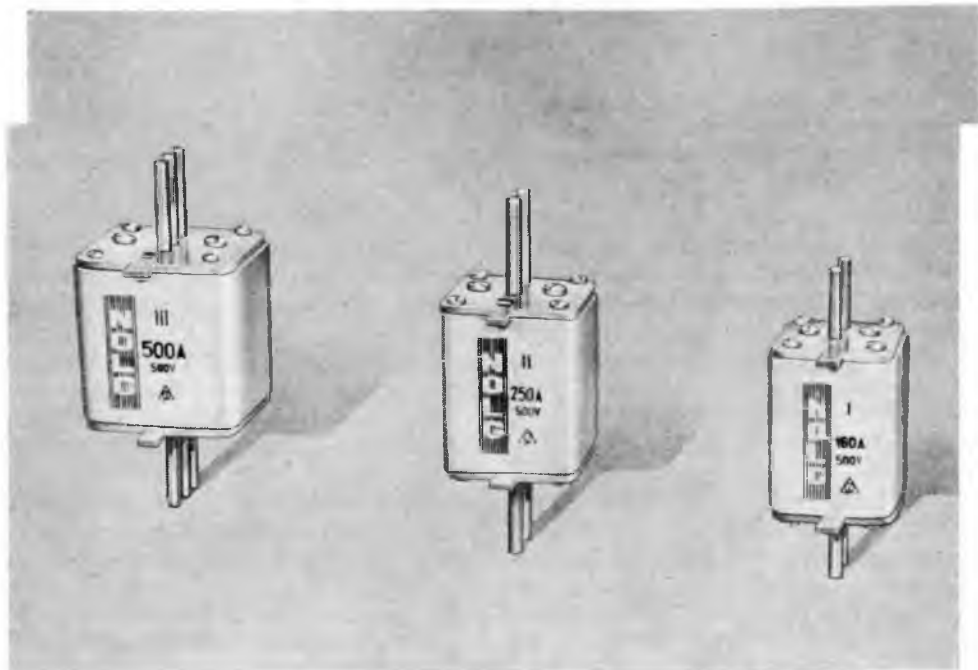


(olvadószalak, olvadólemezek) helyes kialakítására törekedtünk, hogy a megfelelő megszakítóképeség mellett a kívánt áramkorlátozást biztosítsuk veszélyes kapcsolási túlfeszültségek keletkezése nélkül. Foglalkoznunk kellett a biztosítók ívöltő közegeinek, a kvarchomoknak a kiválasztásával, a biztosítóházak, valamint a kivezető sínek méretezésével és kialakításával is. Világosan láttuk, hogy nem elégséges a kívánt működési paraméterekkel rendelkező biztosítók kísérleti kialakítása, feltétlenül gondoskodnunk kell a megfelelő szintű gyártástechnológia bevezetéséről. Így vált a biztosítókutatás a hazai kutatási módszer követendő példájává, nevezetesen, hogy az Intézet feladatának kell, hogy tekintse a gyártásbevezetés megfelelő megoldását, sőt szükség esetén egyes — a sorozatgyártáshoz szükséges — célgépek kialakítását is. Ezáltal elkerülhettük a két és fél évtizedes kutatómunka során, hogy ezen a téren is licencvásárlásra kényszerüljön a készülékgyártás, sőt nyugodt lelkiismerettel állíthatjuk, hogy az állandó kutatási munka eredményeként az első típusok kidolgozása óta a világszínvonalat folyamatosan követő, jól exportálható hazai termékkel rendelkezünk. Ez a kutatási tevékenységünk példázza, hogy jól összehangolt kutatási és gyártási tevékenység képessé teszi a magyar készülékgyártó hazai konstrukciójú termékek korszerű gyártására.

A középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosító kutatásának első lépéseként a lépcsősen változó keresztmetszetű olvadószalakkal rendelkező NNG típusú biztosítósorozatot alakítottuk ki. Az igények növekedésével és a nemzetközi vizsgálati előírások pontosításával néhány éven belül korszerűtlenné vált az NNG típusú biztosító, de ekkorra már kifejlesztettük a többszörös megszakítást eredményező olvadószal-szerkezettel rendelkező NNGf és NNGfe jelű olvadóbiztosító-sorozatot, amely az igényeknek megfelelően 3...35 kV feszültségtartományban az összes kívánt típust tartalmazza. Az NNGfe típusnál — elsősorban az exportigények kielégítésére — már gondoskodtunk arról is, hogy mind a foglalat mérete mind a biztosítók kioldását jelző szerkezet olyan legyen, amely a hazai felhasználás mellett, bármely fejlett ipari berendezésben elhelyezhető [2].

A kiefeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal kapcsolatos kutatási munka eredményeként a korszerű biztosítók egész sorát dolgoztuk ki, amelyeknek gyártásbevezetéséről is gondoskodtunk. Elsősorban a késes rendszerű, az elosztóhálózatok védelmére szolgáló típusokkal foglalkoztunk (S-NOL típusú biztosítósorozat), majd félvezető egyenirányítók és egyenirányító berendezések védelmére szolgáló diódavédő biztosítósorozatot is kialakítottunk, a felhasználók és a gyártó vállalatok igényeinek megfelelően (NOGe és NOSi típusú biztosítósorozat). Legújabb kutatási tevékenységünk arra irányult, hogy az eddigi 630 A névleges áramerősségnél nagyobb áramerősségű típusok is gyárthatók legyenek a legkorszerűbb igények kielégítésére. Így elkészültek a 800, 1000 és 1250 A névleges áramerősségű 100 kA<sub>eff</sub> megszakítóképeségű típusok, amelyekkel nemzetközi viszonylatban is jelentős eredményt értünk el, különösen ha tekintetbe vesszük, hogy a legjobb külföldi cégek is csak 1000 A névleges áramerősségig készítenek kiefeszültségű biztosítókat.

A gyors- és késleltetett (lomha) kioldadási jelleggörbéjű biztosítók előnyös tulajdonságait sikerült egyesítenünk a lomha-gyors, azaz kombinált kioldadási jelleggörbéjű NOLG-típusú sorozat kialakításával [3] (26-1. ábra). Külföldi megrendelők és hazai felhasználók, különösen az áramszolgáltató vállalatok igénylik a minél kisebb veszteséget okozó biztosítótípusok kidolgozását. Elsősorban a kisebb névleges áramerősségű típusok esetében szükséges, a kedvező műszaki paraméterek megtartása mellett, a biztosítóban fellépő wattvesztés minél kisebb értékre való korlátozása. Ez igen nehéz műszaki feladatot jelent, mivel a veszteségek csökkentéséhez nagyobb olvadó-



26-1. ábra. A Főosztály kutatási munkája alapján gyártott típusú biztosítósorozat

szál-keresztmetszet szükséges, a több fém bevitelle a biztosítóbetétekbe viszont rontja a megszakítóképességet és megváltoztatja a kiolvadási jelleggörbét. Kutatási színvonalunkra jellemző, hogy ezt az igen súlyos problémát is sikerült úgyszólván hónapok alatt megoldanunk és a VNOLG-típusú, veszteségszegény biztosítók a korábbi NOLG-típusok veszteségének csupán 60...70%-a mellett a kívánt kiolvadási paramétereket is betartják. A veszteségszegény biztosítók így, a többmillió darabszámú felhasználást figyelembe véve, jelentős villamosenergia-megtakarítást is eredményeznek.

## 2.2 Villamos érintkezők kutatása

A mechanikus kapcsolókészülékek legfontosabb elemei az érintkezők, amelyek feladata az áram vezetésén kívül az áramkörök nyitása és zárása. Az erősáramú érintkezők között a kapcsolási folyamatok során ív keletkezik, ami az érintkezők felületét roncsolja és ezáltal érintkezőanyag-fogyás lép fel. A készülékek villamos élettartamát az érintkezők ívállósága határozza meg. Fontos paraméterek még az érintkezők anyagának kiválasztásakor és az érintkezés minőségének meghatározásakor az érintkezési ellenállás és a hegedésállóság. Kutatási feladataink arra irányulnak, hogy e szempontok szem előtt tartásával határozzuk meg mindazokat a paramétereket, amelyek az érintkezők megbízható működését befolyásolják és tudományos alappal képesek legyünk mind az érintkezőanyag-összetétel, mind pedig a konstrukciós megoldás tekintetében az optimális viszonyokat meghatározni.

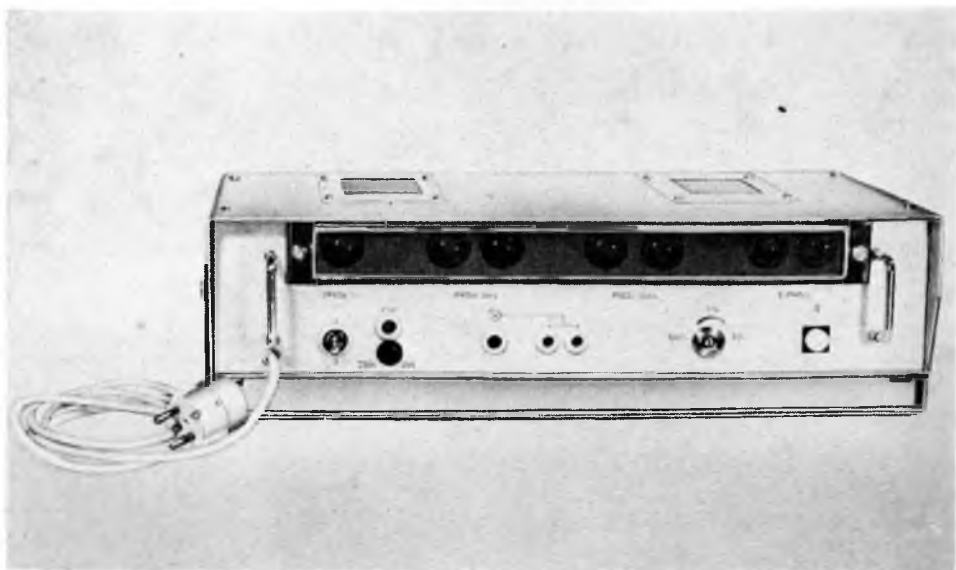
A témához kapcsolódó kutatási munkánkban elsősorban a kisfeszültségű kontaktorok érintkezőinek megválasztásával foglalkoztunk, de feladataink között szere-

pelt a közép- és kisfeszültségű megszakítókban alkalmazandó érintkezők kiválasztása is. Külföldi eredményekre támaszkodva, saját elméleti és kísérleti munkánk alapján, sok tekintetben sikerült a témát bizonyos mértékig továbbfejleszteni. Meghatároztuk, hogy a különféle áramerősségű kontaktorokban milyen összetételű és gyártási technológiájú érintkezőanyagot célszerű alkalmazni a nagyobb élettartam és a megbízhatóbb működés elérése érdekében. A különféle ezüst alapú érintkezőanyagok közül elsősorban az ezüstkadmiumoxid, az ezüstnikkel és egyes területeken a színezüst érintkezők alkalmazása mutatkozott célszerűnek. A többalkotós érintkezőanyagok esetében — a Vasipari Kutató Intézzel és az Állami Pénzverővel együttműködve — az összetétel százalékos arányának meghatározásán túlmenően a gyártási technológiára és a mikroszkópi vizsgálatok értékelésére is javaslatokat dolgoztunk ki. A megszakítók ívhúzó érintkezői számára szóba jöhető wolfram—réz és wolfram—ezüst érintkezőanyagok vizsgálatával is foglalkoztunk, amelyekre vonatkozóan szintén értékes megállapításokat tettünk. Az érintkezőanyagok megválasztásán túlmenően elsősorban a VBKM Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyárával együttműködve fontos konstrukciós paramétereket is kidolgoztunk és méretezési eljárást készítettünk. E munkánk alapján ma már sokkal pontosabban lehet meghatározni egy új készülékben alkalmazandó érintkező anyagát, alakját, méreteit és az áram hozzávezetésének kialakítását. Kutatásaink eredményességét az ipari felhasználáson túlmenően számos külföldi és hazai előadás és publikáció fémjelzi. Bekapcsolódhattunk az Érintkezőjelenségek Nemzetközi Konferenciája szakértői bizottságának munkájába, valamint több javaslatunkat és vizsgálati módszerünket elfogadták és átvették a KGST országok megfelelő kutató- és fejlesztőintézetei. Az általunk kidolgozott érintkezőanyagvizsgáló berendezés ma már országunkon kívül számos szocialista ország érintkezőanyagvizsgálatának egyik alapkészüléke.

Kutatási eredményeink közül különösen említésre méltóak az érintkezők méreteinek optimális meghatározására kidolgozott módszereink, a kikapcsolási sebesség szerepére vonatkozó meghatározásaink és az óránkénti kapcsolási számnak az érintkezők anyagfogyására kifejtett hatásával kapcsolatos megállapításaink. Nagy gyakorlati jelentőséget tulajdonítunk az újabb kutatási munkáink közül az MTA Izotóp Intézetének bevonásával végzett elméleti és kísérleti munkáinknak, amelyek arra irányulnak, hogy izotópos vizsgálati módszerekkel állapítsuk meg a különféle érintkezőanyagok működése közben fellépő anyagfogyást és az anyagviszanyerés mértékét. Az ív hatására az egyik érintkezőről a másik érintkezőre átrakódó érintkezőanyag ugyanis jelentős szerepet játszhat az érintkezők élettartamának meghatározásakor. A különféle összetételű érintkezőanyagok párosításával, az anyagviszanyerés mértékének és irányának tudatos befolyásolásával már eddig is jelentős kezdeti eredményeket értünk el és a továbbiakban mind műszaki, mind gazdasági szempontból további eredmények-re számítunk [4].

Nagymértékben befolyásolja az érintkezők élettartamát a bekapcsoláskor fellépő pattogás jelensége. Az áramkör zárásakor ugyanis az érintkezők összeérésének pillanatában a rugalmas ütközés szabályainak megfelelően általában kisebb-nagyobb mértékű pattogás tapasztalható. A sorozatban gyártott készülékek esetén mindenkor számolnunk kell bizonyos mértékű visszapattanással, annak teljes elkerülése ugyanis csak igen költséges eljárásokkal lehetséges. A pattogási jelenség hatásainak vizsgálatára a Budapesti Műszaki Egyetem Nagyfeszültségű Technika és Készülékek Tanszékével közösen különféle kutatási munkákat végeztünk, melyek eredményeként meghatároztuk a gyakorlat számára még megengedhető pattogás mértékét. Mind a kutatási munka megkönnyítésére, mind a készülékek minőségének ellenőrzésére elektronikus elven működő visszapattanás-számláló készüléket készítettünk (26-2.

ábra), amely alkalmas a visszapattanások számának meghatározására, valamint a bekapcsolás pillanatától az egyes visszapattanások bekövetkezéséig eltelt idő regisztrálására. E vizsgáló készülékünket ma már számos hazai és külföldi vállalat használja eredményesen.

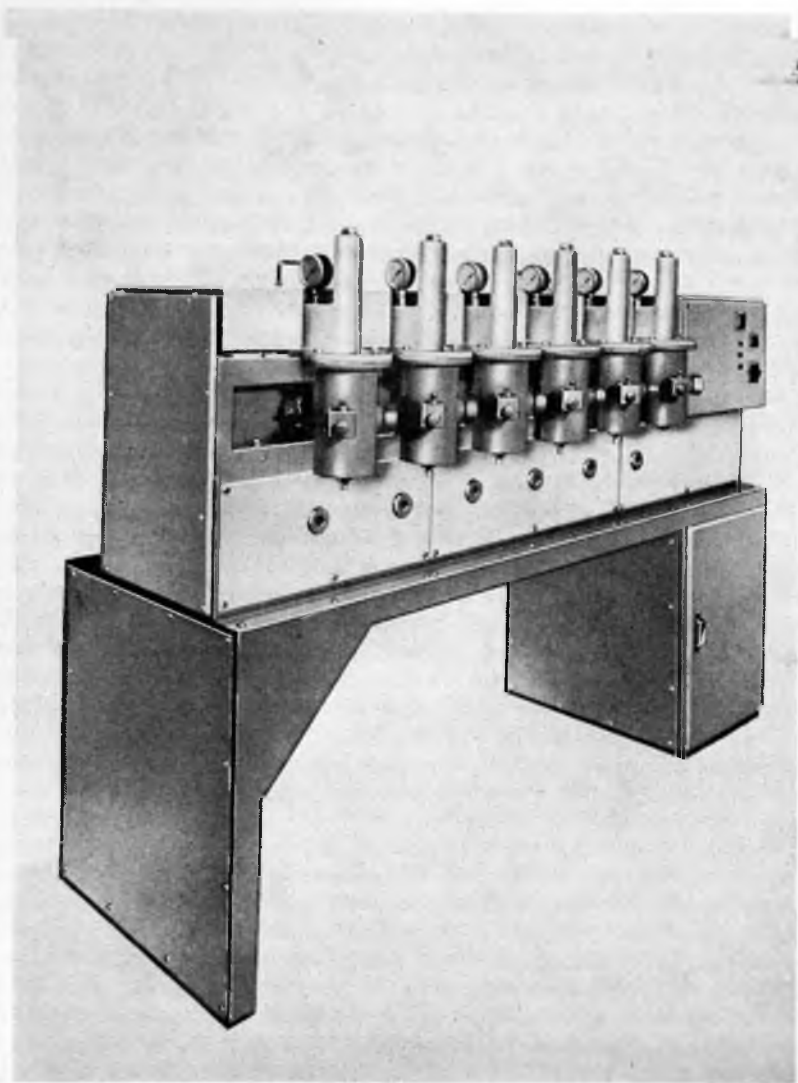


26-2. ábra. Mechanikus kapcsolókészülékek visszapattanásának számlálására alkalmas regisztrálókészülék

Az érintkezők kutatásával kapcsolatban azt is vizsgáljuk, hogy a különféle ívöltő gázokban, szilárd gázfejlesztő anyagok környezetében és vákuumban üzemelő érintkezők megválasztásakor milyen új szempontokat kell figyelembe vennünk. A vizsgálatok elvégzésére új, nagyteljesítményű vizsgálóberendezést alakítottunk ki (26-3. ábra), mellyel a vizsgálatok még folyamatban vannak.

### 2.3 Kisfeszültségű kapcsolókészülékek ívöltési viszonyainak vizsgálata

Az érintkezők helyes kialakítása mellett szükséges az egyes készülékfajtákhoz illeszkedő legmegfelelőbb ívöltőkamra-típus megválasztása, a kikapcsoláskor megjelenő villamos ív biztos kioltása érdekében. A jól kialakított ívöltőkamra is csak akkor lehet azonban hatásos, ha biztosítjuk a fellépő ívnek az oltókamrába való bejutását. Ehhez az áramutak olyan kialakítása szükséges, amely az áram dinamikus erőhatását kihasználva, bekényszeríti az ívet az oltótérbe. A kérdések tisztázására a VBKM Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyáranak megrendelésére, a Budapesti Műszaki Egyetem Nagyfeszültségű Technika és Készülékek Tanszékével közösen komoly kutatási programot dolgoztunk ki, amelynek eredményeként ma már vállalkozni tudunk pl. egy kisfeszültségű kontaktor ívöltő rendszerének méretezésére. Az áramút kialakításával, az érintkezők megfelelő kialakítása esetén előre meg tudjuk állapítani, hogy milyen sebességgel indul el az ív az érintkezők közül az oltókamra felé [5].



26-3. ábra. Érintkezőanyag-vizsgáló készülék, amely alkalmas a különféle ivóvíz közegek hatásainak meghatározására

A váltakozóáramú kisfeszültségű kontaktor deionlemezestöltőkamráihoz — kutatási munkáink eredményeként. — meghatározható az alkalmazandó vas oltólemezek száma, mérete és optimális alakja.

A téma alapos megismerésének jellemzésére csak egy példát említünk. A gyártó ipar kívánására igen rövid idő alatt alkalmassá tettük a 100, 160 és 250 A névleges áramerősségű, 380 V-os kontaktorokat 660 V feszültségszinten történő üzemeltetésre, olyan formában, hogy az ivóvíz szerkezet megfelelő, viszonylag egyszerű átalakításával a kontaktorok a növelt feszültséggel is képesek a korábbi 380 V-ra vonatkozó kapcsó-

lási teljesítményeket kapcsolni. A példaként említett megoldás azért jellemző, mert tudatosan, a jelenségek pontos ismeretének birtokában, igen gyorsan értük el a kívánt eredményt, tehát megtakarítottuk a korábbi gyakorlatnak megfelelő, hosszadalmas kísérleti munkákat.

Az oltókamra-kutatáshoz is igénybe vettük az MTA Izotóp Intézetének közreműködését az izotópos vizsgálati módszer alkalmazásával. Az általunk kialakított deionlemez oltókamrák lemezeinek igénybevételét és a lemezekre rakódó érintkezőfém mennyiségét olyan módon határozzuk meg, hogy aktivált érintkezőket alkalmazva lemezenként meghatározzuk a felületen olykor csak nyomokban észlelhető érintkezőfém mennyiségét. Ezáltal követni lehet az egyes lemezek ivóltásban való szerepét, aminek alapján az optimális oltókamrakiképzés viszonylag gyorsan meghatározható.

## 2.4 Kísfeszültségű kontaktorok egységes méretezési módszere

Az érintkezőkön és az ivóltókamrákon, valamint áramút-elrendezéseken kívül hosszú ideig foglalkoztunk a működtetőmágnesekben lejátszódó jelenségek kutatásával és a készülék traziens mechanikai és hőigénybevételével is. A kontaktorok kialakításakor azonban nem elégséges az egyes alkatrészek optimális viszonyainak külön-külön történő biztosítása, gondoskodni kell arról is, hogy a komplett készülék, az egyes alkatrészek egymásrahatása esetén is a lehető legkedvezőbb paraméterekkel rendelkezzen. Hiába választjuk ki például a legkedvezőbb érintkezőanyagot és hiába határozzuk meg az adott célra optimális érintkezőméretet, ha az egyébként kedvező paraméterekkel rendelkező működtetőmágnes az érintkezőrendszerrel összeépítve, bekapcsoláskor az érintkezők nagymértékű pattogását okozza. Ezzel, az eredetileg több millió kapcsolásra méretezett érintkezők élettartama a tizedére is csökkenhet, vagy a melegedési szempontból jól méretezett működtetőmágnes a készülékbe beépítve meg nem engedett mértékben túlmelegedhet, ha a kioldók, vagy az áramvezető részek elhelyezésük-nél fogva a mágnes további melegedését okozzák. Mindezek figyelembevételével, a Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyárának megrendelésére, az egész készülékre vonatkozó egységes méretezési eljárás kidolgozását kezdtük el. Az elméleti eredmények, empirikus képletek és a kísérleti munka megfelelő arányú összehangolása alapján a méretezés menetére logikai alapsémát készítettünk, amelyben meghatároztuk a tervezési, számítási és kísérleti munka menetét. Így méretezési segédletek és számítási lapok alapján igyekeztünk megközelíteni a villamos motorok és transzformátorok méretezésénél alkalmazott módszereket. Célunk annak elérése, vagy legalább megközelítése, hogy új kontaktortípusok kidolgozása esetén — a bizonytalan tényezők kikapcsolásával — egzakt, jól kezelhető séma szerint dolgozhasson a készülékkonstruktor, és ezáltal a sokszor több évig húzódó számítási és kísérleti munkát néhány hónapos rutinmunkává egyszerűsítsük [6].

## 2.5 Nagyteljesítményű, váltakozóáramú és egyenáramú vizsgálatok

Mind a készülékkutatási munka vizsgálataihoz, mind a gyártó vállalatok fejlesztési és típuspróbáihoz igen jó szolgálatot tesz a főosztályon belül kialakított váltakozóáramú és egyenáramú nagyteljesítményű vizsgálóberendezés. Váltakozóáramú laboratóriumunk, 100...1000 V feszültségtartományban, a feszültségtől függően maximálisan 80 kA<sub>eff</sub> áramerősségig aktív és passzív zárlati vizsgálatok lebonyolítására alkalmas. Egyenáramú próbaberendezésünk 220...3000 V feszültségtartományban, szin-

tén a feszültségtől függően, maximálisan 30 kA zárlati áram előállítására alkalmas. Így a gyakorlatban előforduló egyen- és váltakozóáramú kiefeszültségű készülékek minden fajta vizsgálatát végre tudjuk hajtani és a részben saját kifejlesztésű, részben külföldről vásárolt műszereink, áramkörti elemeink és speciális mérőkészülékeink alkalmassá teszik a laboratóriumokat a legkorszerűbb vizsgálati és méréstechnikai feladatok végrehajtására.

Újabbán a zárlati transzformátoraink megfelelő összekapcsolásával, valamint a szabadtérben elhelyezett középfeszültségű transzformátorunk üzembehelyezésével 50 MVA-ig terjedő teljesítményhatárig középfeszültségű vizsgálatokat is végzünk, 1...44 kV váltakozóáramú feszültségtartományban.

A zárlati laboratóriumok a kutatási és rutinmunkálatok végrehajtása mellett állandóan korszerűsítik vizsgálati módszereiket és berendezéseiket, figyelemmel kísérve a nemzetközi és hazai szabványok kívánásait és előírásait, valamint megrendelőink speciális igényeit. A saját kialakítású berendezések közül kiemelkedő maga az egyenáramú próbaberendezés, amit Intézetünk 3. Félvezető Főosztálya által kidolgozott szilícium diódákból építettünk fel, védőelemként felhasználva a Készülék Főosztály által kifejlesztett diódavédő biztosítókat [7]. Említésre méltó a saját tervezésű és kivitelezésű zárlati szinkronrákapcsoló készülékünk, amely amellet, hogy a főosztály laboratóriumaiban évek óta nagymértékben meggyorsítja a zárlati vizsgálatok menetét, számos külföldi zárlati laboratóriumban (NDK, CSSZK, Bulgária) is sikerrel és meglegedést kiváltva üzemel [8]. Míután sem külföldről, sem belföldről nem tudtuk beszerezni, kénytelenek voltunk saját magunk kifejlesztetni egy 100 kA<sub>eff</sub> áramerősségű műgyanta szigetelésű áramváltót is, amely a váltakozóáramú zárlati vizsgálataink során fellépő áramtranziensek átvitelére alkalmas és lehetővé teszi a gyors lefutású jelenségek regisztrálását.

### 3. Távlati feladatok

A villamos készülékek kutatási—fejlesztési munkái — nyugodtan állíthatjuk — hazánkban megfelelően magas színvonalon állnak. Nem elég azonban optimális műszaki paraméterek alapján egy jó konstrukciót megtervezni, legalább ilyen fontos a jó gyártástechnológiai szint biztosítása, ami egyben a készülék megbízhatóságának is alapvető feltétele. Ezért ma már úgyszólván minden készülékeket gyártó vállalatunk arra törekszik, hogy legalább egy korszerű gyártástechnológiával rendelkező termék gyártását biztosítsa, külföldi licencia és know-how vásárlás alkalmazásával. Így kívánja elérni, hogy a vállalat technológiai szintje és gyártási kultúrája ugrásszerűen emelkedjék. Ehhez az elképzeléshez csatlakozik kutatási programunk is, amikor a gyáraknak a külföldi termékek bevezetésénél nyújtunk segítséget, a legkorszerűbb termékek kiválasztásánál, a honosítási munkáknál és a gyártásbevezetés során adódó automatizálási, gyártásközi és végellenőrzési feladatok megoldásánál.

Sajnálattal kell megjegyeznünk, hogy a licencvásárlások előkészítésében nem mindig kérték ki véleményünket, vagy már csak akkor, amikor lényegében nem lehetett a korábban kialakult véleményt, ill. döntést megváltoztatni. Ennek egyes esetekben meg is lett a kellemetlen következménye, nevezetesen, hogy talán nem a legmegfelelőbb, vagy a további fejlődést legjobban biztosító termék került licencia formában megvételre. Ezen a téren bizonyos javulás észlelhető, amihez a magunk részéről is rugalmasabb és segítőkészebb hozzáállás szükséges.

A hazai ipar gyártási színvonalának emelése érdekében, a licencvásárlásnál nyújtandó segítségadáson túlmenően, saját kezdeményezésű technológiai kutatásokat

folytatunk. A Gépipari Technológiai Intézettel együttműködve arra törekszünk, hogy a villamos energia felhasználásával az egyes gyártási folyamatokhoz nagyobb energiakonzentrációt biztosítva, jobb minőségű és hatékonyabb gyártási módszereket dolgozzunk ki. A Kohó és Gépipari Minisztérium „A villamos energia különleges alkalmazása” címen 1971-ben célprogramot fogadott el, amelynek egyik alapvető célja a villamos energiának a termelésben való hatásos bevezetése, a termelési értékek lényeges növelése érdekében. Ennek a célprogramnak keretében Főosztályunk — mint az ívfizikai kutatásokban eredményeket elért kutatási egység — a nagyteljesítményű ívplazmának fémmegmunkálásban való alkalmazására irányuló kutatási feladatokat vállalt. A plazmában minél nagyobb mértékű energiakonzentrációt kívánunk megvalósítani, a nehezen megmunkálható fémek gyors és gazdaságos megmunkálására, ill. az eddigi megmunkálási folyamatok korszerűsítésére. Az irodalomból ismert plazmavágó berendezések alapján, nagyobb energiakonzentrációjú és gazdaságosabban üzemelő plazmagenerátorok kialakítása a feladat, a legmegfelelőbb felhasználási területek kijelölése mellett. A laboratóriumi kísérletekkel párhuzamosan, a felhasználás szempontjából szóba jöhető üzemekben megmunkálási kísérleteket végzünk egyrészt, hogy a végleges plazmaberendezés elkészülte után szívesen fogadják az új technológia bevezetését, másrészt, hogy mi magunk is megfelelő üzemi tapasztalatokra tegyünk szert egy-egy berendezés átadása előtt.

A plazmatechnika fémmegmunkálásra való felhasználásával kapcsolatos kutatási tevékenységünk közben merült fel a gondolat, hogy az építőipar néhány területén is alkalmazható a nagy hőmérsékletű plazmasugár. Az OMFB finanszírozásával kísérleteket végzünk arra vonatkozóan, hogy házgyári panelek felületét plazmakezelés útján kerámikus réteggel lássuk el, aminek hatására feleslegessé válik a vakolatkészítés és időálló, jól mosható, esztétikus vasbeton panelek gazdaságos gyártása váljék lehetségessé. A kutatási munkánkban természetesen bekapcsoltuk az építőipart (43. sz. Építőipari Vállalat) és az építőipari szerkezetekkel foglalkozó kutatóintézeteket is.

A technológiai kutatási feladataink mellett tovább folytatjuk az új készülékek kutatását is, nevezetesen a Szovjetunióval együttműködve a jövő készülékének kialakításán, vákuumkapcsoló kidolgozásán dolgozunk és komoly energiát fektetünk a kismegnyomású készülékek és berendezések megbízható működésének fokozására is.

#### **4. Együttműködés hazai és külföldi intézetekkel és vállalatokkal**

A bevezetőben már szoltunk arról, hogy a készülékkutatás milyen szerteágazó ismeretek megszerzését kívánja meg a szakemberektől. Az eredményes kutatás érdekében azért szükségszerű volt, hogy a megfelelő kutató- és fejlesztő intézményekkel szoros együttműködést alakítsunk ki. A Budapesti Műszaki Egyetem számos tanszékével vagyunk közvetlen kapcsolatban, ezek közül is elsősorban az Erősáramú Intézet Villamos Készülék és Berendezés Osztályával (korábban Nagyfeszültségű Technika és Készülékek Tanszék). A Villamos Készülék és Berendezés Osztállyal elsősorban ívöltási kérdések és a működtetómágnes tranzienis viszonyainak tisztázása területén fejtettünk ki közös kutatási tevékenységet, a felhasználó készülékgyárak teljes megelégedésére. A kutatóintézetek közül főbb partnereink: a Villamosenergiaipari Kutató Intézet, a Vasipari Kutató Intézet, az MTA Izotóp Intézet, a Gépipari Technológiai Intézet és a Műszaki Fizikai Kutató Intézet.

Az erősáramú ipar valamennyi vállalatával közvetlen kapcsolatban állunk, részben a kutatási feladatok megoldásában, részben különféle vizsgálatok elvégzésében. A Villamos Berendezés és Készülék Művek, a Gaz Villamosság Művek és az Egyesült



Villamos Gépgyár kötötték le eddig kutatási kapacitásunk legjelentősebb részét. Újabban, a plazmatechnika építőipari felhasználása során, szoros kapcsolat alakult ki a 43. sz. Építőipari Vállalattal is.

A külföldi kutatóintézetek és vállalatok közül évek óta közvetlen műszaki—tudományos együttműködést folytatunk a Német Demokratikus Köztársaság IPH (Institut „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik”) kutatóintézetével és a KKWH (Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf), valamint a VEB Bergbau- und Hüttenkombinat „Albert Funk” Freiberg érintkezőanyag gyártó vállalatok fejlesztőrészlegeivel. A csehszlovákiai VUSE (Vyzkumny Ustav Silnoproudé Elektrotechniky) kutatóintézettel különösen a nagyteljesítményű vizsgáló laboratóriumok továbbfejlesztése és a zárlati vizsgálatok korszerűsítése témakörökben alakult ki jó tudományos együttműködés. A bulgáriai NIPKIEP kutatóintézet és Főosztályunk között a kisfeszültségű kapcsolókészülékek ívoldási kérdéseiben és a villamos érintkezők kutatása területén folyik már közel hat éve gyümölcsöző együttműködés. További közvetlen műszaki tudományos együttműködés van kialakulóban a szovjet, a román, a lengyel és a jugoszláv társkutatóintézetek megfelelő, készülékkutatással foglalkozó részlegeivel, elsősorban a legkorszerűbb készülékfajták kialakítása és vizsgálati módszerek kidolgozása tekintetében. Ezek közül kiemeljük a vákuum-készülékek kutatásával kapcsolatos — kialakulóban levő — együttműködésünket, amely a szovjet Villamoskészülékek Össz-szövetségi Kutató Intézet (Harkov), a Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyára és Intézetünk között jön létre. A szocialista országok kutatóintézeteivel és vállalataival meglevő, ill. kialakulóban levő együttműködésünk biztosítéka annak, hogy a készülékkutatás vonatkozásaiban is jó irányban halad a nemzetközi kooperáció és az egyes kutatási tématerületek koordinálása. Véleményünk szerint ezek a közvetlen kétoldalú együttműködések alkalmasak arra, hogy egymás kutatási eredményeit megismerve a tématerületeket úgy osszuk fel egymás között, hogy a felesleges párhuzamos munkákat kiküszöbölve, rövidebb idő alatt nagyobb eredményeket érhessünk el.

A nagyteljesítményű vizsgálatok területén, különösen a hazai lehetőségeket meghaladó vizsgálatok vonatkozásában, jó kapcsolatokat alakítottunk ki nyugateurópai vizsgáló laboratóriumokkal is, nevezetesen a hollandiai KEMA, az olaszországi CESI és a franciaországi CERDA zárlati próbaállomásokkal. Ezek a kapcsolatok a vizsgálatok lefolytatásán túlmenően, saját berendezéseink fejlesztése terén is komoly eredményeket hoztak. A külföldi intézetek vizsgáló berendezéseinek, különleges mérőeszközeinek és vizsgálati módszereinek megismerése ugyanis saját vizsgáló-berendezéseink létrehozásakor és az üzemvitel korszerűsítésében nagy segítséget jelentettek.

Itt említjük meg azokat a külföldi kapcsolatainkat is, amelyek arra irányultak, hogy — a Transelektro Magyar Villamossági Külkereskedelmi Vállalaton keresztül — általunk kikutatott és megvalósított speciális készülékek és vizsgálóberendezések értékesítésre kerüljenek. Ennek során érintkezőanyag-vizsgáló berendezéseket, zárlati szinkron rákapcsolókészülékeket és visszapattanás-számláló műszereket szállítottunk az NDK-ba, Csehszlovákiába, Bulgáriába és Lengyelországba.

## 5. A Főosztály egyéb tudományos tevékenysége

A Főosztály dolgozói — kutatási tevékenységük mellett — mindig szem előtt tartották az új szakembergárda képzését és a készülékes szakma megkedveltetését. Ennek érdekében részt vettünk és részt veszünk ma is a Budapesti Műszaki Egyetem oktatási

tevékenységében, számos előadásorozatot tartottunk a Mérnöki Továbbképző Intézetben és egyetemi, valamint főiskolai tankönyvek írásában gyakran tevékeny részt vállaltunk. Részt vettünk az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság szakbizottságainak és a Magyar Elektrotechnikai Egyesület (MEE) műszaki bizottságainak munkáiban. Javaslatunkra jött létre a MEE keretén belül a Villamos Érintkezők Témabizottsága, amely az érintkezőkutatással kapcsolatos témakörökben kétévenként megrendezésre kerülő Nemzetközi Konferencia munkáját is támogatja.

A Főosztály szakmai színvonalára jellemző, hogy a mintegy 40 főből álló gárdából az elmúlt időszakban hárman szerezték meg a „műszaki tudományok kandidátusa” fokozatot, egy mérnökünk a BME doktori fokozatára, egy fő pedig a kandidátusi tudományos fokozatra aspirál. Az eltelt 25 év alatt összesen 13 külföldi és 28 hazai szakelőadást tartottunk, továbbá 21 külföldi és 56 hazai szakkikben számoltunk be elért tudományos eredményeinkről. Hazai és idegen nyelvű publikációinkat sok esetben neves külföldi szaklapok is referálták és a szakkönyvek irodalomjegyzékükben gyakran hivatkoztak dolgozóink munkáira.

A kutatási munkák során elért eredményeink számos szabadalmazható megoldáshoz vezettek, amit 12 hazai és hét külföldi már megadott szabadalom, négy hazai és öt külföldi szabadalmi bejelentés bizonyít.

Feladataink közé tartozik a hazai és nemzetközi szabványosítási munkákban való részvétel is, hiszen országos érdek, hogy a hosszú évek során szerzett tapasztalataink a szabványalkotás terén is hasznosíthatók legyenek. Az országos és iparági készülékszabványok megalkotásában való tevékeny részvételünkön kívül gyakran vettünk részt az IEC (International Electrotechnical Commission), a CEE (International Commission on Rules for the Approval of Electrical Equipment) és a KGST szabványosítási munkákban is.

## 6. Összefoglalás

Az elmondottak alapján megállapítható, hogy az elmúlt 25 év során az Intézetben belül kialakult egy viszonylag kis létszámú, de komoly feladatokat megoldani képes kutatógárda, amely a kapcsolókészülék kutatás területén nemzetközi szinten is számottevő eredményeket ért el. Nyugodtan állíthatjuk, hogy amennyiben a készülégyártó vállalatok gyártástechnológiai szintje is eléri a kívánt színvonalat, a vállalatok fejlesztő részlegeivel közösen, nemzetközi szinten is jó paraméterekkel rendelkező, megbízható készülékcsaládok kialakítására vállalkozhatunk. Az olvadóbiztosító-kutatás és -fejlesztés eredményei példázják, hogy a mechanikai kapcsolókészülékek terén is hasonló eredményességgel dolgozhatunk, különösen ha figyelembe vesszük a különféle licencvásárlásokkal kapcsolatban szerzett tapasztalatokat. A Budapesti Műszaki Egyetemen és a társ-kutatóintézetekkel továbbra is szoros együttműködésben kívánunk dolgozni és első lépésként a külföldi licencia alapján gyártott készülékek továbbfejlesztésével, majd önálló új elveken működő készülékek kialakításával szeretnénk hozzájárulni ahhoz, hogy készülékgyártásunk behozza a nemzetközi szinten még meglévő lemaradást. Fontos feladatunknak tekintjük, hogy segítséget nyújtsunk az egyetemnek és főiskolák oktatási tevékenységéhez, amelyen keresztül talán hamarosan biztosítható lesz, hogy a készülékszakma a termelési volumennek megfelelő fontosságot és érdeklődést váltsa ki a fiatal szakemberek körében is.

A továbbiakban is állandó figyelemmel fogjuk kísérni szakterületünk nemzetközi fejlődését, hogy ezáltal saját kezdeményezésű kutatási témákkal biztosítsuk a hazai felhasználók igényeinek gyors kielégítését és tanáccsal szolgálhassunk gyártó iparunk

számára a távlati fejlesztési feladatok kidolgozásában. A legújabb megoldások és módszerek ismerete akkor is szükséges, ha azok gyártásával iparunk a gazdasági lehetőségek figyelembevételével egyelőre nem foglalkozhat, hiszen gyakran a felhasználók számára is tanácsadással kell szolgálnunk a külföldről beszerzendő készülékek kiválasztására vonatkozóan.

Befejezésül kedves kötelességemnek teszek eleget, amikor köszönetet mondok a Főosztály minden dolgozójának színvonalas és lelkes munkájukért, amellyel hozzájárultak ahhoz, hogy sikerekben és eredményekben gazdag negyedszázados kutatómunkát tudunk magunkénak mondani. Külön köszönet illeti azokat a munkatársakat, akik a készülékkutatás megszervezésében és kialakításában fejtették ki magas színvonalú és áldozatos tevékenységüket.

### Irodalom

- [1] *Dr. Mocsáry J.*: „A VKI Villamos Készülék Főosztályának munkássága” VKI Közleményei 3. (1969) 323—340. old.
- [2] *Dr. Mocsáry J.*: „Újtípusú, DIN 43625 előírásai szerinti, középvezettségű, nagy megszakító-képességű áramkorlátozó biztosítók”. VKI Közleményei 2. (1967) 173—185. old.
- [3] *Dr. Mocsáry J.*: „Kombinált kioldási jelleggörbéjű áramkorlátozó olvadóbiztosítók”. VKI Közleményei 4. (1973) 237—248. old.
- [4] *Dr. Néveri I.*: „A kismegszakító kontaktorok villamos élettartamát befolyásoló paraméterek helyes megválasztása”. VKI Közleményei 4. (1973) 249—258. old.
- [5] *Polgár T.*: „Az ívnyílás mozgatásának hatása az érintkezők villamos élettartamára”. VKI Közleményei 4. (1973) 271—280. old.
- [6] *Bóday O.*—*Polgár T.*: „Kismegszakító, váltakozóáramú kontaktorok néhány méretezési kérdése”. VKI Közleményei 5. (1974).
- [7] *Csáthy K.*—*Dr. Selmeczi V.*: „Zárlati vizsgálatok egyenárammal”. VKI Közleményei 3. (1969) 361—377. old.
- [8] *Dr. Néveri I.*: „Kismegszakító szinkronkapcsoló készülék kidolgozása”. VKI Közleményei 3. (1969) 349—360. old.



## Áramkorlátozó biztosítókkal elért kutatási eredmények

DR. MOCSÁRY JÓZSEF

### ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás célja a kis- és középfeszültségű áramkorlátozó biztosítók helyes működését befolyásoló tényezők és az általános célú biztosítókhöz szükséges olvadóelemek kialakítási lehetőségeinek vizsgálata, továbbá konkrét biztosítótípusok, ill. biztosító-sorozat kidolgozása volt.

A cikk röviden ismerteti az intézetben a különböző védelmi feladatok megoldására kidolgozott kis- és középfeszültségű biztosítók leglényegesebb műszaki jellemzőit.

Megállapítható, hogy a kutatás eredményeképpen olyan műszaki jellemzőkkel rendelkező biztosítótípusok kerültek kidolgozásra, amelyek teljesítik a legkorszerűbb hazai és külföldi szabványokban előírt követelményeket és versenyképesek a legjobb ismert külföldi gyártmányokkal. Ezt bizonyítja az a tény is, hogy a hazai biztosítógyártás évi 100 MFt-ot jóval meghaladó termelésének több, mint a fele exportra kerül.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ДОСТИГНУТЫЕ В ОБЛАСТИ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

*Д-р Й. Мочари*

#### Резюме

Целью проводимых исследовательских работ является исследование факторов, влияющих на правильную работу токоограничивающих предохранителей низкого и среднего напряжений и изучение возможности создания необходимых плавких элементов для реализации предохранителей общего назначения, далее, разработка дальнейших типов предохранителей и серий предохранителей.

В статье кратко описываются важнейшие технические данные предохранителей низкого и среднего напряжений, разработанных в Институте для решения различных предохранительных задач.

В заключении можно сделать вывод, что в результате исследовательских работ были созданы типы предохранителей с такими техническими данными, которые удовлетворяют требованиям самых современных отечественных и зарубежных стандартов и могут конкурировать с наилучшими зарубежными изделиями. Это доказывается и тем обстоятельством, что больше половины производимых в Венгрии предохранителей — общий объем производства которых составляет ок. 100 миллионов форинтов — поставляется за границу.

### FORSCHUNGSERGEBNISSE VON STROMBEGRENZENDEN SICHERUNGEN

*Dr. J. Mocsáry*

#### Zusammenfassung

Der Zweck der Forschung war die Untersuchung der Faktoren, die das richtige Funktionieren der strombegrenzenden NH- und HH-Sicherungen beeinflussen, sowie auch die Untersuchung der Schmelzleiter-Konstruktionen, die zur Fertigung von Allzweck-

Sicherungen (general-purpose fuses) erforderlich sind, ferner auch die Entwicklung konkreter Sicherungstypen bzw. –serien.

Im Aufsatz werden die wichtigsten technischen Daten der im Forschungsinstitut der Elektroindustrie, Budapest für verschiedene Zwecke entwickelten NH- und HH-Sicherungen kurz beschrieben.

Es kann festgestellt werden, dass aufgrund der Forschung Sicherungstypen ausgearbeitet wurden, deren technische Daten die Forderungen der neuesten einheimischen und ausländischen Standards erfüllen und dass sie auch mit den besten ausländischen Fabrikaten äquivalent sind. Die Jahresproduktion beträgt etwa 100 Mio. Ft, deren mehr als die Hälfte exportiert wird.

## RESULTS ACHIEVED IN THE RESEARCH OF CURRENT-LIMITING FUSES

By Dr. J. Mocsáry

### Summary

The task of the research work was the study of the factors influencing the operation of low- and high-voltage current-limiting fuses, the investigation of the fuse element constructions of general-purpose fuses further the development of concrete types and series of fuses.

Brief information is given in the paper on the main technical parameters of low- and high-voltage fuses developed in the Research Institute of the Electrical Industry, Budapest for solving the various protective tasks.

It can be stated that the new types of fuses developed in the course of this research work fully comply with the specifications of the latest home and foreign standards and are competitive with the best known products available abroad. This is proved by the fact that more than half of the entire volume of home fuse production, representing a sum well over 100 million Forints per year, is being exported.

### 1. Általános szempontok. Követelmények

Az olvadóbiztosító -- mint ismeretes -- a legrégebben használt túláram- és zárlatvédelmi eszköz. A biztosító legkezdetlegesebb és legősibb formája a szabad levegőben kifeszített olvadószál volt; ezt a megoldást azonban csak olyan áramkörökben lehetett és lehet alkalmazni, ahol a zárlati teljesítmények kicsik. A zárlati teljesítmények növekedése vezetett az olvadóbiztosítók ma is használatos kiviteléhez, az ún. tokozott biztosítókhoz. Ezekben a jó villamos vezetőképességű olvadószálat olyan ívöltő anyag veszi körül, amely alkalmas az olvadószál helyén -- annak megolvadása és elgőzölgése után -- létrejött ív energiájának elnyelésére.

Az európai kontinensen a szemcsés ívöltő anyaggal (kvarchomok) töltött áramkorlátozó biztosítók terjedtek el. Az áramkorlátozó biztosító igen hatásos védelmi eszköz, mert igen kis méret mellett (igen kis térfogatban) igen nagy zárlati áramokat is képes megszakítani.

A korszerű áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal szemben támasztott követelmény, hogy a teljes áramtartományban (túláramok, kis és nagy zárlati áramok tartományában) megbízhatóan működjenek. Ezen azt kell érteni, hogy a biztosítóknak az egészen kis értékű túláramoktól kezdve a szavatolt megszakítóképesség-értéknek megfelelő zárlati áramig bezárólag az áramkört hiba nélkül meg kell tudniok szakítani. Ezen belül a biztosítóknak a következő követelményeket kell kielégíteniök: nagy megszakító- és áramkorlátozó képességgel rendelkezzenek, működésükkor ne okozzanak veszélyes túlfeszültséget és névleges terhelésen ne melegedjenek a szabványokban megengedetteknél nagyobb mértékben. Ezekben az általános követelményeken túlmenően, az egyéb különleges követelményeket a felhasználás körülményei határozzák meg.

A cél olyan áramkorlátozó olvadóbiztosító kialakítása, amely minden feltételt teljesít. E feltételek teljesítése igen nehéz feladat és a minden követelményt kielégítő áramkorlátozó olvadóbiztosítók kialakítása csak széles körű elméleti és igen költséges vizsgálatossorozatokkal összekötött kísérleti kutatómunkával lehetséges.

## 2. Általános célú biztosító megvalósításával kapcsolatos kutatások

E rövid cikkben nem foglalkozunk részletesen az áramkorlátozó biztosítók működésével, mert ezzel a hazai és külföldi szakirodalom [1]...[10] részletesen foglalkozik, de ismertetjük azokat a leglényegesebb konstrukciós szempontokat, amelyek a biztosítóknak a túláramok és zárlati áramok tartományában való biztonságos működését befolyásolják. Így foglalkozunk az olvadóelem-konstrukciókkal, az ívöltő anyag és a tokozat kérdésével.

### 2.1 Olvadóelem-konstrukciók

Az áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal kapcsolatos kutatások középpontjában az olvadóelemek kialakítása állt. Vizsgálatokat végeztünk különféle kialakítású olvadóelemekkel, így:

- a) egész hosszában változatlan keresztmetszetű,
- b) hosszú változatlan és hosszú változó keresztmetszetű szakaszokkal kialakított,
- c) rövid csökkentett keresztmetszetű szakaszokkal kialakított és
- d) többszörös megszakítást eredményező, sűrű osztásban lépcsősen és folyamatosan változó keresztmetszetű olvadóelemekkel.

Az a)...d) szerinti olvadóelemekkel végzett kutatások eredményeit korábbi tanulmányainkban részletesen [9], [11]...[14], egy cikkünkben pedig [15] összefoglalva ismertettük.

Az olvadóelemeknek a nagy megszakítóképeség és egyidejűleg nagy áramkorlátozó képesség elérése érdekében a lehető leghosszabbnak, a túlfeszültség csökkentése érdekében viszont ezzel ellentétben a lehető legrövidebbnek kell lennie. Ezt az ellentétes követelményt a d) alatt említett sűrű osztású, többszörös megszakítást létrehozó olvadóelem-konstrukcióval lehet megvalósítani. Ez az olvadóelem-szerkezet — az egyéb olvadóelem-konstrukciókkal szemben — lehetővé teszi az olvadóelem hosszának olyan mértékű csökkentését, amely biztosítja a túlfeszültségnek a megengedett érték alatt maradását (ennek különösen a középfeszültségű biztosítóknál és a kisfeszültségű félvezető egyenirányítókat védő biztosítóknál van nagy jelentősége), ugyanakkor a többszörös megszakítás következtében, az ívöltési viszonyok nagymértékű megjavulása miatt, igen nagy megszakítóképeséget is biztosít. Ezenkívül — az osztás sűrűségének, a csökkentett keresztmetszetű és változatlan olvadóelemrészek hosszának megfelelő kialakításával — a túláramok tartományában is biztosítani tudjuk a rövid idejű és biztonságos megszakítást, azaz a biztosító megfelelő működését. Így ezzel az olvadóelem-konstrukcióval megvalósítható a teljes áramtartományban megbízhatóan működő ún. általános célú biztosító (general purpose fuse).

## 2.2 Ívöltő anyag

Az áramkorlátozó biztosítók olvadószáleit körülvevő szemcsés ívöltő anyagnak igen nagy jelentősége van a biztosítók helyes működése szempontjából mind zárlatok, mind pedig kis és közepes túláramok megszakításakor.

A szemcsés ívöltő anyagnak a következő követelményeket kell kielégítenie:

- a) normális üzemben a biztosítóban keletkezett veszteségmeleget el kell vezetnie az olvadószálak környezetéből;
- b) az áramkör megszakítása alatt kondenzáló felületet kell szolgáltatnia a fémgőzök számára, ami által nagy hőenergiát von el az áramkörből;
- c) az áramkör megszakítása alatt az ívet hűtenie kell és megfelelő ívfeszültséget biztosítania;
- d) az ív hatása alatt nem szabad sok gázt termelnie;
- e) az áramkör megszakítása után kielégítő dielektromos szilárdsággal kell rendelkeznie.

Az irodalomból ismertté vált vizsgálatok szerint, valamint saját kutatásaink eredményei alapján is, a szemcsés kvarchomok bizonyult a legalkalmasabbnak az ívöltésre szóba jöhető anyagok közül.

Ahhoz, hogy az ívöltő anyag a felsorolt követelményeket teljesítse, mindenekelőtt teljesen tisztának, lehetőleg szennyezésektől mentesnek, továbbá megfelelő szemcsenagyságúnak kell lennie.

Vizsgálataink szerint a nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó biztosítóban felhasználható kvarchomoknak legalább 99%  $\text{SiO}_2$ -t (szilíciumdioxid) kell tartalmaznia és csak a fennmaradó 1%-nyi mennyiségben tartalmazhat egyéb — szennyezésnek nevezhető — anyagot. Legveszélyesebb a vasoxid ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) jelenléte. Tapasztalat szerint a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  szennyezésnek 0,08% alatt kell lennie. Ha a szennyezőanyagok mennyisége az említett 1%-on belül van, a kvarchomok olvadáspontja 1730... 1750 °C között van. Vizsgálataink szerint az általunk megvizsgált külföldi biztosítókból származó, valamint kis- és közép feszültségű biztosítókkal folyó kísérleteinkhez, ill. biztosítók gyártásához használt külföldi eredetű kvarchomokok teljesítik mind a szennyezésekre, mind az olvadáspontra vonatkozó követelményeket. A hazai kvarchomok nem bizonyultak megfelelőnek.

Vizsgálataink azt is megmutatták, hogy a kvarchomok nedvességtartalma — nem tökéletesen kiszárított kvarchomok használata — jelentősen csökkenti a biztosítók megszakítóképeségét. Erre való tekintettel a megfelelő minőségű, tiszta kvarchomokot a biztosítóba való betöltés előtt 100 °C-nál magasabb hőmérsékleten ki kell szárítani és az ily módon nedvességtartalmától megfosztott kvarchomokot meleg állapotban kell a biztosítóba betölteni.

Vizsgálatokat végeztünk a kvarchomok szemcsenagyságának befolyására vonatkozóan is. Mint ismeretes, az ívöltő anyag szemcsenagysága nagymértékben befolyásolja a hűtési viszonyokat, továbbá a szálak olvadását követő elgőzölgési folyamat alatt a fémgőzöknek a kvarc szemcsék hézagaiba való diffúzióját is. Előbbiek kis túláramoknál a megengedett melegedés, ill. az alkalmazott legkisebb olvadóelem keresztmetszet alakulására vannak befolyással, utóbbinak viszont a megszakítási folyamat alatt keletkezett ívenergia eloszlásában van nagy jelentősége. Kis szemcsenagyságú kvarchomok jobban hűtési viszonyokat és ennek megfelelően nagy ívfeszültséget eredményez, de ugyanakkor a túl finom szemcsék eltömik a nagyobb kvarc szemcsék közötti hézagokat és akadályozzák a fémgőzök diffúzióját. Ekkor a szálak anyagát alkotó teljes fémmennyiség — az akadályozott diffúzió következtében — az olvadószá-



lak közvetlen környezetében levő kvarcsemcsékre csapódik le, aminek káros következményei vannak. A lecsapódott fémgőzök ugyanis ionizált állapotban újra, meg újra az ívbe kerülnek, ill. ottmaradnak és — annak vezetőképességét növelve, azaz ellenállását csökkentve — megengedik az áramnak a levágást követő újbóli növekedését. Miután a fémgőzök teljes energiájukat — az akadályozott diffúzió miatt — az ív közvetlen környezetében levő kvarcsemcséknek kénytelenek leadni, azok nemcsak összeszinterelődnek, hanem szabályosan összeolvadnak és megolvadt kvarccsatornát alkotnak. Ez utóbbi — most már mint a fémgőzök számára áthatolhatatlan — egybeolvadt kvarc—üvegömleny a diffúzióknak teljesen útját állja és a deionizációt teljesen megakadályozva a biztosító robbanásához vezet. A túl nagy szemcséjű kvarchomok hátrányos az azonos névleges áramerősségű betétekbe beépítendő fémmennyiséget illetően, de előnyös a fémgőzök diffúziója szempontjából. A viszonylag kis fémmennyiséget tartalmazó olvadószálú közép feszültségű biztosítóknak a finomszemcsés (0,15...0,4 mm), a nagy fémmennyiséget tartalmazó kisfeszültségű biztosítóknak a durvaszemcsés (> 0,4 mm) kvarchomokkal értük el a legkedvezőbb eredményeket.

A meghatározott szemcseméretű kvarchomoknak a biztosító oltóterét tökéletesen ki kell töltenie. Az ívöltő anyag tökéletes tömörítése, ill. berázása nagy jelentőségű elsősorban a biztosítóban kialakuló nyomást illetően és befolyásolja az ívfeszültség alakulását, ill. a kis túlárámok oltásához szükséges minimális oltási hosszát, azaz a legkisebb szálhosszat is. A külföldi kutatók [16] vizsgálatai és saját vizsgálataink eredményei szerint is, az ívöltőanyag-töltet egy részének hiánya a biztosítóban a nyomás növekedéséhez vezet, amely esetleg a biztosító tokozatának szétrepedését okozza. Kis túlárámok esetében az ívöltő anyag egy részének hiánya az ívfeszültség csökkenéséhez vezet, amelynek következtében nő az olvadóelem kis túlárámok megszakításához szükséges minimális hossza is.

### 2.3 Tokozat

A tokozat a biztosítóban az olvadóelemeket és az ívöltő anyagot magába foglaló része. A tokozatnak nagy termikus és mechanikai szilárdságú szigetelőanyagból kell készülnie.

A biztosító tokozata a biztosítóbetét passzív működése során (amikor a biztosítóban fémes áramvezetés van, tehát olvadóelemei még nem olvadtak el), továbbá a megszakítási folyamat (aktív működés) — különösen pedig kritikus zárlati áram hatására történő működés — során is hőigénybevételnek van kitéve és ezt a tokozatnak ki kell állnia. A szabadtéri közép feszültségű biztosítóknak a biztosító passzív működése során ezenfelül még a hőigénybevételt követő esőztetési próbát is repedés nélkül ki kell bírnia.

A tokozatnak az olvadóelemek elgőzölgése következtében létrejött nagy nyomást is ki kell állnia. Ez a nyomás a biztosítóknak megszakítóképességéhez tartozó névleges megszakítási áramnál a legnagyobb. A közép feszültségű biztosítóknak a tokozatának anyaga általában porcelán, a kisfeszültségű biztosítóké porcelán, szteatit vagy más különleges anyagú kerámia. Kisfeszültségű biztosítóknak egyes cégek műanyagot is használnak a tokozat anyagaként, de ez a gyakorlatban nem vált be teljes mértékben, éppen ezért nem is nagyon terjedt el.

### 3. A kutatás során kidolgozott biztosítótípusok

#### 3.1 Középfeszültségű biztosítók

##### *NNG típusú 3...35 kV-os biztosítók*

Az 50-es évek elején kidolgozott és a 2.1 szakasz *b)* pontja szerinti, lépcsősen változó keresztmetszetű olvadószálakkal készülő biztosítókat kezdeti eredménynek tekintettük. Ezek a biztosítók a Magyarországon korábban gyártott típusokhoz képest műszaki haladást jelentettek, nagy megszakítóképeségűek voltak, azonban olvadószáluk alakja miatt kellő biztonsággal csak zárlatvédelem céljaira voltak használhatók.

##### *NNGf és NNGfe típusú 3...35 kV-os biztosítók*

A korszerű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal szemben támasztott, egyre fokozódó követelmények tökéletes kielégítésére kidolgoztuk a 2.1 szakasz *d)* pontja szerinti sűrű osztású, folyamatosan változó keresztmetszetű olvadószál-konstruksiót, az annak előállítására alkalmas eljárást és az ilyen olvadószálakkal készülő újfajta NNGf és NNGfe típusú olvadóbiztosítók 3...35 kV feszültségű sorozatát [11], [12], [17], [18].

Az NNGf típusú biztosítók — a hazai energiarendszerbe beépített igen nagy számú régi típusú biztosítóaljatban való használhatóságra tekintettel — a régi AEG méretekkel és kis rugóerejű kioldásjelző szerkezettel készülnek.

A korszerű irányzatnak megfelelően, a középfeszültségű biztosítók terhelésszakaszolókkal való együttes alkalmazásának egyik lényeges feltétele a nagy rugóerejű kioldószerkezettel ellátott biztosítók alkalmazása. Az előbbi feltételen túlmenően — elsősorban export szempontjából — követelmény még a biztosítóknak egységes foglalatú kivitelben való kialakítása is. A Villamosipari Kutató Intézetben kidolgozott

##### *27-1. táblázat*

**NNGf és NNGfe típusú, 3...35 kV-os biztosítók névleges áramerősségei és megszakítóképeségei**

Névleges feszültség, kV	Névleges áramerősség, A	Névleges megszakítóképeség, kA <sub>eff</sub>
3...3,6	6,3 10...100	100 50
6...7,2	6,3 10...100	100 50
10...12	6,3 10...100	100 50
20...24	6,3 10...25 40	50 40 25
30...36 (40,5)	6,3 10; 16 25	31,5 17 10

NNGfe típusú, a DIN 43625 előírása szerinti méreteknek megfelelő biztosítósorozat ezeket a feltételeket is kielégíti.

A sűrű osztású, folyamatosan változó keresztmetszetű olvadószálakkal készült NNGf és NNGfe típusú középfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók a cseh-szlovákiai bechovicei, az olaszországi CESI és a hollandiai KEMA zárlati laboratóriumokban elvégzett zárlatbiztosítási vizsgálatok tanúsága szerint teljes mértékben megfelelnek a magyar szabvány, a különféle külföldi szabványok és a nemzetközi szabvány igen szigorú előírásainak. A hazai és külföldi vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy az újfajta olvadószál-konstrukcióval készült középfeszültségű biztosítók a jelenleg gyártott külföldi típusok között is a legkorszerűbb megoldást képviselik és a biztosítók működési tartomány, valamint megszakítóképesség szempontjából a legtöbb ismert külföldi típusnál jobbak.

A biztosítók névleges áramerősségeit és megszakítóképességeit a 27-1. táblázat tartalmazza.

Az NNGf és NNGfe típusú biztosítókból a Villamos Berendezés és Készülék Művek (VBKM) Kaposvári Villamossági Gyárában évente kb. 80 000 db olvadóbetét készül, amelynek egy része tőkés exportra kerül.

### 3.2 Kisfeszültségű biztosítók

#### *S-NOL típusú, lomha biztosítók*

Jelentős eredménynek tekinthető a késes rendszerű, lomha kiolvadási jelleggörbéjű, igen nagy megszakítóképességű áramkorlátozó biztosítók sorozatának kidolgozása, elsősorban ipari elosztóhálózatok túláram- és zárlatvédelmére [19], [20]. A 10...500 A névleges áramerősségű S-NOL típusú biztosítósorozat 100 kA<sub>eff</sub> feletti megszakítóképessége biztosítja a nemzetközi színvonalat. A biztosítóbetétek 0...3 méretnagyságban készülnek.

#### *NOGe és NOSi típusú igen gyors működésű biztosítók*

A félvezető egyenirányítók és egyenirányító berendezések védelmére kidolgozott NOGe és NOSi típusú, 250, ill. 500 V névleges feszültségű, 50...400 A névleges áramerősségű, igen gyors működésű és nagy áramkorlátozó képességű biztosítók nemcsak kiolvadási gyorsaság és áramkorlátozó képesség, hanem megszakítóképesség szempontjából is elérik, sőt a NOSi típusú olvadóbiztosítók — 200 kA<sub>eff</sub> megszakítóképességük birtokában — jelentősen meg is haladják a nemzetközi színvonalat.

Az előírt követelmények kielégítését és az igen gyors kiolvadású áramkorlátozó biztosítók magas műszaki szintjét részben az olvadóelem különleges kialakításával, részben a szemcsés ívöltő közeg (kvarchomok) jól ismert ívöltő hatásának és a nyomáseffektusnak a kombinációjával értük el [2], [13], [21], [22].

#### *NOLG típusú lomha—gyors kiolvadási jelleggörbéjű biztosítók*

A legutóbbi években a kisfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók választékának további bővítésére kidolgozott ún. kombinált (lomha—gyors) kiolvadási idő—áram jelleggörbéjű olvadóbiztosítók [14] a védelmi technikában új, korszerű védelmi megoldásokat tesznek lehetővé. Ilyen megoldás pl. a lomha—gyors jelleggörbéjű olvadóbiztosítók együttes alkalmazása terheléskapcsolókkal, ill. kisteljesítményű megszakítókkal. Ebben az esetben — a biztosítók megfelelő idő—áram jelleggörbéje és 100 kA<sub>eff</sub>-et meghaladó megszakítóképessége birtokában — a biztosítókkal kombi-

nált olcsó, kis helyigényű, kis megszakítóképeségű kapcsolókészülék helyettesíti az igen költséges nagy megszakítóképeségű megszakítókat.

A NOLG típusú, lomha—gyors kiolvadási jelleggörbéjű olvadóbiztosítók egyesítik magukban a gyors és késleltetett kiolvadású biztosítók összes előnyét, így alkalmazásukkal együttesen kihasználhatók mindazok az előnyök, amelyekkel a gyors, ill. a késleltetett kiolvadási jelleggörbéjű olvadóbiztosítók külön-külön rendelkeznek.

A biztosítók 500 V feszültségre, 00...4 méret nagyságban, 10...1250 A névleges áramerősségre készülnek.

#### *VNOLG típusú, veszteségszegény biztosítók*

A biztosítóbetétek Joule-veszteségének csökkentése érdekében kidolgoztuk a különleges kiképzésű, színezüst olvadóelemekkel készülő, ún. *veszteségszegény* biztosítókat.

A VNOLG típusú veszteségszegény, lomha—gyors jelleggörbéjű biztosítók 0 és 00 típus nagyságban, 500 V feszültségre, 10...160 A névleges áramerősségre készülnek és wattvesztésük — névleges árammal terhelve, állandósult állapotban — a normál NOLG típusok veszteségének kb. 60...70%-át teszi csak ki, így alkalmazásukkal a felhasználók jelentős villamosenergia-megtakarítást érhetnek el.

Az ismertetett kisfeszültségű biztosítók a Villamos Berendezés és Készülék Művek Világítástechnikai Gyárában nagy sorozatban készülnek; a gyártott mennyiség kb. évi 1,8...2,0 millió darabot tesz ki, amelynek jelentős része exportra kerül.

#### *Egyéb kisfeszültségű biztosítók*

A bemutatott biztosítóbetéteken túlmenően kielégítettük a felhasználók különleges igényeit is, pl. a szabványosnál nagyobb megszakítóképeségű 6 és 10 A névleges áramerősségű D-rendszerű biztosítók (nDo típus), továbbá a vasúti célokra szolgáló Noe típusú, 600 V (720 V) feszültségű, 6,3...80 A névleges áramerősségű egyenáramú biztosítók kidolgozásával.

\*

A tanulmányban leírtak alapján megállapítható, hogy a Villamosipari Kutató Intézet ma már abban a helyzetben van, hogy a kis- és középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók területén bármilyen újabb kutatási feladat eredményes megoldására képes.

#### **Irodalom**

- [1] *Mocsáry J.*: Középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók elméleti és gyakorlati kérdései. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1961.
- [2] *Dr. Mocsáry J.*: Kombinált ivoltási mód alkalmazása kisfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítóknál. Villamosipari Kutató Intézet Közleményei 1 (1966), 269—276. old.
- [3] *Dr. Mocsáry J.*: Középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók vizsgálata. Elektrotechnika 58 (1965), 1—7. old.
- [4] *Baxter, H. W.*: Electric Fuses. Edward Arnold and Co. London, 1950.
- [5] *Baxter, H. W.*: The effect of opening a circuit by a fuse (Factors disclosed by fundamental research). The BEAMA Journal. August 1955, p. 135—138.
- [6] *Gibson, J. W.*: The high-rupturing-capacity cartridge fuse, with special reference to short circuit performance. Journal of the IEE, Vol. 88., Part II. (1941), p. 2—40.
- [7] *Lerstrup, K.*: The Current-Limiting Fuse with special Reference to Discrimination and Breaking-Capacity. Ingeniøren-International Edition 2 (1958), p. 13—20.
- [8] *Lohausen, K. A.*: Überstromunterbrechung mit strombegrenzenden Hochspannungssicherungen für Gleich- und Wechselstrom. Elektrie 18 (1964), p. 24—59.

- [9] *Dr. Mocsáry J.*: Schmelzleiterkonstruktionen strombegrenzender Sicherungen und ihr Verhalten bei Unterbrechung kleiner Ströme. *Elektrie* **19** (1965), p. 310—312.
- [10] *Dr. Mocsáry J.*: Neuere Untersuchungen an Hochspannungs-Hochleistungssicherungen mit sehr hohem Abschaltvermögen und niedrigen Schaltüberspannungen. *Elektrie* **17** (1963), p. 305—307.
- [11] *Dr. Mocsáry J.*: Középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók újfajta olvadószál-konstrukciói. *Elektrotechnika* **57** (1964), 554—560. old.
- [12] *Dr. Mocsáry J.*: Medium-Voltage Current-Limiting Fuses of Extra-High-Rupturing-Capacity (realized by the application of New Fusing-Element Designs). *Transelektro News* **3** (1965), p. 21—28.
- [13] *Dr. Mocsáry J.*: Igen gyors kiolvadású áramkorlátozó olvadóbiztosítók félvezető-egyenirányítók védelmére. *Elektrotechnika* **57** (1964), 455—460. old.
- [14] *Dr. Mocsáry J.*: Kombinált kiolvadási jelleggörbájű áramkorlátozó olvadóbiztosítók. *Villamosipari Kutató Intézet Közleményei* **4** (1973), 237—248. old.
- [15] *Dr. Mocsáry J.*: Áramkorlátozó biztosítók olvadószál-konstrukcióinak összehasonlítása. *Villamosipari Kutató Intézet Közleményei* **3** (1969), 341—348. old.
- [16] *Baxter, H. W.—Galanides, A. R.*: The effect of Filler Deficiency on the Performance of Cartridge Fuses, with an Appendix on a Suggested Filler-Deficiency Test. ERA Technical Report G/T 308., 6th January, 1958., p. 1—11.
- [17] *Dr. Mocsáry J.*: Újtípusú, DIN 43625 előírásai szerinti, középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó biztosítók. *Villamosipari Kutató Intézet Közleményei* **2** (1967), 173—185. old.
- [18] *Dr. Mocsáry J.*: New High-Voltage High-Rupturing-Capacity Current-Limiting Fuses (with standardized-size Contacts and Striker, complying with the Specifications of DIN 43625). *Transelektro News*, No. **8** (1967) p. 8—15.
- [19] *Mocsáry J.—Szél Gy.*: Kisfeszültségű, igen nagy megszakítóképeségű, késes (fogantyús) rendszerű áramkorlátozó olvadóbiztosítók. *Villamosság* **10** (1962), 258—263. old.
- [20] *Mocsáry J.—Szél Gy.*: New type Low-Voltage High-Rupturing-Capacity Current-Limiting Fuses. *Transelektro News*. Autumn 1962, Number **39**, p. 28—34.
- [21] *Dr. Mocsáry J.*: Überflinke strombegrenzende NH-Sicherungen Typ NOGe und NOSi für Halbleitergleichrichter. *Elektrie* **18** (1964), p. 208—209.
- [22] *Dr. Mocsáry J.*: Ultrarapid High-Breaking-Capacity Current-Limiting-Fuses of Semiconductor-Rectifier Protection. *Transelektro News*, No. **5** (1966), p. 1—8.



# 28.

## Kisfeszültségű, váltakozóáramú kontaktorok néhány méretezési kérdése

*BÓDAY OTTÓ—POLGÁR TIBOR*

### ÖSSZEFOGLALÁS

Új kisfeszültségű, váltakozóáramú kontaktorok, ill. kontaktorelemek méretezése és tervezése nagyon szerteágazó és bonyolult feladat, ezért a korszerű kontaktorok vagy kontaktorsorozatok kidolgozásához elengedhetetlenül szükséges egy logikailag jól felépített, összefoglaló, egységes méretezési módszer. A kidolgozott méretezési módszer magába foglalja a megvalósítandó műszaki adatok felvételétől a prototípus készülék konstrukciójának elkészítéséig végrehajtandó fő tervezési lépéseket, a készülék-típusonként elvégzendő számítási és kísérleti munka arányát és sorrendjét, valamint az egyes részfeladatok összefüggéseit.

Kutatási eredményeink alapján az e tématerületen belül kidolgozott új méretezési módszerek közül e cikk keretében az érintkező, az oltókamra és a rövidrezáró gyűrű méretezését ismertetjük.

### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА КОНТАКТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

*О. Бодаи—Т. Полгар*

#### Резюме

Расчет и проектирование новых контакторов переменного тока низкого напряжения и элементов этих контакторов является очень многосторонней, сложной задачей. Поэтому для проектирования современных контакторов или серий контакторов необходима логически хорошо построенная, обобщенная, единая методика расчета. Разработанная методика расчета включает в себя основные операции расчета, выполняемые с определения технических данных до изготовления конструкции прототипа, а также взаимосвязь отдельных частных задач, последовательность и пропорции выполняемых расчетных и исследовательских работ при разработке отдельных устройств.

Среди новых методов расчета разработанных на основании полученных нами результатов исследований в этой области в рамках статьи будут описаны расчеты контактов, камер гашения дуги и короткозамыкающих колец.

### EINIGE BEMESSUNGSFRAGEN DER NIEDERSPANNUNGS-WECHSELSTROMSCHÜTZE

*O. Bóday—T. Polgár*

#### Zusammenfassung

Die Bemessung und die Projektierung neuer Niederspannungs- Wechselstromschütze bzw. -elemente ist eine sehr verzweigte und komplizierte Aufgabe. Deshalb ist die Anwendung einer logisch aufgebauten, zusammenfassenden, einheitlichen Berechnungsmethode zur Projektierung zeitgemässer Schütze oder Schützserien unbedingt erforderlich. Die ausgearbeitete Berechnungsmethode enthält die wichtigsten Schritte der

Projektierung, angefangen von der Zusammenstellung der zu verwirklichenden technischen Daten bis zur Fertigstellung des Konstruktionsentwurfs des Prototyps, das Verhältnis und die Reihenfolge der bei den einzelnen Geräten durchzuführenden Rechen- und Versuchsarbeiten sowie die Zusammenhänge der einzelnen Teilaufgaben.

Von den neuen Berechnungsmethoden zu diesem Komplex werden auf Grund unserer Forschungsergebnisse die Bemessungsfragen der Kontakte, der Lichtbogenlöschkammer und des Kurzschlussringes behandelt.

## SOME ASPECTS OF DIMENSIONING LOW-VOLTAGE a.c. CONTACTORS

By O. Boday—T. Polgar

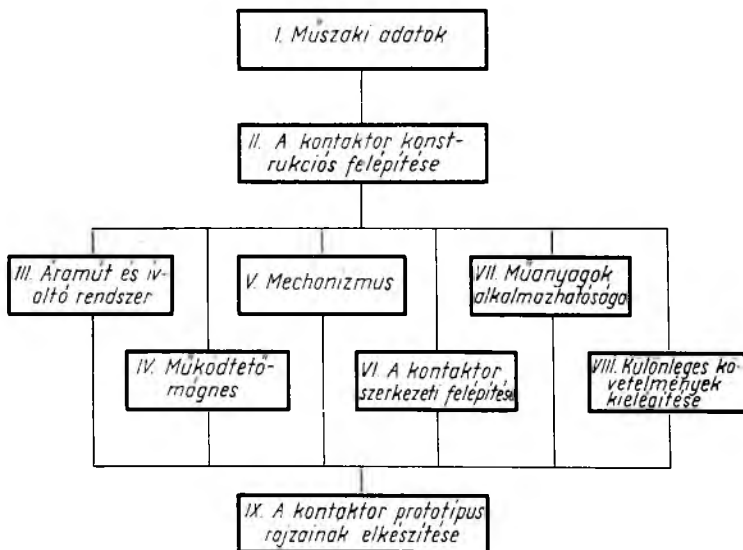
### Summary

Dimensioning and design of new low-voltage a.c. contactors and contactor components constitute a rather complex and difficult task. Therefore, the development of up-to-date contactors and contactor series calls for a logically well-conceived, comprehensive and standardized system of dimensioning. The elaborated method includes the main steps of designing work ranging from the establishment of technical data to be achieved up to the detailed construction of the prototype device, the proportion of calculations and experimental works (and their sequence) required for each device, and the interrelation between the various detail tasks.

Based on our experimental results, from among the elaborated new dimensioning methods within the scope of the subject, the dimensioning of contacts, arc-control device and short-circuiting rings are dealt with in the paper.

### 1. Bevezetés

A kontaktorok esetleges meghibásodása saját értéküknél több nagyságrenddel nagyobb termelési érték kiesését okozhatja és ez a termelés automatizálásával tovább növekszik. A kiefeszültségű kontaktorokkal szemben támasztott követelmények



28-1. ábra. A kontaktorméretezés logikai sémája



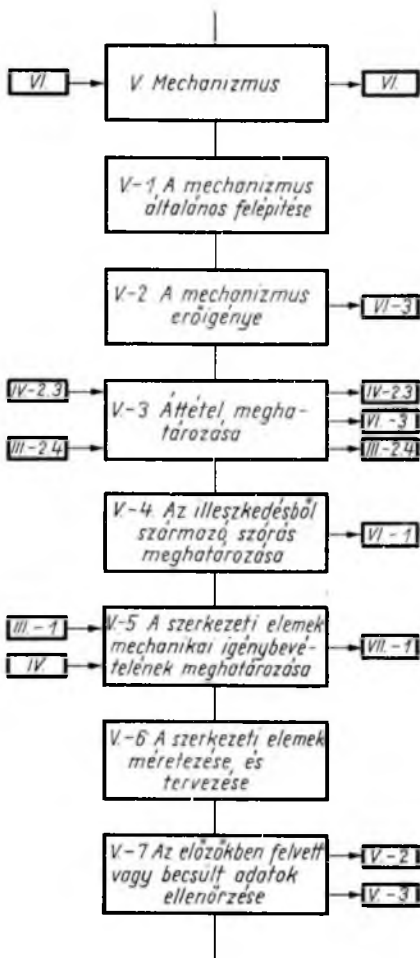
fokozódnak, tehát megkülönböztetett figyelemmel kell foglalkozni a villamos- és mechanikai élettartam, az üzembiztosság és megbízhatóság kérdéseivel. Az említett követelmények elsősorban nem az egész készülék konstrukcióját alapvetően érintő szerkezeti változtatással, hanem az alkatrészek, ill. az alkatrész-csoportok mind pontosabb méretezésével és következetesen alkalmazott egységes méretezési módszerrel, valamint magas szintű gyártáskultúrával elégíthetők ki.

Ilyen megfontolások alapján foglalkoztunk a VBKM Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyára megrendelésére a kisfeszültségű kontaktorelemek egységes méretezési eljárásának kidolgozásával. Az irodalomban fellelhető anyagon kívül, a kontaktorokkal kapcsolatos részletmák (érintkezőanyag, visszapattanás stb.) megoldása során kidolgozott eredményeinket foglaltuk össze és dolgoztuk fel méretezési (szerkesztési) ségédlet formájában.

## 2. Az egységes méretezési módszer

Az új kisfeszültségű, váltakozóáramú kontaktorok, ill. kontaktorelemek méretezése és tervezése nagyon szerteágazó és bonyolult feladat. Még az egyszerűbb kontaktorelemek vagy alkatrészek méretezéséhez sem áll rendelkezésre minden esetben olyan egzakt számítási módszer, amellyel az ismert, vagy becsült igénybevételek alapján a szükséges paraméterek pontosan meghatározhatók. Gyakran csak bizonyos feltételek között érvényes gyakorlati képleteknek, ill. modellkísérletek mérési eredményeinek felhasználásával folytatható tovább a számítási munka. E három módszer (elméleti eredmények, empirikus képletek, kísérleti munka) megfelelő arányú együttes alkalmazása a gyors és eredményes tervezés egyik alapfeltétele. A megvalósítandó műszaki paramétereken kívül már a méretezőkor figyelembe kell venni a gyártásfejlesztés lehetőségeit, ill. a meglévő technológiai adottságokat. Mindezen szempontok egységes és minden eshetőségre érvényes tematikai feldolgozása logikai sémában valósítható meg.

A műszaki paraméterekre való méretezés menetének logikai alapsémája — a technológiai szempontok figyelembevétele nélkül a 28-1. ábrán látható. Ebben római számok jelölik az önmagukban is komplex, viszonylag jól elkülöníthető méretezési feladatokat. Az alapséma római számokkal jelzett méretezési egységei további — a római számokhoz kötőjellel kapcsolt, decimális rendszerbe foglalt arab számokkal jelölt — alsémákban összefoglalt rész-, ill. részletfeladatokra tagozódnak. Példaként egy ilyen alsémát a



28-2. ábra. A mechanizmus méretezésének alsémája

28-2. ábrán mutatunk be. Ezen szemléletesen követhetők az egyes méretezési lépések. Az egyes lépéseket magukba foglaló kereteken kívül bekeretezett hivatkozási számok találhatóak, amelyek megegyeznek valamely más részfeladat méretezési lépésének hivatkozási számával. A vonatkozási nyilak irányítása azt mutatja, hogy az egyes méretezési lépésekben kapott eredmények melyik másik méretezési lépéshez használandók fel.

Az egységes kontaktorméretezés logikai vázlata tulajdonképpen egy olyan hálódiagram, ahol a 28-1. ábrán levő alapséma a 28-2. ábrán látható rendszer szerint elemi méretezési lépésekig le van bontva. Ez lehetővé teszi, hogy áttekinthetően követhető és ellenőrizhető a méretezés minden fázisa és sorrendje, valamint az egyes méretezési lépések eredményeinek egymásra hatása.

A méretezés logikai sémája alapján elkészíthető a számítási lapokból és az ezek kitöltéséhez szükséges útmutatásokat, szempontokat és anyagállandókat tartalmazó „mellékletből” álló szerkesztési segédlet. Az idézett kutatási megbízás teljesítése során az érintkezők, az áramút, a csatlakozókapocs és a működtetőmágnes méretezési segédlete készült el (27 oldal számítási lap + 93 oldal „melléklet” terjedelemben).

E cikk további részében kidolgozott egységes méretezési módszerből az ívöltő szerkezetek és a működtetőmágnesek néhány méretezési szempontját, ill. módszerét ismertetjük részletesen.

### 3. Ívöltő szerkezetek méretezési szempontjai

A kontaktorok ívöltő szerkezetének méretezésekor számos, sokszor egymásnak ellentmondó szempontot kell figyelembe venni. Ez abból következik, hogy a kapcsolásoknál létrejövő villamos ív és az ívöltő szerkezet részei egymással igen bonyolult kölcsönhatásban vannak. Az ívöltés sikerét vagy sikertelenségét befolyásoló tényezők száma igen nagy, hatásuk sok esetben véletlenszerűen érvényesül (pl. az érintkezők átmeneti ellenállása, az ív mozgásviszonyai az oltókamrában, az oltókamrák helyi melegezése stb. kapcsolásról kapcsolásra változik). Az ívöltő szerkezetek méretezése számára többnyire olyan összefüggések dolgozhatók ki, amelyek tendencijelleggel, statisztikusan írják le az egyes fizikai folyamatokat. Ezen azt értjük, hogy pl. adott áramkörü viszonyok és adott ívöltő szerkezet esetén alkalmas számítási módszerrel előre megállapítható, hogy a kontaktor biztosan megszakítja az ívet. Annak pontos meghatározása azonban, hogy az egyes kikapcsolásoknál mekkora lesz az ív égési ideje, a kikapcsolási ívenergia, az ívöltő szerkezet egyes részeinek melegezése stb., előzetesen nem lehetséges. Ilyen jellegű mennyiségekre vonatkozóan előzetesen csak ún. várható — átlagos vagy maximális — értékek számíthatók ki.

Az ívöltő szerkezetek méretezésének kiinduló alapját egyrészt az előírt hálózati paraméterek (névleges feszültség, névleges kapcsolási teljesítmény, ill. áramerősség, visszaszökő feszültség frekvenciája és csúcstényezője stb.), másrészt a kontaktor üzemmódja (pl. AC<sub>3</sub>) képezi. Ezekhez járul még a megkívánt villamos élettartam biztosítása. Ezek a tényezők azok, amelyek alapján meg kell határozni az ívöltő szerkezet valamennyi aktív (a villamos ívvel valamilyen kölcsönhatásban álló) részének, nevezetesen

- az érintkezőknek,
- az érintkező tartóknak vagy áramutaknak,
- valamint az oltókamrák egyes elemeinek (pl. deionlemez, oltókamra falak stb.)

optimális elrendezését, anyagminőségét és méreteit.

A méretezésben döntően fontos szerepet játszik a kikapcsolások során keletkező ívenergia. Ez a fő meghatározója az ívöltő szerkezetek igénybevételének és egyúttal villamos élettartamának is. Az ív energiája ugyanis az ívöltő szerkezetben teljes egészében hővé alakul, tehát az egyes szerkezeti elemek a villamos ívvel való kölcsönhatásuk mértékétől függő termikus igénybevételnek vannak kitéve. Első megközelítésben azt a méretezési feltételt kell előírni, hogy az ívöltő szerkezet teljes egészének hőkapacitása és a környezet felé történő hőátadása egy olyan tartós termikus egyensúlyt tudjon biztosítani, amely esetben az egyes szerkezeti elemek hőkorrozójának (párolgás, anyagfogyás, deformációk stb.) mértéke nem lépi túl a megkívánt villamos élettartam szempontjából megengedhető értékeket. E feltételnek igen fontos következménye — amelyet a méretezés tulajdonképpen főcéljának nevezhetünk —, hogy törekedni kell a lehető legkisebb kikapcsolási ívenergia elérésére.

Ez a cél azonban még a legegyszerűbb esetben is csak kerülő úton valósítható meg. A kikapcsolási ívenergiát ugyanis nemcsak a már említett hálózati paraméterek határozzák meg, hanem nagymértékben befolyásolja az ívöltő szerkezet konstrukciós elrendezése, valamint a szerkezeti anyagok hőfizikai és elektromágneses tulajdonságai is. Előzetes — lehetőleg minél szélesebb körű — kutatási ismeretanyaggal kell rendelkezni arról, hogy a számos lehetséges konstrukciós elrendezésnek melyek a fő alkalmazhatósági határai, tehát hogy az adott elrendezésen belül az egyes szerkezeti elemek hogyan befolyásolják az ívöltést — vagyis végső soron a kikapcsolási ívenergia nagyságát és az egyes elemek közötti megoszlását. Csakis ilyen ismeretek birtokában képzelhető el, hogy az adott célra műszaki, technológiai és gazdaságossági szempontból egyaránt optimális megoldást valósíthatunk meg. A következőkben röviden utalni kívánunk az utóbbi években ezen a téren elért legfontosabb kutatási eredményeinkre.

Az ívöltő szerkezetekben kulcsfontosságú szerepkört töltenek be az érintkezőpogácsák. A kontaktorok korszerű érintkezőanyagainak nemcsak zárt állapotban kell tökéletes áramvezetést biztosítaniuk, hanem — minőségüktől függően — többékevésbé az ívöltésben is részt kell venniük. Ezeket nagy körültekintéssel, számos — jelenleg jobbára empirikusan meghatározható — összefüggés figyelembevételével kell méretezni. A zárt állapotú áramvezetésre történő méretezéshez lényeges az érintkezők közt fellépő érintkezési ellenállás ismerete [1]. Az ívöltő szerkezet villamos élettartama szempontjából elsődleges fontosságú az érintkezőpogácsák ívenergiára vagy töltésre vonatkoztatott fajlagos anyagfogyása, amely nemcsak az anyagfajtától, hanem a kapcsolások mechanikai paramétereitől (pl. az érintkezők elválási sebessége) és az érintkezőpogácsa méreteitől is függ [2].

A nagyobb névleges áramerősségű, általában 25 A névleges áramerősség fölötti váltakozóáramú kontaktorok esetében az ívöltő szerkezet egyéb elemei (áramutak, deionlemezek) már felhasználhatók az érintkezőpogácsák tehermentesítésére. Ezek az elemek képesek arra, hogy különösen túláramok kikapcsolásakor — de alkalmasan méretezett elrendezés esetén kisebb mértékben már a névleges áramerősség kapcsolásakor is — az ívenergia jelentős részét felemésszék. Ezáltal az érintkezőpogácsák termikus igénybevétele nagymértékben csökken. A célszerűen kialakított áramutak, de különösen a ferromágneses anyagú deionlemezek ugyanis a villamos ívre az áramerősség négyzetével arányos elektromágneses erőhatást fejtenek ki [3]. Ha ez az erőhatás elér vagy meghalad egy küszöbértéket, amely az érintkezőpogácsák anyagától, az áramerősségtől és az ívhosszúságtól függ, akkor az íváltáspontok nagy — 3,5 m/s-ot meghaladó — sebességgel eltávoznak az érintkezők felületéről. Ha ezeket a hatásokat célszerűen alkalmazzuk az ívöltőszerkezet méretezése során, elérhetjük, hogy az érintkezőpogácsák, az áramutak és a deionlemezek termikus igénybevétele

és ezáltal villamos élettartamuk közelebb kerüljön egymáshoz. Ez a körülmény igen fontos a korszerű — nevezetesen az egyenszilárdságra való — méretezés módszerének kidolgozása és alkalmazása szempontjából.

#### 4. A működtetőmágnes zúgásmentes erejének meghatározása

Az egyfázisú, váltakozóáramú mágnesek húzóereje a hálózati frekvencia kétszeres értékével pulzál egy maximális és egy minimális érték között. A pulzáló erő rezgésbe hozhatja a mágnest és a hozzá kapcsolódó készülékalkatrészeket (pl. érintkezőket), ami a készülék „zúgásához” végsősoron az élettartam csökkenéséhez vezet. E káros hatások kiküszöbölésére rövidrezáró gyűrűket alkalmaznak. A gyűrű helyes méretezésével elérhető, hogy a pulzáló erő minimuma a lehető legnagyobb legyen. A kontaktorok működtetéséhez készülő mágneseknek a légrés függvényében változó erő ellenében kell működni. Ez az ellenelő a mágnes zárt állapotában legnagyobb. A mágnes zúgásmentességének feltétele az, hogy a pulzáló erő minimum nagyobb legyen, mint a zárt állapotban fellépő ellenelő maximuma.

A rövidrezáró gyűrű méretezése, azaz a zúgásmentes erő meghatározása nagyon bonyolult feladat; mind a számítás, mind pedig a pontos mérés számos akadályba ütközik (a vasmag  $B-H$  görbéje nem lineáris,  $\mu_{\text{vas}}$  nem állandó, a gyűrű impedanciája  $10^{-3} \dots 10^5 \Omega$  nagyságrendű stb.). Méretezési módszerünk kidolgozásakor néhány közelítő, ill. felépítési feltételt szabtunk meg a számítás egyszerűsítésére és áttekinthetőbbé tételére. A feltételek a következők:

- a gyűrűfluxus szinuszos lefolyású és így a mágnes főfluxusával azonos vektor-ábrában ábrázolható;
- a gyűrűvel ellátott pólus és a vele szemben levő pólusfelület részei, a gyűrűhornyok kivételével, egy síkban vannak;
- a rövidrezáró gyűrű a póluson szimmetrikusan helyezkedik el;
- a mágnes zárt állapotában a pólusok környezetében a szórás nem növekszik meg.

Abból indultunk ki, hogy a gyűrűben indukálódó feszültség nyitott gyűrű esetén az általa átfogott felületen áthaladó fluxus idő szerinti parciális deriváltjából számítható:

$$U_{\text{gy}} = - \frac{\partial(k\Phi_p \sin \omega t)}{\partial t}, \quad (1)$$

ahol  $k = \frac{A_2}{A_1 + A_2}$  (l. 28-3c ábra) az átfogási arány, a gyűrű által átfogott felület

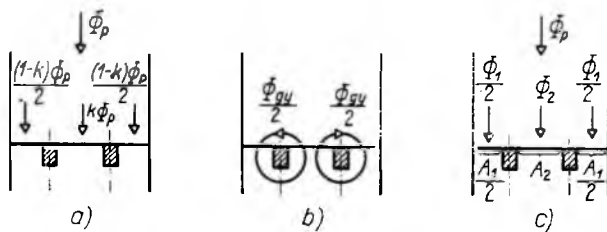
és a teljes pólus felületének az aránya (a felületértékek számításakor a gyűrűhornyok felületét nem szabad figyelembe venni);

$\Phi_p$  a gyűrűvel ellátott oszlop fluxusának amplitúdója.

A gyűrű méreteinek, valamint a gyűrűt körülvevő ferromágneses anyag mágnesezett-ségi állapotának figyelembevételével az (1) egyenletből a gyűrűfluxus (rövidrezárt gyűrű esetén) maximális értéke számítható:

$$\Phi_{\text{gy}} = k\Phi_p \sin \varphi_{\text{gy}}, \quad (2)$$

ahol  $\varphi_{\text{gy}}$  a gyűrűfluxus fázisszöge, a gyűrűreaktancia és a gyűrűellenállás hányadosának arc tg értéke.



28-3. ábra. Fluxeloszlási képek  
 a) fluxeloszlás gerjesztetlen rövidrezáró gyűrű esetében; b) a rövidrezáró gyűrű fluxusképe; c) eredő fluxeloszlás

A (2) egyenlet alapján a 28-3a — c ábrák figyelembevételével a vektorábra könnyen megszerkeszthető (28-4. ábra). A  $k\Phi_p$  ( $OA$  távolság) mint átmérő fölé rajzolt Thales-körből az  $A$  pontban felmért  $\varphi_{gy}$  gyűrűszög szára kimetszi a  $B$  pontot. Az  $OB$  távolság a (2) egyenlet értelmében nem más, mint a  $\Phi_{gy}$  gyűrűfluxus vektora. Ezt a távolságot az  $AB$  szögszárra felmérve, kapjuk a  $C$  pontot, azaz a fázishelyzetnek megfelelően felrajzolt gyűrűfluxus vektorát. A vektorok irányának meghatározásakor gondolatban a szuperpozíció elvét alkalmazzuk a 28-3a—c ábrák szerint. A 28-3a ábra a  $\Phi_p$  pólusfluxus eloszlását mutatja abban az esetben, ha a gyűrű nincs rövidrezárva. Ekkor a  $k\Phi_p$  fluxus az (1) egyenlet szerinti feszültséget indukálja a gyűrűbe. A 28-3b ábra rövidrezárt gyűrűben, az indukált feszültség hatására keletkező áram által gerjesztett gyűrűfluxust mutatja. A 28-3a és b ábrán meghatározott fluxusképekből következik, hogy a gyűrű által körülfogott felületrészen átfolyó eredő fluxus ( $k\Phi_p$ ) és ( $\Phi_{gy}$ ) fluxusok vektoros összege a következő lesz:

$$\Phi_2 = k\Phi_p + \Phi_{gy}. \quad (3)$$

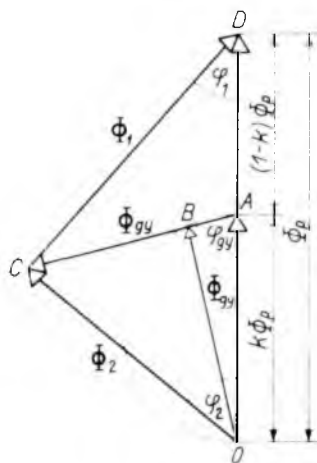
A teljes pólusfluxus, a valóságban két vektor összegeként felgható fel, azaz

$$\Phi_p = \Phi_1 + \Phi_2. \quad (4)$$

A 28-3c ábra a ténylegesen fellépő fluxusok eloszlását mutatja vázlatosan. A vektor-ábrában (28-4. ábra) a vektorok irányítottága kielégíti a (3) és (4) egyenletek által meghatározott követelményeket.

A pólusfluxus, az átfogási arány, a ferromágneses anyag  $B-H$  görbéje és a rövidrezáró gyűrű méreteinek ismeretében a vektorábra alapján elemi algebrai és trigonometriai összefüggések segítségével a tényleges  $\Phi_1$  és  $\Phi_2$  fluxus meghatározható. A számítás menete a következő:

- a gyűrű konduktanciájának és reaktanciájának meghatározása után kiszámítjuk a gyűrű fázisszögét ( $\varphi_{gy}$ );
- $\varphi_{gy}$ ,  $k$  és  $\Phi_p$  ismeretében a tényleges részfluxusok ( $\Phi_1$  és  $\Phi_2$ ), valamint azok fázisszögei ( $\varphi_1$  és  $\varphi_2$ ) számíthatók,



28-4. ábra. A rövidrezáró gyűrűvel ellátott pólus vektorábrája

- a mágneses körben a ténylegesen fellépő fluxusokból és a geometriai méretek-ből a következő egyenlet alapján meghatározható a teljes állandósult húzóerő az idő függvényében:

$$F_z = C \left[ \frac{\Phi_0^2}{A_0} \sin^2 \omega t + \frac{2\Phi_1^2}{A_1} \sin^2(\omega t - \varphi_1) + \frac{2\Phi_2^2}{A_2} \sin^2(\omega t + \varphi_2) \right]. \quad (5)$$

ahol  $\Phi_0$  a mágnes középső oszlopának fluxusa,

$\Phi_1$  és  $\Phi_2$  a 28-4. vektorábra szerint értelmezett fluxusok,

$A_0$  a középső oszlop keresztmetszete,

$A_1$  és  $A_2$  a  $\Phi_1$  és  $\Phi_2$  fluxusértékekhez tartozó keresztmetszetek (28-3c ábra).

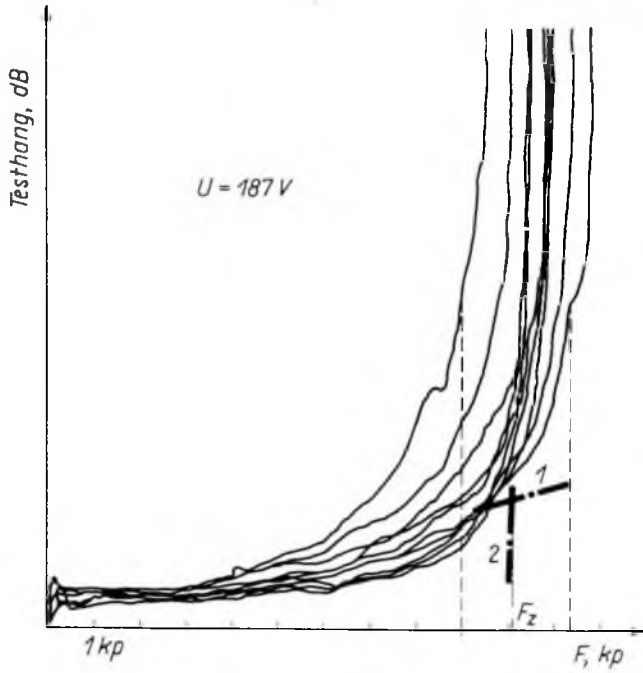
A kapott függvény minimuma a mértékadó a mágnes zúgása szempontjából. Ennek a minimális erőnek kell nagyobbnak lenni a zárt állapotban fellépő maximális ellen-erőnél.

A leírt számítási módszer legnagyobb figyelmet és türelmet igénylő része a rövidrezáró gyűrű reaktanciájának meghatározása. A pólusoknál a mágneses tér torzulása (inhomogenitása) és a vastelítődés miatt a gyűrű által körülfogott és körül nem fogott térrészekben a relatív permeabilitás nem egyforma. E tény figyelmen kívül hagyása 200...300%-os hibát okozhat. A zárt körfolyamú egymásrahatás miatt az egyes térrészek mágneses vezetőképessége közvetlenül nem határozható meg, csak iterációs módszerrel számítható. Eszerint először a körülfogott és körül nem fogott pólusrészek fetételezett permeabilitásából kell kiindulni és ezekből kell kiszámítani a térrész eredő mágneses vezetését, ill. a gyűrű reaktanciát. A tényleges részfluxusok a már leírt módon határozhatók meg. Ezek ismeretében azonban ellenőrizni kell, hogy az adott térrészben az indukció és a relatív permeabilitás értékei megegyeznek-e a számítás kezdetén felvett értékekkel. Az iterálás akkor hagyható abba, ha a felvett és számított adatok között 5%-nál kisebb az eltérés. A gyűrűreaktancia ismertett számítás módszerében a vastelítést egyszerűen figyelembe lehet venni, s ez a módszer egyik nagy előnye.

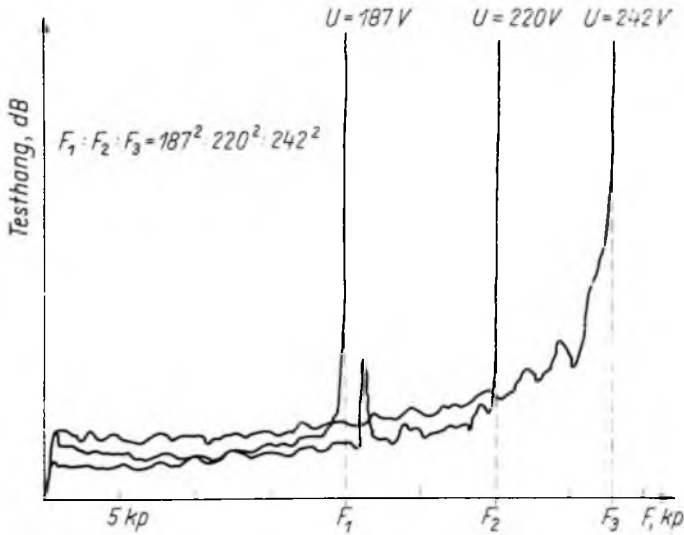
## 5. A zúgásmentes erő mérése

A mágnesek zúgását az esetek túlnyomó részében füllel érzékelték. Így alakultak ki olyan viszonylagos fogalmak, amelyek szerint a mágnes „nagyon” vagy „kevésbé” zúg. A kontaktorok méreteinek csökkentésére, a kihasználási tényezők növekedésére való törekvés pontos és indokolatlan erőtartalékok nélküli mágnesek tervezését teszi szükségessé. Ez a törekvés azonban megvalósíthatatlan a zúgásmentes erő pontos és egzakt meghatározása és mérési módszere nélkül. Az általunk alkalmazott mérési módszer esetében a mágneset terhelő erőt folyamatosan feszített húzórugóval állítottuk elő, a „zúgást” pedig testhangméréssel regisztráltuk. A terhelőerőt egy jelátalakítóval villamos úton rögzítettük.  $X-Y$  író segítségével közvetlenül meg tudtuk határozni a terhelőerő függvényében a testhang nagyságát, azaz a rezgő mágnes rezgési gyorsulását. A felvett karakterisztikáknak két jellegzetes szakasza van:

- a kezdeti lapos szakasz, ahol nagy terhelőerő-változáshoz kis testhangváltozás tartozik,
- a meredek szakasz, ahol kis terhelőerő-változáshoz nagy testhangváltozás tartozik.



28-5. ábra. A mágnes zúgásának változása a terhelőerő függvényében  $U_k = 187 V$  esetén

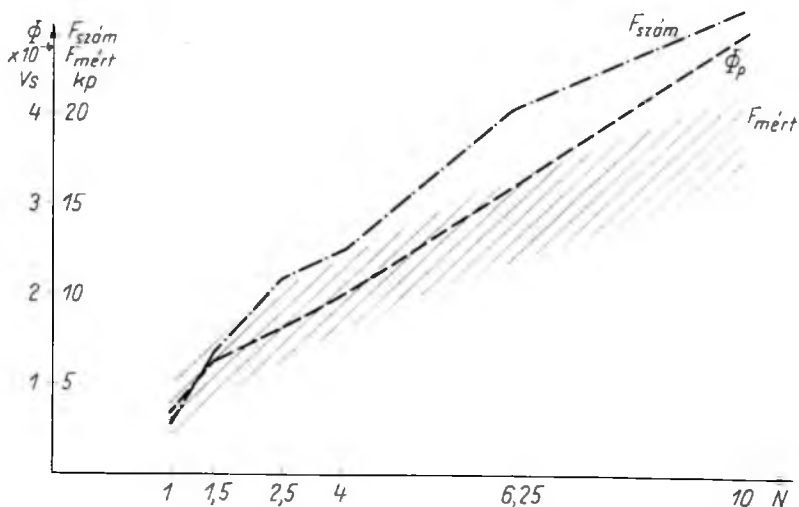


28-6. ábra. A mágnes zúgásának változása a terhelőerő függvényében különböző kapcsolófeszültségek esetén

A mérési eredmények alapján a zúgásmentes erőnek azt az erőt tekintettük, amely erőértéknél a lapos szakasz a meredek szakaszba megy át. A valóságban nem egy erőértékről, hanem egy zúgásmentes erősvárról kell beszélni. Példaképpen egy adott mágnesen azonos feltételek mellett végzett 10 mérés regisztrátumát mutatjuk be az 28-5. ábrán. Az ordináta számszerű értékeit nem tüntettük fel, mivel az ábra csak minőségi tájékoztatást nyújt a testhangváltozás vonatkozásában. A görbesereg lapos, ill. meredek szakaszán a mérési eredmények átlaga egyenesekkel (28-5. ábrán 1 és 2 jelű egyenesek) helyettesíthető. Ezen egyenesek metszéspontjának abszcisszáját ( $F_z$ ) tekintjük a zúgásmentes erő névleges értékének. A mérési eredmények az adott mágnesre jellemző névleges zúgásmentes erő környezetében  $\pm 15\%$  szélességű sávban helyezkednek el. Ezt a széles szórási sávot csökkenteni lehet a mágnes sűrűdásmentes megvezetésével, stabilizált feszültségforrás alkalmazásával, a rugóerő adott, állandó sebességű változtatásának biztosításával stb. A 28-6. ábrán egy mágnes gerjesztő-tekercesének három különböző kapocsfeszültség-értékénél felvett „zúgási görbéit” mutatjuk be. A feszültségértékek négyzetének arányában változik a zúgásmentes erő értéke is. Ez az eredmény a mérési módszer használhatóságát bizonyítja, hiszen a fent leírt arány a mágnesek méretezésének technikájában már régen ismert és bizonyított.

## 6. A számított és mért eredmények összehasonlítása

A zúgásmentes erő meghatározásához hat különböző méretű mágnes állt rendelkezésünkre. A korábban ismertetett módon kiszámítottuk és megmértük e mágnesek zúgásmentes erő értékeit. A kapott eredményeket a 28-7. ábra mutatja. Az ábrán a vízszintes tengelyre a mágnes nagyságára jellemző viszonyszámot rajzoltuk fel. A négy kisebb mágnes esetében a számított és mért eredmények jól egyeznek. A nagyobb mágnesek esetében az eltérés nagyobb, de még elfogadható ( $+30\%$ ). A hiba nagyságának növekedését az indokolja, hogy a mágnespólus nem elégíti ki teljesen a számítási módszer során ismertetett feltételeket (a rövidrezáró gyűrű nem szimmetrikusan helyezkedik el a póluson, a gyűrűn kívüli egyik pólusfelület alá van köszörülve).



28-7. ábra. Különböző nagyságú ( $N$ ) mágnesek mért és számított zúgásmentes erő értékei és a pólusfluxus változása



Az ábrákon feltüntettük a pólusfluxusértékeit is, amelyeket egyrészt méréssel, másrészt a kapocsfeszültség és a gerjesztőtekercs menetszámának ismeretében, számítás útján határoztunk meg.

## 7. Összefoglalás

Az egységes méretezési módszer és ezen belül az egyes készülékrészekre vonatkozó számítási eljárások kidolgozása két szempontból volt alapvetően időszerű. Egyrészt összefoglalta a közel egy évtizede folyó, kisfeszültségű, váltakozóáramú kontaktorokkal kapcsolatos kutatások során elért eredményeket, és ezáltal rögzítette azt a szellemi értéket, amely ezen időszak alatt felhalmozódott, másrészt az egységes logikai séma kidolgozásával meghatározta azokat a részfeladatokat, amelyek kutatása a közeljövő feladata. A logikai séma egy minden szempontra kiterjedő kontaktorméretezési módszer alapja.

### Irodalom

- [1] *Dr. Néveri I.*: Kutatási feladatok a kisfeszültségű, váltakozóáramú mágneskapcsolók korszerű kialakításához. VKI Közlemények **2** 1967. 187. old.
- [2] *Néveri, St.*: Fragen der optimalen Bemessung von Schützen. *Elektrie* 25 (1971) **8**. 295. old.
- [3] *Polgár T.*: Ívöltési viszonyok a kisfeszültségű váltakozóáramú kontaktorokban. *Villamosság* 19. (1969) **10—11**. 329. old.
- [4] Kisfeszültségű kontaktorelemek számára méretezési eljárás kidolgozása. VKI Zárójelentés 1972. 101. old. 25. old. melléklet.



# 29.

## A plazmatechnika alkalmazása a fémmegmunkálásban

*PÓCSY FERENC—TANOS ERVIN*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A plazmatechnika fogalma. A plazmatechnika felhasználási lehetőségei, előnyei.  
Célkitűzések:

- továbbfűtési eljárások szükségessége és lehetősége
- mágneses fókuszálás.

Méréstechnikai problémák. Spektroszkópos hőmérsékletmérés.

### ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

*Ф. Почы—Е. Танос*

#### Резюме

Понятие плазменной техники. Области применения, преимущества.  
Достижимые цели:

- необходимости и возможности процессов дальнейшего повышения температуры
- магнитное фокусирование.

Проблемы измерительной техники. Спектроскопическое измерение температуры.

### ANWENDUNG DER PLASMATECHNIK IN DER METALLBEARBEITUNG

*F. Pócsy—E. Tanos*

#### Zusammenfassung

Begriffsbestimmung der Plasmatechnik. Die Anwendungsmöglichkeiten der Plasmatechnik, ihre Vorteile.

Zielsetzungen:

- Notwendigkeit und Möglichkeit der Weiterheizungsverfahren,
- magnetische Fokussierung.

Messtechnische Probleme. Temperaturmessung mit der spektroskopischen Methode.

# APPLICATION OF PLASMA TECHNIQUES IN METAL-WORKING PROCESSES

By F. Pöcsy—E. Tanos

## Summary

The concept of plasma techniques. Possible applications and advantages of plasma techniques.

Objectives:

- necessity and possibility of continued heating,
- magnetic focusing.

Measuring problems. Spectroscopic temperature measurement.

## 1. Bevezetés

A fejlett ipari országokban az ipari plazmatechnika és technológia területén végzett intenzív kutatási és fejlesztési munka következtében az elmúlt évtizedek folyamán néhány plazmamegmunkálási mód általánossá és nélkülözhetetlenné vált a gépiparban. Ezek a következők: a plazmavágás, a plazmahegesztés, és a plazmaszórás.

E technológiákhoz nagy választékban gyártanak speciális berendezéseket. Egyes plazmavágó típusok (szűk mérethatárok között) lemezlyukasztásra is alkalmasak. A plazmavágás elterjedését a következő előnyöknek tulajdoníthatjuk.

- A plazmasugárral minden anyag megolvasztható, ezért vele a más technológiákkal egyáltalán nem, vagy csak igen nehezen (és drágán) megmunkálható anyagok is vághatók.
- Nagy energiakonzentrációja következtében több nagyságrenddel felülmúlja a munkadarabra a forgácsoló megmunkáláskor bevitt teljesítményt, tehát nagy a megmunkálási sebesség.
- A lángvágással összehasonlítva, a plazmavágott felület lényegesen simább, a vágási élek sarkosak, kisebb a vágat szélessége a plazmasugár kisebb átmérője miatt, kisebb a hőzóna vastagsága.

Intézetünkben a „Villamosenergia különleges alkalmazása” című KGM célprogram (Cp 12) keretében a plazmasugaras anyagválasztási eljárások továbbfejlesztésével foglalkozunk. Elsősorban a forgácsoló megmunkálások helyettesítési lehetőségét vizsgáljuk a gazdaságosabb és gyorsabb megmunkálással. Plazmaesztérgálási kísérletekről már régebbi szakirodalmi adatok is találhatók (vágópisztolyokkal durva lemunkálást vagy nagy emelkedésű menetek nagyolását végezték), a széles körű ipari elterjedésnek azonban akadályai vannak. A két legjelentősebb a következő:

- a tömeges alkalmazáshoz a plazmagázként jelenleg általánosan használt argon—hidrogén keveréket helyettesíteni kell a lényegesen olcsóbb sűrített levegővel, amely legtöbb üzemben rendelkezésre áll;
- a felületi simaság javítása és a megmunkálási sebesség növelése érdekében kis átmérőjű ( $d \cong 1 \text{ mm}$ ) és nagy teljesítménysűrűségű, megfelelő hosszúságú plazmasugarat szolgáltató plazmapisztolyokat kell kifejleszteni.

A jelenlegi fejlesztési tendenciák főleg az említett problémakörök megoldására irányulnak. Oxigénálló katódként Zr-t (cirkónium), ill. ennek oxidját egyes sorozatban gyártott vágópisztolyokban már alkalmaznak, azonban — főleg mert a tiszta Zr

drága és nehezen beszerezhető — a kérdés nincs teljesen megoldva. A külsőíves pisztolyok teljesítménysűrűségének fokozása érdekében a vörösréz fúvóka átmérőjét a technikailag lehetséges alsó határig csökkentették. A fúvóka termikus terhelhetőségét fokozott nyomású hűtőrendszerekkel, a falvastagság csökkentésével és különleges gázáramlási viszonyok biztosításával (lamináris hideg réteg) igyekeznek növelni. A vágás minősége nagymértékben javítható, ha a plazmanyaláb sugárirányú hőmérsékleteloszlását meredek levágásúvá alakítjuk ki. Erre a célra hideg gázköpeny létrehozása, ill. a plazma vízsugaras hűtése látszik a legalkalmasabbnak. Az utóbbi módszerrel kísérleteink során lényeges minőségjavulást értünk el.

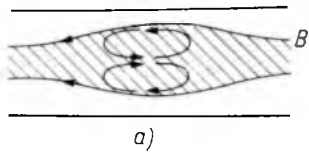
A következő részben a plazmasugár teljesítménysűrűségének növelési (továbbfűtési) lehetőségeit tekintjük át és kutatásaink néhány elméleti és kísérleti eredményét mutatjuk be.

## 2. Továbbfűtési kísérletek

Az előbbieken már láttuk, hogy az egyik elérni kívánt cél a nagyobb energiasűrűségű ( $\text{kW}/\text{mm}^2$ ) és lehetőség szerint hosszú plazmanyaláb előállítás. Ez egyenértékű azzal a feladattal, hogy adott villamos teljesítményt minél kisebb átmérőjű nyaládba kényszerítsünk. Természetesen megtehető az is, hogy adott átmérőjű nyaládba nagyobb villamos teljesítményt viszünk be. Ez azonban csak félmegoldás lenne, hiszen az átolvasztott anyag mennyisége ezáltal nem csökken, csak a megmunkálási sebesség nő.

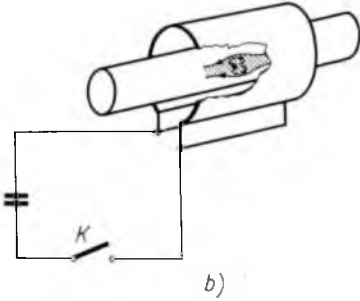
A célkitűzés megvalósítására a legkézenfekvőbb megoldás, hogy egyszerűen kisebb átmérőjű fúvókát használunk. A fúvóka termikus terhelhetőségének határain túl azonban ez a fúvóka falának szétégéséhez vezetne. Ennek kiküszöbölésére merült fel az a gondolat, hogy olyan fúvókát készítsünk, amelynek nem ég el a fala. Tekintettel arra, hogy a plazma elektromosan töltött részecskéket is tartalmaz, kézenfekvő, hogy mágneses térrel valósítsuk meg a nyaláb szűkítését. Ehhez azonban az szükséges, hogy a plazmaképző gáz csaknem teljesen ionizált állapotban legyen, ami kb.  $40\,000\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékleten valósulna meg. Ez úgy érhető el, hogy adott plazmapisztolyba nagyobb villamos teljesítményt adunk. Ekkor azonban ismét felmerül a fúvóka és a katód termikus terhelhetőségének kérdése. Ennek a problémának a megoldására készítettük azt a tervet, hogy egy adott hőmérsékletű és átmérőjű plazmanyalábot a fúvókából való kilépés után (aholis már az ott elérhető legmagasabb hőmérsékletre fűtöttük fel a plazmát) újabb teljesítmény betáplálásával továbbfűtjük és ezután mágnesesen fókuszáljuk.

A továbbfűtés megvalósítására a magfúziós plazmák esetében már jól ismert plazmafűtési eljárásokat próbáltuk ki, részint elméletben, részint gyakorlatban. A tervezett eljárások közül kettő — az ún. lökeshullámcső és a  $\theta$  pinch berendezés — impulzus üzemű, míg a nagyfrekvenciás hevítés folytonos üzemű. A lökeshullámcső kísérleti darabja elkészült és a jelek szerint önállóan is használható eszközzé fejleszthető. A nagyfrekvenciás hevítésről és a  $\theta$  pinch berendezésről elméleti úton ki tudtuk mutatni, hogy gyakorlatilag (legalábbis gazdaságosan) nem valósíthatók meg. Ezekről a vizsgálatokról függetlenül, ill. velük párhuzamosan megvizsgáltuk a mágneses fókuszálás lehetőségét is. A következőkben részletesen ismertetjük a vizsgálatokat és eredményüket.



29-1. ábra. A  $\theta$ -pinch mágneses konfigurációja és a kísérleti berendezés vázlata

## 2.1 $\theta$ -pinch előállító berendezés (thetatron) [1]



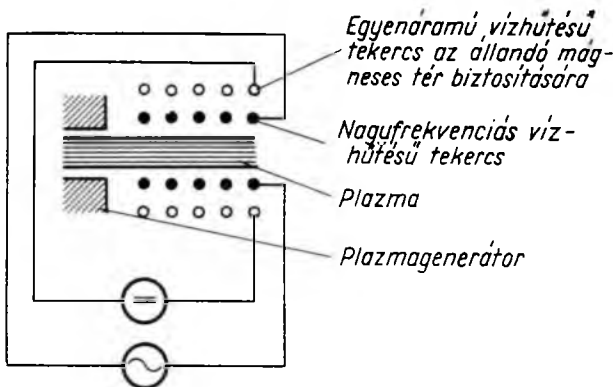
A plazmát lényegében egy nagyfrekvenciás tekercs szekunder menetének tekintjük. A tekercsre sűtött igen nagy meredekségű és csúcsértékű áram a plazmában nagy áramerősségű örvényáramokat kelt. Ez részint a plazma felmelegedését, részint mágneses összenyomását eredményezi (pinch hatás). Az elvet a 29-1. ábra szemlélteti. Ezt a berendezést számításaink szerint csak rendkívül nagy méretű kondenzátortelepekkel lehetne megvalósítani. Ezért ezzel a megoldással nem is kísérleteztünk.

## 2.2 Nagyfrekvenciás hevítés

Tekintettel egy nagyfrekvenciás generátor nagy beszerzési költségére, először elméletben próbáltuk megkeresni az optimális hevítési körülményeket. A berendezés elvi felépítését a 29-2. ábra mutatja. Ezt az elrendezést tekintve modellnek, a hevítés matematikai megoldását a következő kifejezés adja [2]:

$$\epsilon = \frac{N^2 I^2}{r_0} \operatorname{Re} \left\{ \frac{\rho J_1(\rho r_0)}{\sigma J_0(\rho r_0)} \right\},$$

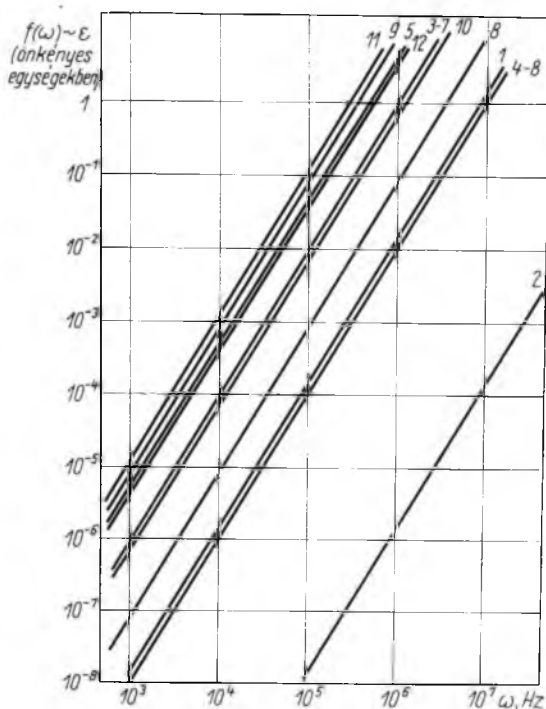
ahol  $\epsilon$  a térfogategységben elnyelt villamos teljesítmény;  
 $N$  a hosszegységre eső menetszám;  
 $I$  a gerjesztőáram erőssége;  
 $r_0$  a plazmahenger sugara;



29-2. ábra. Nagyfrekvenciás hevítés elvi vázlata

$J_0, J_1$  a nullad- és elsőrendű Bessel-függvények;  
 $\sigma$  a plazma rezisztivitása;  
 $p^2 = -j\mu\omega\sigma$ ;  
 $\omega$  a körfrekvencia;  
 $\mu$  a plazma permeabilitása.

A számítás során elsősorban  $\sigma$  megkeresése okozott problémát, ugyanis  $\sigma$  függ a részecskesűrűségtől, a hőmérséklettől, a mágneses tértől, és részecskék közti kölcsönhatástól, mégpedig a Boltzmann-egyenletből megkapható integrálon keresztül, ami legtöbb esetben csak numerikusan oldható meg [3]. Ezt a számítást számítógépen végeztettük el, különböző külső paraméterek esetére. Az eredmények azt mutatták,



29-3. ábra. Nagyfrekvenciás plazmahevíítés normál plazmában

hogy az energiaelnyelés a gyakorlat számára szóba jövő esetekben annyira kicsi, hogy nem érdemes a módszert kísérleti berendezésben kipróbálni. Példaképpen bemutatjuk az energiaelnyelés nagyságát (mivel a tényleges nagyság függ a nagyfrekvenciás tekercs geometriai méreteitől, itt csak egy ezzel arányos  $f(\omega)$  mennyiséget ábrázolunk) a 29-3. ábrán, amelyhez az adatok a 29-1. táblázatban vannak. Az energiaelnyelés ebből becsülhető maximális határfoka kb. 0,1%, ami az irodalom szerint [4] kicsi, de ennél jobb határfok (40%) csak GHz körüli frekvenciákon érhető el. Egy ilyen nagyfrekvenciás generátor működtetése fémmegmunkálásra semmiképpen sem lenne kifizetődő.

## 29-1. táblázat

## Nagyfrekvenciás plazmahevités adatai normál plazma esetén

A görbék sor-száma	$n$	$\alpha$	$n_e$	$B$	$\sigma$
1	$10^{24}$	1	$10^{22}$	0,1	96
2	$10^{24}$	1	$10^{22}$	1	1
3	$10^{24}$	10	$10^{23}$	0,1	6000
4	$10^{24}$	10	$10^{23}$	1	70
5	$10^{24}$	30	$3 \cdot 10^{23}$	0,1	24 000
6	$10^{24}$	30	$3 \cdot 10^{23}$	1	530
7	$10^{25}$	1	$10^{23}$	0,1	6000
8	$10^{25}$	1	$10^{23}$	1	70
9	$10^{25}$	10	$10^{24}$	0,1	49 000
10	$10^{25}$	10	$10^{24}$	1	4400
11	$10^{25}$	30	$3 \cdot 10^{24}$	0,1	70 000
12	$10^{25}$	30	$3 \cdot 10^{24}$	1	22 000

$n$  részecskesűrűség,  $1/m^3$ ;  $n_e = \alpha n$  elektronsűrűség,  $1/m^3$ ;  $\alpha$  ionizáció foka, %;  
 $B$  mágneses térerősség, T;  
 $\sigma$  rezisztivitás,  $1/\Omega m$ .

## 2.3 Lökéshullámcső

A lökéshullámcső segítségével lényegében fordított MHD problémát kívánunk megoldani: villamos fűtéssel és mágneses térben való gyorsítással a készülékbe áramló hideg gázból nagy sebességű és nagy hőmérsékletű gázt (plazmát) létrehozni, amely megfelelő fűvókán kifűjva, anyagmegmunkálásra használható. Ennek a plazmagenerátornak alapvető jellemzője az, hogy a bevezetett villamos energia egy részét közvetlenül mechanikai energiává alakítja át. A lökéshullámcső elvi felépítése a következő: homogén mágneses térben, az erővonalakra merőleges síkban helyezkedik el a két párhuzamos sínből álló elektród-rendszer. Az elektródák vörösréz- és hőálló kerámiából készült vízűtésű cső belsejében foglalnak helyet. A cső egyik végén van a plazmagáz bevezetése, ugyanitt történik a katód és anód közötti ív gyújtása. Az elektródokra kondenzátorteleg csatlakozik kis önindukciójú hozzávezetésekkel. A gyújtóimpulzus által keltett íven a kondenzátor kisül, miközben az ív a mágneses tér hatására — felhevítve és gyorsítva a plazmát — végigfut az elektródok között. Megfelelő paraméterek esetén a kisülés befejeződik, amikor az ív az elektródok végére ér, a plazma pedig kilép a fűvókán. A berendezés impulzus üzemű, a kisülési szakaszt rövid töltési időszak követi, majd a gyújtóimpulzus újból megindítja a folyamatot.



A nagy kiáramlási sebesség érdekében a konstrukció kialakításában az elektrodinamikusan erőt által végzett mechanikai munka és az összenergia hányadosának növelésére kell törekedni. Műszakilag még reálisan megvalósítható paraméterekkel számolva, kb. 20% érhető el optimális esetben. Az impulzusüzemű lökeshullámcső várható előnyei a következők:

- a hangsebességnél gyorsabban mozgó lökeshullámfront nagy energiakonzentrációja;
- a nagy áramlási sebesség következtében megnő a plazmasugár hossza;
- a kisnyomású gázzal táplált lökeshullámú plazmapisztoly az elektrodinamikusan erők és az impulzusüzemű hevítés hatására létrejövő nyomásnövekedés következtében a nagynyomású pisztolyok előnyös tulajdonságaival rendelkezhet;
- az ívkisülés elmozdulása következtében lényegesen kisebb az elektródák igénybevétele a hagyományos belső íves pisztolykonstrukciókkal összehasonlítva.

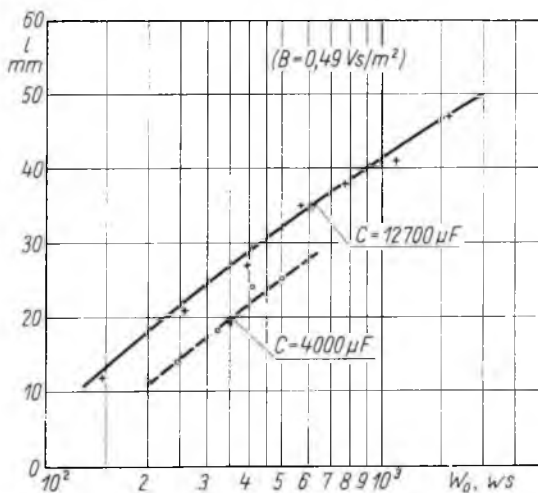
A lökeshullámcsővel kapcsolatos kísérleti kutatómunkát 1972-ben indítottuk meg. Az első kísérleti berendezés legfontosabb adatai a következők:

kisülési csatorna méretei:  $10 \times 6 \times 130$  mm, (elektródtávolság  $\times$  csatornaszélesség  $\times$  csatorna-hosszúság);

gyorsító mágneses indukció:	0...0,7 T
kondenzátortelep kapacitása:	0...12 700 $\mu$ F
kondenzátortelep feszültsége:	0...500 V
legnagyobb tárolt energia:	1500 J
plazmagáz:	kisnyomású argon.

A kísérleteket egyes kisülések vizsgálatával kezdtük, a legfontosabb mérési eredményeket a következőkben ismertetjük:

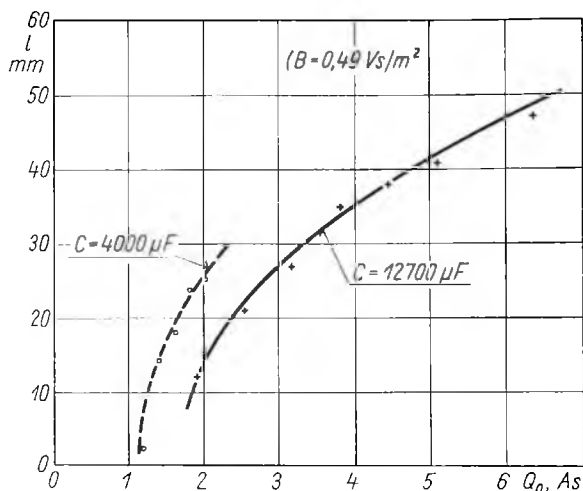
A kisülési áramimpulzusok alakja aperiódikus RLC körre utal. A tárolós oszcilloszkópon rögzített görbék analízise kimutatta, hogy kísérleti viszonyaink között



29-4. ábra. A plazmakifúvás hossza a kondenzátorenergia függvényében

( $1 \text{ kA} \leq I \leq 10 \text{ kA}$ ) az ívfeszültség  $U_i = U_{i0} + R_i I$  kifejezéssel írható le közelítőleg. ( $U_{i0} = 45 \text{ V} \pm 20\%$ ,  $R_i = 0,03 \pm 0,005 \Omega$ ).

A kisülési csatornából kilépő plazmasugár fényképezésével vizsgáltuk a beállítási paramétereknek a sugár méreteire gyakorolt hatását. Megállapítottuk, hogy a gyorsító mágneses tér indukciójának növelése alapvetően szükséges a hosszú nyaláb létrehozásához. A gázadagolás fokozása viszont — különösen nagy indukció esetén — lényegében csak a nyaláb szélességét növeli, ami technológiai szempontból kedvezőtlen. A kondenzátortelep feszültségének és a kapacitás változtatásának hatását rögzített ( $B = 0,49 \text{ T}$ ) indukcióra nézve határoztuk meg. A 29-4. és 29-5. ábrán a kifúvás

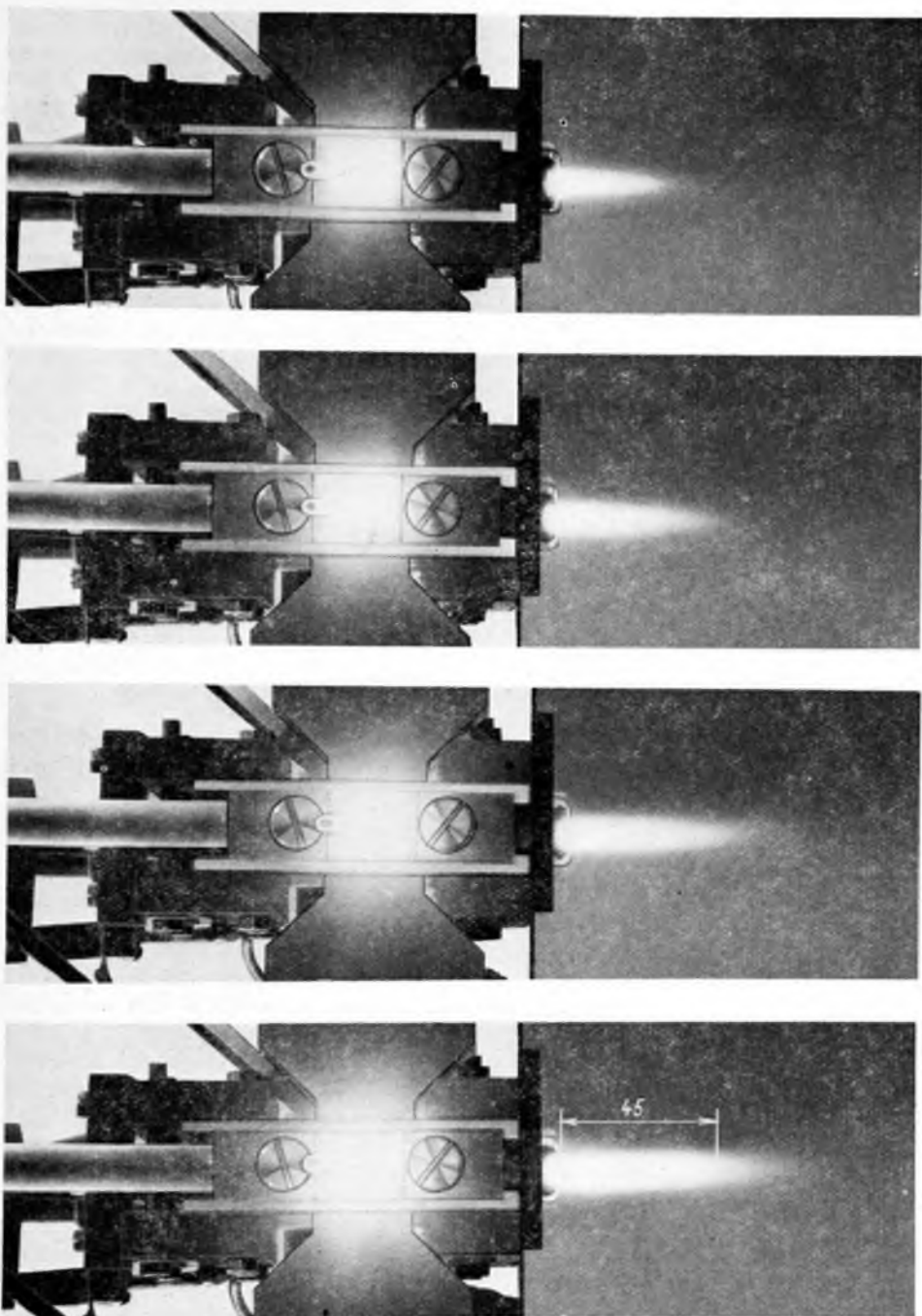


29-5. ábra. A plazmakifúvás hossza a töltés függvényében

hosszát a kondenzátortelep kezdeti energiájának és töltésének függvényében mutatjuk be. A 29-6. ábrán négy felvételen a kifújó plazmasugár látható  $C = 12700 \mu\text{F}$ ,  $B = 0,49 \text{ T}$ ,  $U_0 = 200 \text{ V}$ ;  $300 \text{ V}$ ;  $400 \text{ V}$  és  $500 \text{ V}$  beállítási paraméterek mellett. A felvételek a kilépő sugárral szemben készültek, az oldalnézetet egy  $45^\circ$ -os helyzetben levő üvegtükör segítségével rögzítettük egyidejűleg. Az oldalnézet határozottabb körvonalú, mert az üveg kiszűrte a diffúz ultraibolya-sugárzást.

A plazmasugár-impulzusok fennállási idejének vizsgálatára szilícium fényelemes méréseket végeztünk. A lökéscsővel szemben elhelyezett fényelemmel a teljes fennállási időt, egy oldalt levő fényelemmel pedig a kilépő plazma sugárzásának időtartamát mértük. A plazma előrehaladási sebessége (a kisülési csatornában) a  $60 \dots 280 \text{ m/s}$  tartományba esett, a paramétereiktől függően. Szondamérési módszerrel egyes esetekben lényegesen nagyobb sebességet mutattunk ki (kb.  $400 \text{ m/s}$ -ig), a látszólagos ellentmondás kiküszöbölésére a mérési módszereket gyorsfilm-felvételekkel fogjuk kiegészíteni.

Az eddigi kezdeti eredményeket áttekintve, megállapíthatjuk, hogy bár számításaink szerint a kondenzátor energiájának csak kis hányada fordítódik közvetlenül a plazmasugár mechanikai impulzusának növelésére, a mágneses gyorsítás mégis előnyösen befolyásolja a lökés hullámcsőből kilépő nyaláb alakját és sebességét. A gázfogyasztás előreláthatólag kisebb lesz, mint egy azonos teljesítményű, de folyamatos működésű plazmapisztolyé.

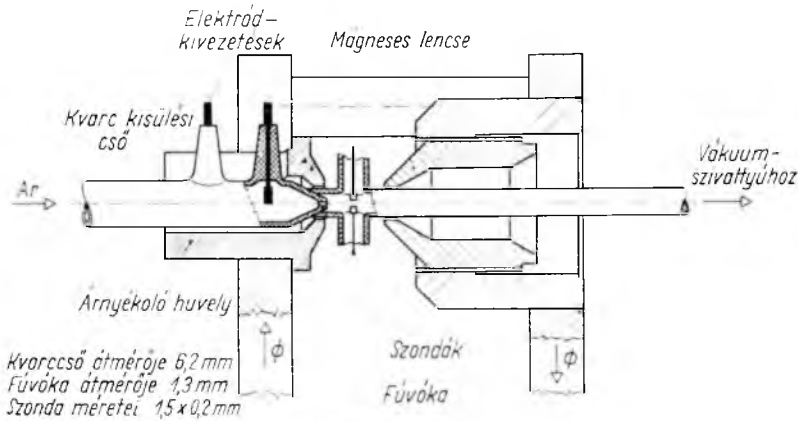


29-6. ábra. A lökéshullámcsőből kilépő plazma hossza különböző beállítások mellett  
a)  $U_0 = 200 \text{ V}$ ; b)  $U_0 = 300 \text{ V}$ ; c)  $U_0 = 400 \text{ V}$ ; d)  $U_0 = 500 \text{ V}$

A következő kutatási időszak legfontosabb kutatási feladatai: a fúvóka-keresztmetszet csökkentése, az ismétlődő impulzusüzem megvalósítása, a gyorsító indukció és villamos teljesítmény növelése, vezérlési feladatok megoldása. Feladatainkat korszerű kísérleti módszerek bevezetésével (gyorsfilm, spektroszkópia stb.), a lökeshullámcső elméletének kidolgozásával kívánjuk megoldani.

### 3. Mágneses fókuszálás

A mágneses fókuszálás elméleti alapjaival nem kívánunk részletesen foglalkozni, mivel az az irodalomban megtalálható (pl. [1], [5]). A módszer elvi alapja a töltött részecskék „visszaverődése” a mágneses falról. Ezért is szokták az ilyen típusú berendezéseket mágneses tükörtér berendezésnek hívni. A cél mindenképpen az átmérő csökkentése, ill. a hőmérséklet és részecskeeloszlás profiljának meredekebbé tétele. A módszert azért érdemes kipróbálni, mert ha beválik, esetleg mégis hasznosíthatók lesznek



29-7. ábra. Mágneses fókuszálórendszer

a továbbfűtési eljárások. Tekintettel a mérés technikai nehézségekre, a mágneses fókuszáló rendszert először kis nyomáson próbáltuk ki. A mágneses tér hatásának ismerete után a nyomás növelésével extrapolálni lehet az atmoszferikus nyomásra. A méréshez szükséges vákuumberendezéseket az EIVRT-ben készítették és ott is helyeztük üzembe [6]. Az elrendezés rajza a 29-7. ábrán látható. A mérőszondákkal az elektron- és ionsűrűség, valamint a  $T_e$  elektronhőmérséklet mérhető [7], [8]. Ehhez az  $I_e$  elektronáram és a szondafeszültség összefüggését mutató karakterisztikákat kell felvenni. A felvett karakterisztikák kiértékeléséből az említett paraméterek meghatározhatók. A kiértékelésből kapott adatok segítségével definiálhatjuk a  $\alpha$  ún. mágneses összenyomási tényezőt:

$$\alpha = \frac{n_e (M)}{n_e (MN)},$$

ahol

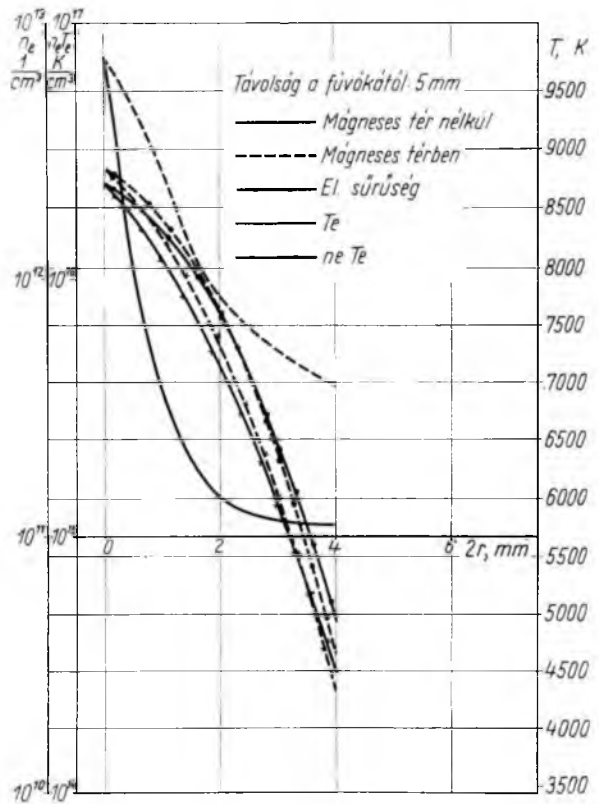
- $n_e$  az elektronkoncentráció;
- $M$  mágneses térben;
- $MN$  mágneses tér nélkül.

29-2. táblázat

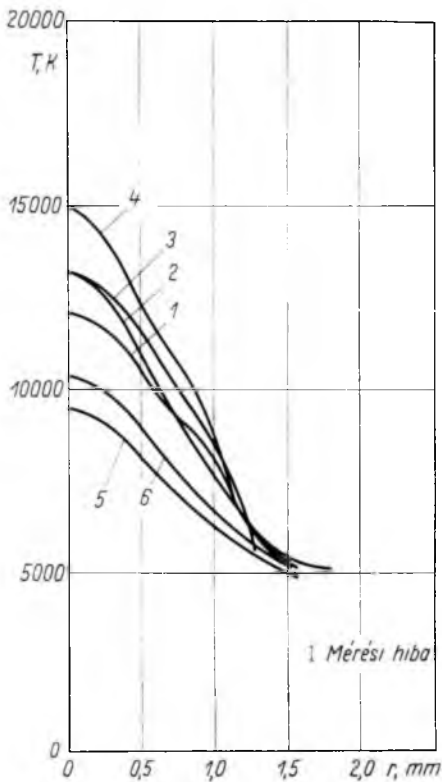
Mágneses fókuszálás eredményei

	Radiális eloszlás						Hosszirányú eloszlás	
	$r = 0$ mm		$r = 1$ mm		$r = 2$ mm		$d, \text{mm}$	$\times$
	MN	M	MN	M	MN	M		
$I_e, A$	$2,8 \times 10^{-4}$	$2,3 \times 10^{-4}$	$6,7 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-6}$	$8,5 \times 10^{-7}$	4	$1,24 \pm 0,04$
$n_e, 1/\text{cm}^3$	$2,4 \times 10^{12}$	$2,7 \times 10^{12}$	$7,3 \times 10^{11}$	$7,3 \times 10^{10}$	$4,9 \times 10^{10}$	$3,6 \times 10^{10}$	8	$1,71 \pm 0,04$
$*T_e, K$	9890	9890	5982	7698	5676	6960	12	$1 \pm 0,04$
$**n_e T_e$	$2,4 \times 10^{16}$	$2,7 \times 10^{16}$	$4,4 \times 10^{15}$	$5,6 \times 10^{15}$	$2,8 \times 10^{14}$	$2,5 \times 10^{14}$		
$\times$	$1,14 \pm 0,04$		$1 \pm 0,04$		$0,73 \pm 0,04$			
	távolság a fúvókától $d = 5$ mm						$r = 0$ mm	

MN mágnes nélkül,  
 M mágneses térben,  
 \* tájékoztató jellegű értékek,  
 \*\* az energiasűrűsége jellemző tájékoztató jellegű értékek.

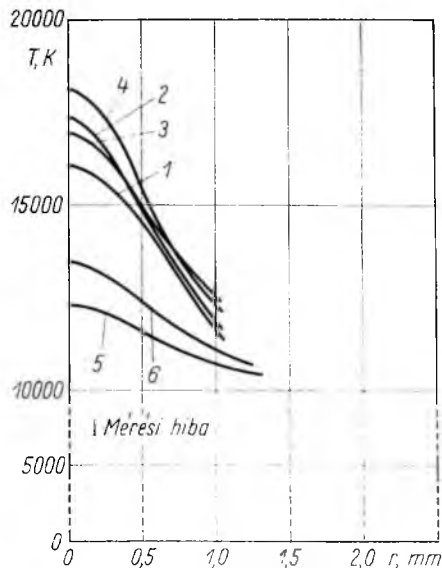


29-8. ábra. Mágneses fókuszálás kiértékelésének eredményei



29-9. ábra. Hőmérsékletmérés eredménye nitroégn plazmában

A mérést a plazmasugár tengelyétől mért különböző  $r$  távolságokban, valamint a fúvóka torkolatától mért különböző  $d$  távolságokban végeztük el. A beáramló argon gáz nyomása  $p_1 = 40$  torr, a kilépő nyomás  $p_2 = 6$  torr. A mérés közben a kisülési cső által felvett villamos teljesítmény állandó volt, azaz a plazma ionizációs fokát állandó értéken tartottuk. A radiális eloszlás mérésekor a mágneses fókuszálóúrrú távolsága  $l = 10$  mm, a gerjesztőáram 5 A volt. Ezzel egy „vulkáni kráterhez” hasonló eloszlású mágneses teret kaptunk, amelynek maximuma kb. 0,7 T volt. A longitudinális eloszlás mérésekor  $l = 15$  mm, a gerjesztőáram változatlan volt. Ezzel egy „lapos” téreloszlást kaptunk, kb. 0,5 T maximummal. A mérési eredményeket a 29-2. táblázat és a 29-8. ábra foglalja össze. Sajnos a berendezés termikus terhelhetősége kicsi, ezért nem tudtuk elvégezni a nyomás függvényében történő extrapolációt (ugyanis a nyomás növelésekor a változatlan ionizációs fok eléréséhez növelni kell a betáplált villamos teljesítményt is).



A grafikonból látható, hogy a mágneses térnek kétségteljesen van fókuszáló hatása. Nem biztosít sikerrel azonban az a tény, hogy a fókuszáló tér középpontja után 5 mm-rel a fókuszálás hatása legalábbis a sugár tengelyében nem mutatkozott, bár ez még nem zárja ki, hogy a magasabb hőmérsékletű mag beszűkül. A kísérletek még nem befejezettek, így az eredmények nem tekinthetők véglegesnek.

#### 4. Méréstechnikai problémák

A méréstechnikai feladatok megoldását a plazmaparaméterek jó ellenőrizhetősége teszi szükségessé. E feladatok közül a feszültség és az áramerősség mérést a szokásos módon oldottuk meg. A plazmaképző gáz paraméterei közül a gáznyomást manométerrel

29-10. ábra. Hőmérsékletmérés eredménye argon plazmában

tudjuk mérni. Nagyobb problémát jelentett az átáramló gáz mennyiségének mérése. Ugyanis az e célra szolgáló rotamétereket a gyártó cégek csak 760 Hgmm nyomásra hitelesítik. A nagyobb nyomásokra való hitelesítést a BME Áramlástan Tanszékén végeztettük el. Ezzel a bemenő gáz paramétereit és a villamos paramétereiket ellenőrizni tudjuk. Külön problémát jelent azonban a kiáramló plazma paramétereinek mérése.

A plazma fizikai paramétereinek mérését (hőmérséklet, a részecskék és az ionizációs fok eloszlása) a MŰFI segítségével végeztük el [9]. E munka során kidolgoztak számunkra egy mérési módszert, amelynek segítségével spektroszkópiai úton tudjuk

### 29-3. táblázat

#### Hőmérsékletmérés folyamán beállított üzemi adatok

A görbe sorszáma	Argon				Nitrogén			
	$d$ , mm	$V$ , m <sup>3</sup> /h	$P$ , kW	$l$ , mm	$d$ , mm	$V$ , m <sup>3</sup> /h	$P$ , kW	$l$ , mm
1	6	4	4,1	1	6	5,25	13,6	1
2	6	5	8,3	1	6	5,25	17,7	1
3	5	4	6,3	1	5	5,25	13,6	1
4	5	5	8,3	1	5	5,25	17,9	1
5	5	4	6,7	6	5	5,25	12,8	6
6	5	5	9,7	6	5	5,25	18,5	6

$d$  a fűvóka belső átmérője,

$V$  az átömlő gázmennyiség,

$P$  a teljesítmény,

$l$  a fűvóka torkolatától való távolság,

mérni a plazma hőmérsékleteloszlását. A módszert egyelőre csak belső íves plazmapisztolyra dolgozták ki. A részecskeeloszlásokra ez az eljárás jelenlegi formájában nem alkalmas, ill. csak becsléseket tesz lehetővé. A hőmérsékleteloszlást úgy határozhatjuk meg, hogy mérjük a világító plazma egyes színképvonalainak intenzitását és ebből számítjuk a hőmérsékleteloszlást. Az intenzitásokat egy Zeiss gyártmányú síkrácsos spektrográffal fotolemezen detektáltuk. A fotolemez feketedését mérve, bonyolult számítási és hitelesítési eljárással megkaphatjuk a színképvonalak intenzitásának hányadosát a hely függvényében. Ebből (különböző, a vizsgált anyagra jellemző atomi állandók ismeretében) a hőmérsékleteloszlás megkapható. Az így adódó eredmények, ill. egy részük, láthatók a 29-9. és 29-10. ábrán, amelyekhez a magyarázatot a 29-3. táblázat adja.

A mérési módszert kiterjesztjük külső íves plazmapisztolyon is elvégezhető vizsgálatokra. A mérési eredmények ismeretében ki fogunk dolgozni egy sokkal egyszerűbb (bár pontatlanabb) elektronikus hőmérsékletmérő berendezést, amellyel üzemi körülmények között is megoldható lesz a plazma fizikai paramétereinek beállítása.

## Irodalom

- [1] *Thompson, W.*: Bevezetés a plazmafizikába. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970.
- [2] *Simonyi K.*: Elméleti Villamosságtan Tankönyvkiadó, Budapest, 1958.
- [3] *Chapman—Cowling*: The Mathematical Theory of Non-Uniform Gases. Cambridge University Press, 1952.
- [4] *Lewandowski, B.*: Plazmotrony indukcyjne. Przegląd Elektrotechniczny, 1970.
- [5] *Tanenbaum, B. S.*: Plasma Physics. McGraw-Hill, 1967.
- [6] *Bolla I.—Antal K.*: Alacsonynyomású áramló plazmаныaláb és a mágneses tér kölcsönhatásának vizsgálata. Szakértői jelentés. 1972.
- [7] *Langmuir—Mott—Smith*: General Electric Review 27 (1924).
- [8] *Bitó J.*: A plazmadiagnosztika alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.
- [9] *Úrhegyi K.-né.*: Technikai plazmák vizsgálata spektroszkópiai módszerrel. Beszámoló jelentés. 1973. MTA MÜFI Optikai Laboratórium.



## Nagy zárlati szilárdságú szakaszoló érintkezőrendszerének kidolgozása

*GYÖRY TIBOR*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A villamosenergia-rendszerek teljesítményének növekedésével a villamos hálózatok zárlati teljesítménye is növekszik. A nagy zárlati teljesítmény a mechanikus érintkezőjú készülékekre nagy mechanikai és hőigénybevételt jelent, ezért a nagy zárlati szilárdságra méretezett készülékeket új konstrukciós elvek szerint kell kialakítani.

A cikk röviden ismerteti a szakaszoló zárlati igénybevételekor bekövetkező jelenségeket, majd a Villamosipari Kutató Intézetben kidolgozott új középfeszültségű szakaszoló érintkezőrendszerét és a készüléken végzett típusvizsgálatok eredményeit.

A cikk megismerteti egy, a villamos készülékek hőeloszlásának meghatározására alkalmas számítási eljárással is, amelynek alapján a készülékek az eddigieknél nagyobb pontossággal méretezhetők melegeedésre.

### РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТАКТОВ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ С ВЫСОКОЙ ПРОЧНОСТЬЮ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

*Т. Двери*

#### Резюме

Увеличением мощности электроэнергетических систем увеличивается и мощность замыкания электрических сетей. Высокая мощность замыкания сильно нагружает механически и термически устройства, в которых имеются механические контакты, поэтому устройства, рассчитанные на высокую прочность замыкания, должны быть выполнены с учетом новых принципов конструирования.

В статье кратко рассматриваются явления, возникающие при замыкающей нагрузке разъединителей, затем описывается разработанная в Научно-Исследовательском Институте Электрической Промышленности новая система контактов разъединителей среднего напряжения, а также излагаются результаты типовых испытаний, проведенных на этой системе.

Также излагается методика расчета, пригодная для определения распределения температуры в электрических устройствах, с помощью которой может быть проведен расчет устройства на нагрев с более высокой точностью по сравнению с ранними методами.

### ENTWICKLUNG EINES TRENNSCHALTER-KONTAKTSYSTEMS MIT GROSSER KURZSCHLUSSFESTIGKEIT

*T. Györy*

#### Zusammenfassung

Mit der Leistungserhöhung der Elektroenergiesysteme erhöht sich auch die Kurzschlussleistung der elektrischen Netze. Die hohe Kurzschlussleistung bedeutet für die mit mechanischen Kontakten gebauten Geräte eine grosse mechanische und Wärmebeanspruchung, darum soll man die Geräte für hohe Kurzschlussfestigkeit nach neuen Konstruktionsprinzipien ausgestalten.

Es werden die Erscheinungen bei der Kurzschlussbeanspruchung der Trennschalter, sowie das im Forschungsinstitut der Elektroindustrie entwickelte neue Trennschalter-Kontaktsystem für Mittelspannung beschrieben und die Ergebnisse der Typenprüfungen bekanntgegeben.

Im weiteren wird ein Rechenverfahren für die Bestimmung der Wärmeverteilung in elektrischen Geräten bekanntgemacht, mit dem die Berechnung des Gerätes für die Wärmebeanspruchung exakter als bisher durchgeführt werden kann.

## DEVELOPMENT OF AN ISOLATOR CONTACT SYSTEM OF HIGH SHORT-CIRCUIT STRENGTH

By T. Györy

### Summary

With steadily growing capacity of electric power systems the short-circuit level of electric networks is also increasing. The high short-circuit levels impose increased electro-mechanical and thermal stresses on the apparatus incorporating mechanical contacts, hence new constructional principles have to be adopted in the design of apparatus dimensioned to withstand high short-circuit stresses.

The paper describes briefly the phenomena taking place under the effect of short-circuit currents in isolators, followed by a discussion of a new isolator contact system developed for high-voltage distribution networks. The results of type tests performed with the device are also given.

Further, a computation method suitable for the determination of heat distribution in electric apparatus is dealt with, by means of which the proper dimensioning (making allowance for warming-up) can be performed with a higher accuracy than before.

### 1. Bevezetés

A szakaszolók a különböző feszültségű villamos hálózatok fontos elemei. Feladatuk kikapcsolt állapotban a hálózat feszültségmentes részeinek elszigetelése a feszültség alatt álló szakaszoktól, bekapcsolt állapotban pedig az átfolyó áram vezetése. A szakaszolókra ható igénybevételek közül a legerőteljesebb igénybevétel bekapcsolt állapotban érheti a szakaszolót, mégpedig a hálózatokban bekövetkező zárlatok alkalmával.

A villamosenergia-termelés növekedésével a villamos hálózatokban fellépő zárlati teljesítmények is növekednek. Ez különösen a középfeszültségű hálózatokon jelent problémát, mert a kialakuló zárlati áramok nagysága a készülékek névleges áramának a 40. . . 50-szeresét is elérheti, ugyanakkor a szelektív kikapcsolás érdekében kialakított védelmi lépcsők viszonylag hosszú kikapcsolási időket tesznek lehetővé. A középfeszültségű hálózatokban alkalmazott új berendezéseknek, figyelembe véve az energia-termelő rendszer növekedését is, 750. . . 1000 MVA zárlati teljesítmény elviselésére kell alkalmasnak lenniök. A jelenleg gyártott középfeszültségű szakaszolók nem alkalmasak ilyen igénybevételek elviselésére, ezért a VBKM Transzvill Gyára megbízta a 41. Villamos Készülék Osztályt egy 750 MVA zárlati szilárdságú szakaszolószorozat kialakításával.

### 2. Zárlati igénybevételkor bekövetkező jelenségek

A középfeszültségű váltakozóáramú hálózatokban fellépő zárlatok alkalmával a zárlati áramok dinamikus erőhatása és hőhatása jelenti a legnagyobb igénybevételt a szakaszolók számára.

## *Dinamikus erőhatások*

A szakaszolókésekre és -érintkezőkre a zárlat fajtájától függően (FN, 2F, 3F) más-más nagyságú és jellegű igénybevétel hat. Középfeszültségen az FN zárlat dinamikus erőhatás szempontjából elhanyagolható. 2F zárlat esetén a dinamikus erőhatás a legnagyobb, mivel a két zárlatos fázisban egyenlő nagyságú, de ellenkező irányú áram folyik. 3F zárlat esetén az áramok pillanatértékének nagysága és iránya az egyes fázisokban más és más, mert a fázisokban folyó áramok fázishelyzete  $2\pi/3$  szöggel eltér egymástól. A késekben folyó áramok dinamikus erőhatására a kések rezgésbe jönnek. A rezgés lefolyása bonyolult, mert figyelembe kell venni az egyes fázisokban folyó „saját” áramok erőhatásán túlmenően a szomszédos fázisokban folyó áramok erőhatását is. A zárlati áramok tranziens szakaszában még bonyolultabb a helyzet, mert a zárlati áramok egyenáramú összetevője lényegesen megváltoztatja az erők nagyságát és időbeli lefolyását.

### *A zárlati áramok hőhatása*

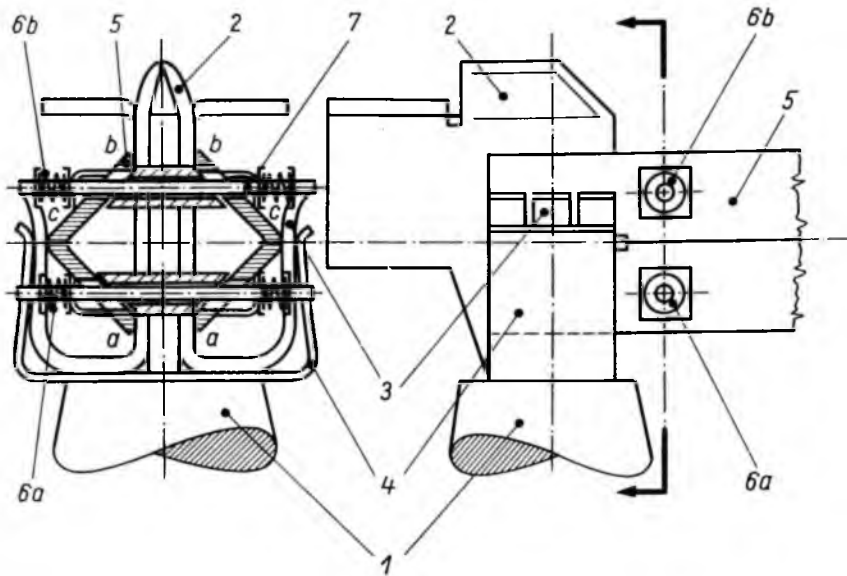
A szakaszoló áramvezető alkatrészeiben az átfolyó áram négyzetével és az adott szakasz ellenállásával arányos Joule-hő keletkezik. A szabványok előírásai szerint a zárlati áram fennállása alatt az áramvezető sínek hőmérséklete nem lépheti túl a  $300\text{ °C}$ -t és az érintkezők érintési felülete nem érheti el az érintkezők olvadáspontját. Az áramvezető kések zárlati áramok hatására bekövetkező melegedése kielégítő pontossággal számítható a szakirodalomban található összefüggések alapján [1], [2].

Nagyobb problémát jelent az érintkezők érintési helyein keletkező melegedések számítása. A nehézséget az okozza, hogy az érintkezők érintkezési helyeinek átmeneti ellenállása az érintkezőket összeszorító erőtől függ. A zárlat lefolyása alatt a kések a dinamikus hatások következtében rezgésben vannak. A rezgés hatására a kések feltámaszkodó érintési felületein az érintkezőnyomások megváltoznak, így az érintkezők átmeneti ellenállása az idő függvényében változik. Ezt a változást számítással nagyon nehéz követni. Mivel a fentiekben ismertetett számítástechnikai nehézségek megoldása hosszabb időt vett volna igénybe, a munkát a jelenlegi szakaszolókonstrukciók hibáinak elemzésével és magával az új konstrukció kialakításával kezdtük el.

## **3. Az új szakaszoló érintkezőrendszere**

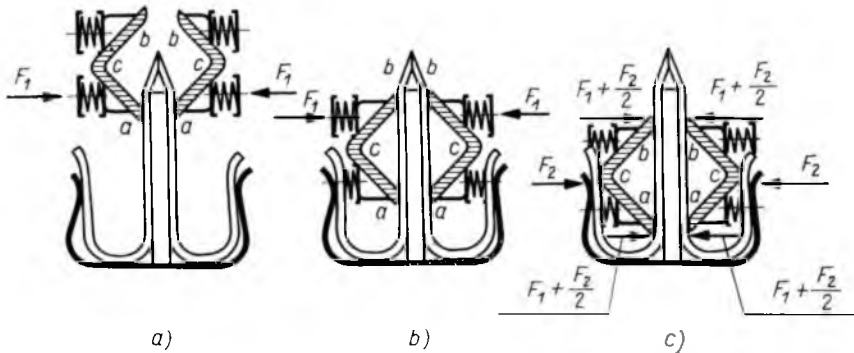
A jelenleg használatos közép- és kiefeszültségű szakaszolók zárlati szilárdságát rendszerint az érintkezőnyomások növelésével vagy a párhuzamosan kapcsolódó érintkezési helyek számának gyarapításával érik el. Az érintkezőnyomások növelése egy adott határ fölött már nem célszerű, mert a bekapcsoláshoz szükséges hajtóerő annyira megnövekszik, hogy a kézi hajtás gyakorlatilag lehetetlenné válik, motoros, vagy súrtított levegős hajtás esetén pedig szükségessé válhat a két oldali hajtás (a tengely mindkét végére hajtóberendezést szerelnek a tengelytorzió csökkentésére).

A jelenlegi szakaszolók érintkezőrendszerében az érintkezési helyek számát úgy növelik, hogy több párhuzamos kést helyeznek egymás mellé, vagy egymás fölé, mert késenként egy oldalon csak egy érintkezési hely kialakítására van lehetőség. Ez szintén nem gazdaságos, mert indokolatlanul nagy rézmennyiség beépítését teszi szükségessé. Ugyanakkor a szakaszoló geometriai méretei is növekednek, sőt, ha egyidőben ütköztetik fel a párhuzamos késeket, a bekapcsolási erőszükséglet is növekszik. Az előzők alapján a hagyományos érintkezőrendszerekkel már nem lehet a zárlati szilárdságot gazdaságosan megnövelni.



30-1. ábra. Az új érintkezőrendszer

1 támszigetelő; 2 állóérintkező; 3 tulipánérintkező; 4 lemezzugó; 5 kés; 6a, 6b spirálrugók; 7 rugótengely



30-2. ábra. A bekapcsolás folyamata

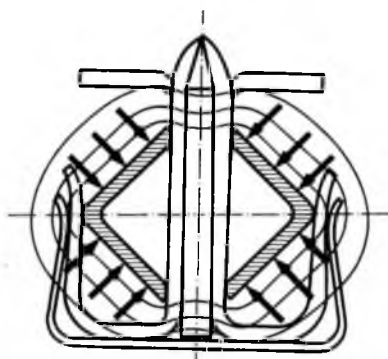
Célunk az volt, hogy a párhuzamosan kapcsolt érintési helyek számát lehetőleg egy szakaszolókében belül úgy növeljük, hogy bekapcsoláskor az erők ne növekedjenek meg túlságosan. Ugyanakkor a zárlati erők hatására bekövetkező késrengések káros hatását is csökkentésük az érintési helyek, részben az érintési helyek célszerű elrendezése, részben a kések keresztmetszeti tényezőjének növelése által. Az új érintkezőrendszer a 30-1. ábrán látható. Lényege, hogy egyetlen kétszárú profilidomból készült szakaszolókében három vonalérintkezési felület van, amelyek közül kettő (*a* és *b*) a profilidomb két szárán helyezkedik el és az állóérintkező felületével alkot fémes érintkezést, a harmadik érintkezőfelület (*c*) a profilidomb külső palástján helyezkedik el és az állóérintkező tulipánjával alkot fémes érintkezést. A késeket spirálrugók, a tulipánérintkezőket lemezzugók szorítják össze. A bekapcsolás folyamatát a 30-2. ábrán mutatjuk be.

A 30-2a ábrán az  $a$  érintési vonalak veszik fel az érintkezést. Ekkor a bekapcsolással szemben dolgozó súrlódóerőt az  $F_1$  érintkező-alapnyomás hozza létre. A 30-2b ábra a  $b$  érintési vonalaknak az állóérintkezőre való felcsúszását mutatja. Ekkor a  $c$  érintési vonalak még nem vették fel az érintkezést. A 30-2c ábra a teljesen bekapcsolt helyzetet mutatja. A  $c$  érintési vonalak a tulipánérintkezők közé hatoltak és a tulipánt összeszorító lemezugró  $F_2$  érintkezőnyomást létesít a  $c$  érintési vonalon. Ugyanakkor az  $F_2$  reakcióerő az  $a$  és  $b$  érintési vonalak érintkezőnyomását egyenként  $F_2/2$  értékkel növeli.

Az  $a$  és  $b$  érintési vonalak érintkezőnyomását tehát két lépésben állítjuk elő: először  $F_1$  nagyságú alapnyomást létesítünk, majd a  $c$  érintési vonalon létrehozott  $F_2$  nyomásból származó „járulékos” nyomással megnöveljük  $F_1$  értékét. Ez ad lehetőséget a bekapcsolási erőszükséglet csökkentésére.

Az új érintkezőrendszer *előnyei*: A leírt szerkezeti kialakítással késenként három vonalérintkezési hely alakul ki, ezáltal zárlatkor az egy érintési vonalra jutó hőteljesítmény az egy érintkezési helyen létrejövő értékkel szemben kilenced részre csökken, feltételezve, hogy a három érintési vonal átmeneti ellenállása egyenlő és a zárlat alatt nem változik meg. Ez ad lehetőséget a zárlati igénybevétel növelésére.

További előny származik abból, hogy a két szembefordított L idom egy „csőszerű” vezető hoz létre, így a körülötte kialakuló mágneses tér közel koncentrikus gyűrű alakban veszi körül a késeket. A mágneses tér által létrehozott erők a 30-3. ábrán látható módon a vezető minden pontján a mágneses erővonalak irányára merőlegesen hatnak, így olyan erőkomponens is létesül, amely a kés két szárát egymáshoz közelíteni igyekszik. Ezen erőhatás következtében létrejött deformáció az  $a$  és  $b$  érintési vonalak érintkezőnyomását növeli. Az érintési helyeken kialakuló áramszűkületek dinamikus taszítóhatása a  $c$  helyen szembe mutat az  $a$  és  $b$  helyen létrejövő dinamikus taszítóerővel, tehát az érintési helyek taszítóhatása részben kompenzálódik. A zárlatkor fellépő rezgés következtében az érintési helyek átmeneti ellenállásváltozása kevésbé veszélyezteti az érintkezők épségét, mert a három vonal közül egy mindig jó érintkezést ad, ezáltal söntöli a másik két érintkezési helyet, így nem jöhet létre ívképződés, ill. hegedés.



30-3. ábra. A kések körüli mágneses tér és az erőhatások

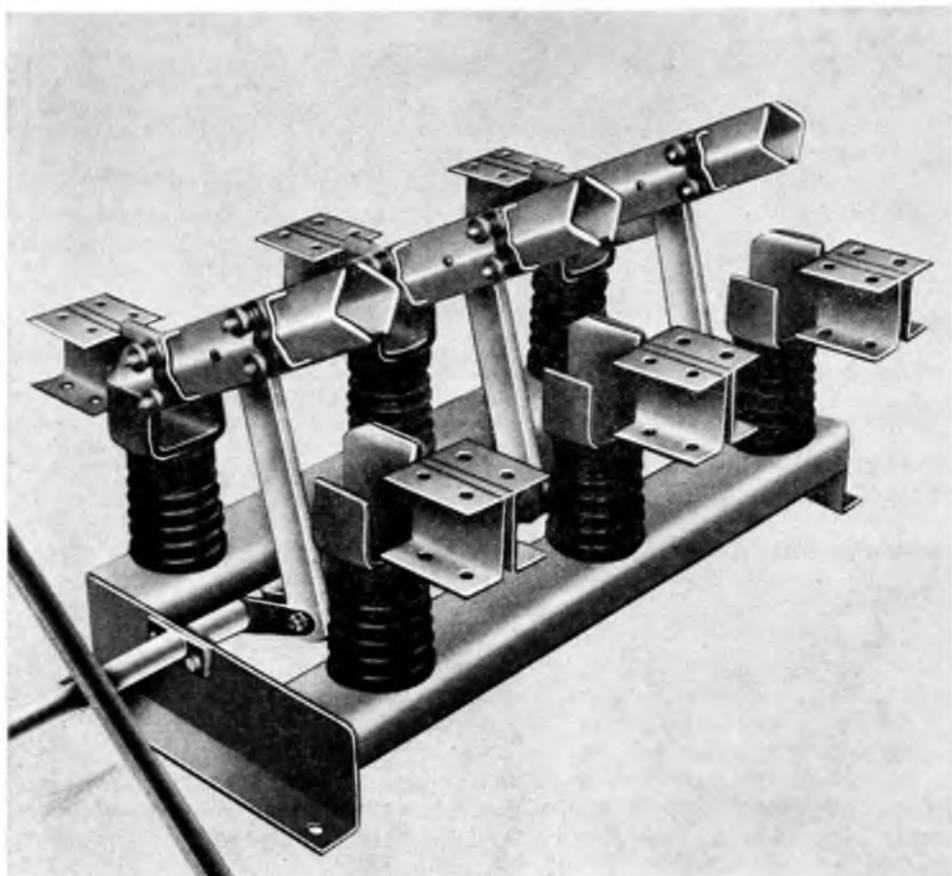
#### 4. A szakaszolón végzett vizsgálatok

Az új érintkezőrendszerrel készült szakaszoló 10 kV-os, 1500 A-es kísérleti példányát 2F zárlati vizsgálatnak vetettük alá. Az érintkezőrendszer sikeresen kiállott  $70,5 \text{ kA}_{\text{eff}}$  termikus áramot (1 s-ig) és  $143 \text{ kA}_{\text{cs}}$  dinamikus igénybevételt.

A Transzvíll Gyár az általunk készített kiviteli tervek alapján elkészített 3 db 10 kV-os 2000 A-es mintapéldányt típusvizsgálatok céljára, amely SMZ 1—III. s. 10/2000 TMC típusjelzést kaptak. A szakaszolókat típusvizsgálatnak vetettük alá, a VDE 0670 Teil 2/2.65, az IEC Publ. 129—61 és az MSZ 1580—70 előírásai alapján. A szakaszoló a típusvizsgálatok követelményeinek megfelelt.

A zárlati vizsgálatok során a szakaszolót 30, 45, 50, 55, 60, 80  $\text{kA}_{\text{eff}}$  (1 s) termi-

kus, valamint 75, 100, 110, 150, 160  $kA_{cs}$  dinamikus igénybevételnek vetettük alá. A szakaszoló a 60  $kA_{eff}$  termikus igénybevételt és a 160  $kA_{cs}$  dinamikus igénybevételt sikeresen kiállta. A 80  $kA_{eff}$  termikus vizsgálat során a szakaszoló C fázisának forgás ponti támszigetelője megrepedt. Ennek ellenére az érintkezőrendszeren ívképződést nem tapasztaltunk, az érintkezők nem hegedtek össze, a szakaszoló nyitható volt.



30-4. ábra. Az új SMZ 1—III. s. 10/2000 TMC szakaszoló

A sikeres 60  $kA_{eff}$  termikus és 160  $kA_{cs}$  dinamikus igénybevétel alapján, 10 kV-os feszültségű 1000 MVA zárlati teljesítményű hálózatokon is alkalmazható az új szakaszoló-érintkezőrendszer. A zárlatbiztonsági vizsgálatok eredményéből arra következtetünk, hogy a szakaszoló érintkezőrendszere nagyobb zárlati teljesítmények elviselésére is alkalmas, csupán a támszigetelőt kell egy nagyobb törőszilárdságú típussal felváltani. Az áramutak a zárlati áram hőigénybevétele szempontjából kb. 100  $kA_{eff}$  termikus igénybevétel esetén érik el a vörösrézre engedélyezett 300 °C határértéket.

Az Országos Találmányi Hivatal a szakaszoló-érintkezőrendszerre a szabadalmi oltalmat megadta [5]. A szakaszoló fényképe a 30-4. ábrán látható.

## 5. A szakaszoló hőeloszlásának számítása állandósult üzemben, névleges terhelésen

A szakaszolókonstrukció kidolgozása során foglalkoztatott bennünket az állandósult melegedésre való méretezés, ugyanis a szakirodalomban [1] ismert számítási eljárással számított melegedések és a mérési eredményeink között a megengedettnél nagyobb eltérést tapasztaltunk. Az eltérést az okozta, hogy a számítások nem vették figyelembe az érintkezőktől, mint „koncentrált” hőtermelő helyektől, a kések felé történő hőáramlási törvényszerűségeket.

Az új számítási eljárás a Fourier-féle hővezetési differenciálegyenlet megoldásán alapszik. A hővezetési törvény felhasználásával kiszámítjuk, hogy az érintkezők és a kés közötti hőmérsékletkülönbség hatására mennyi hő áramlik a késekbe, továbbá a hőáramlás milyen hőmérsékleteloszlást idéz elő. E hőeloszlás szuperponálódik a kés „független” vagy „saját” melegedésére, amelyet a késekben folyó áram Joule-hatása hoz létre. A kések hossza:  $l \gg 10v$  (ahol  $v$  a kés szélessége), így a hőterjedés egydinemziós feladatként számítható. Mivel a hőterjedési törvényszerűségeket leíró differenciálegyenlet lineáris, a szuperpozíció alkalmazása megengedhető. A számítás első lépéseként becsléssel meghatározzuk az áramvezető kések  $\vartheta_{fk}$  „független” melegedését, mivel ennek nagyságától is függ az érintkezők átmeneti ellenállásain megengedhető hőteljesítmény.  $\vartheta_{fk}$  értékét célszerű  $10 \dots 15^\circ\text{C}$ -kal az érintkezőkre megengedett legnagyobb melegedés alatt megválasztani. A késre választott  $\vartheta_{fk}$  melegedéshez tartozó  $q_k$  késkeresztmetszet:

$$q_k = \frac{I^2 \rho}{\alpha_k K \vartheta_{fk}} \quad (1)$$

$$\rho = \rho_{20} [1 + \alpha(\vartheta_{fk} + 15)],$$

ahol

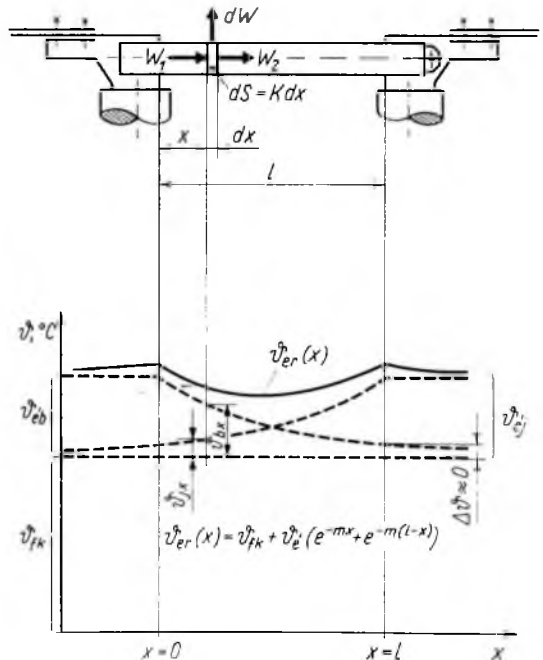
$\rho_{20}$  a kés rezisztivitása  $20^\circ\text{C}$ -on;

$\alpha$  a rezisztencia hőmérsékleti tényezője;

$\alpha_k$  a kés hőleadási tényezője (sugárzás + konvekció);

$K$  a kés kerülete.

(A számításban  $\alpha_k$  hőmérsékletfüggését elhanyagoltuk.) Az érintkezőkre szintén megválasztjuk az általunk célszerűnek tartott melegedésértéket. Ezt célszerű a biztonság érdekében  $5 \dots 8^\circ\text{C}$ -kal az érintkezőre megengedett melegedés alatt megválasztani. A hőáramlások számításának megkönnyítésére a koordináta-rendszer abszcisszáját  $\vartheta_{fk}$  ér-



30-5. ábra. Melegedéseloszlás a kések hossza mentén  $x |_{0 \rightarrow \infty}$  feltételezés esetén

téssel pozitív irányban eltoljuk, tehát a továbbiakban  $\vartheta_\epsilon$  melegedések a  $\vartheta_{\epsilon k}$  fölötti melegedéseket jelentik.

A hőáramlásokat a 30-5. ábrán látható jelölésekkel írtuk fel. Állandósult állapotban a kés egy adott  $x$  helyén a  $q$  keresztmetszetbe befolyó hőmennyiség  $W_1$ , míg  $dx$  elemi távolsággal távolabb az elfolyó hőmennyiség  $W_2$  nagyságú. A kettő különbsége  $dW$ , a  $dS = K dx$  elemi felületen leadott hőmennyiséggel egyenlő. A fentieket a bal oldali érintkezőtől kiinduló hőáramlásra felírva:

$$W_1 - W_2 = dW = \alpha_k K dx \vartheta_{\epsilon z}, \quad (2)$$

ahol

$\vartheta_{\epsilon z}$  a  $\sin x$  helyén a bal oldali érintkezőtől kiinduló hőáramlás okozta melegedés.

A Fourier-féle hővezetési törvényt felírva:

$$W_1 = -\lambda q \frac{d\vartheta_\epsilon(x)}{dx} \quad (3)$$

$$W_2 = -\lambda q \frac{d}{dx} \left[ \vartheta_{\epsilon z} + \frac{d\vartheta_\epsilon(x)}{dx} dx \right], \quad (4)$$

ahol  $\lambda$  hővezetési tényező.

(3) és (4) egyenletet a (2) egyenletbe behelyettesítve, másodrendű differenciálegyenlethez jutunk:

$$\frac{d^2 \vartheta_\epsilon(x)}{dx^2} = \frac{\alpha_k K}{\lambda q} \vartheta_\epsilon(x) = m^2 \vartheta_\epsilon(x), \quad (5)$$

ahol

$$m = \pm \sqrt{\frac{\alpha_k K}{\lambda q}}. \quad (6)$$

A differenciálegyenlet általános megoldása

$$\vartheta_\epsilon(x) = C_1 e^{mx} + C_2 e^{-mx}. \quad (7)$$

A határfeltételek megválasztásakor a következő kikötéseket kell tennünk: A szakaszolónak a hozzá kapcsolódó sínrendszer irányába hővezetéssel hőenergiát átadni vagy felvenni nem szabad. Ez annyit jelent, hogy az egyik oldali érintkezőtől kiinduló hőáramlás által vezetett hőenergia konvektív hőleadással átadódik a környezetnek, mielőtt elérné a kés másik oldalán levő érintkezési helyet. Továbbá feltételezzük, hogy az érintkezési helyek és a hozzájuk legközelebb elhelyezkedő csatlakozókapsok között hőáramlás nincs. Az első kikötés teljesül, ha a kés hossza  $l \rightarrow \infty$  közelítéssel élünk. Ekkor a határfeltételek:

$$\begin{aligned} x = 0 \text{ helyen} & \quad \vartheta_\epsilon(0) = \vartheta_{\epsilon b}; \\ x = \infty \text{ helyen} & \quad \vartheta_\epsilon(\infty) = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

A differenciálegyenlet partikuláris megoldása:

$$\vartheta_{\epsilon}(x) = \vartheta_{\epsilon b} e^{-mx}. \quad (9)$$

Hasonlóan a jobb oldali érintkezési helyre is felírva a hővezetési törvényszerűségeket:

$$\vartheta_\epsilon(x) = \vartheta_{\epsilon j} e^{-m(l-x)}. \quad (10)$$



Az eredő hőeloszlást a  $\vartheta_{rk}$  és a (9), (10) összefüggések összegezéséből kapjuk. Az érintkezési helyről a késekbe áramló hőmennyiségeket szintén a Fourier-törvény alapján számolhatjuk:

$$W_{\epsilon} = -\lambda q \left[ \frac{d\vartheta_{\epsilon}(x)}{dx} \right]_{x=0} \quad (11)$$

A differenciálást elvégezve és az  $x = 0$  értéket behelyettesítve:

$$W_{\epsilon} = \vartheta_{\epsilon} \sqrt{\alpha_k K \lambda q} \quad (12)$$

hőmennyiség áramlik az érintkezőkből a késekbe. Amennyiben az  $x = l$  helyen a (9) összefüggésből számítható  $\Delta\theta$  hőmérséklet-növekedés nagyobb  $1-2^{\circ}\text{C}$ -nál, az  $l \rightarrow \infty$  feltételezésünk helytelen volt, ugyanis a bal oldali érintkező megemeli a jobb oldali érintkező hőmérsékletét és fordítva. (Az egyik oldali érintkezőtől kiinduló hőáramlás a kés végén levő érintési helyek felületét csak nagy hőessel tud keresztüláramlani.) Ez esetben a valóságot jobban megközelítjük, ha  $x = l$  véges hosszúságú késre írjuk fel a határfeltételeket, mégpedig olyan kikötéssel, hogy a kés végén hőáramlás nincs:

$$\begin{aligned} x = 0 \text{ helyen} & \quad \vartheta_{\epsilon}(0) = \vartheta_{\epsilon b}^* ; \\ x = l \text{ helyen} & \quad \frac{d\vartheta_{\epsilon}^*(x)}{dx} = 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Az új határfeltételek szerint megoldva a (7) egyenletet, a bal oldali érintkezőtől kiinduló hőáramlás

$$\vartheta_{\epsilon}^*(x) = \vartheta_{\epsilon b}^* \frac{\text{ch } m(x-l)}{\text{ch } ml} \quad (14)$$

hőeloszlást hoz létre. Az eredő hőeloszlás a 30-6. ábrán látható. Az  $x = l$  helyen

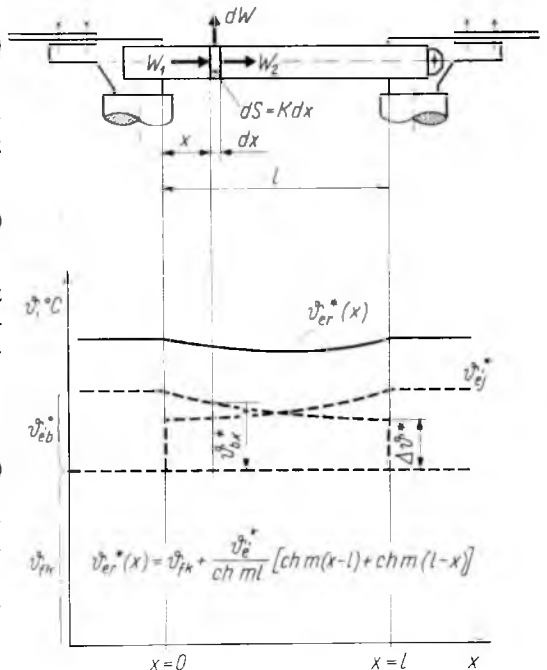
$$\Delta\theta^* = \frac{\vartheta_{\epsilon b}^*}{\text{ch } ml} \quad (15)$$

hőmérséklet-növekedés jön létre. Az időegység alatt a bal oldali érintkezési helytől a késbe áramló hőmennyiség:

$$W_{\epsilon}^* = \vartheta_{\epsilon b}^* \sqrt{\alpha_k K \lambda q} \text{th } ml. \quad (16)$$

A szakaszoló hőeloszlása a továbbiakban a már ismertett módszerrel számolható.

Az ismertett számítási módszerrel a 10 kV-os 2000 A-es szakaszolót állandósult melegedésre méreteztük. A kések melegedésére  $31,5^{\circ}\text{C}$ -ot számítottunk. A szakiro-



30-6. ábra. Melegedéseloszlás a kések hossza mentén  $x |_{0 \rightarrow l}$  feltételezés esetén

dalomban ismertetett számítási eljárással ugyanezen kiinduló adatokból  $27,8^{\circ}\text{C}$  számítható. A típusvizsgálatok során végzett méréseink szerint a kések állandósult melegedésére  $33^{\circ}\text{C}$ -t mértünk, tehát az új számítási eljárással a valóságoshoz közelebb álló melegedések számíthatók. Az ismertetett számítási eljárás nemcsak szakaszolókra alkalmazható, hanem felhasználható minden olyan területen, ahol több „koncentrált” hőtermelő hely eredő hőeloszlását kell meghatározni számítással. Az adott területeken természetesen ellenőrizni kell a határfeltételek egyezését.

## 6. Összefoglalás

A szakaszolók zárlati igénybevételre való méretezése még nem megoldott probléma. A zárlati áramok hatására bekövetkező dinamikus erőhatások rezgésbe hozzák a késeket és az érintkezőket, ennek következtében az érintkezők átmeneti ellenállása a zárlat alatt változik.

A VKI-ban kidolgozott szakaszolók új érintkezőrendszere a zárlati áramok dinamikus hatásával szemben kedvezőbb tulajdonságokat mutat, mint a hagyományos érintkezőelrendezések.

A szakaszolók hőeloszlásának meghatározására kidolgozott számítási eljárás az eddig ismert melegedésszámításoknál pontosabb eredményeket szolgáltat.

## Irodalom

- [1] *Dr. Eisler J.*: Villamos készülékek számítása és szerkesztése. Tankönyvkiadó, Budapest, 1957.
- [2] *Veres G.*: *Hővezetés*. Mérnök továbbképző Int. Jegyzet, 1968.
- [3] VKI Kutatási Beszámolók. 1969, 1971.
- [4] VKI Vizsgálati Jegyzőkönyv. SZ—7106/11 sz.
- [5] VI—696 alapszámú „Szakaszolóérintkező-rendszer” című találmányi leírás.

# 31.

## A rákapcsolási szög szerepe a háromfázisú villamos készülékek dinamikus igénybevételének kialakulásában

CSÁTHY KÁROLY—DR. SELMECZI VILMOS

### ÖSSZEFOGLALÁS

A zárlati áram dinamikus hatása következtében a háromfázisú villamos készülékekben olyan erők ébrednek, amelyek a szerkezeti elemekben jelentős mechanikai igénybevételt okoznak. Ha a háromfázisú áramkörben folyó áramok  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ , akkor egy háromfázisú készülékben ébredő erőhatást  $P = ki_1(i_2 + i_3)$  képlet alapján vesszük számításba. A  $k$  állandó tartalmazza mindazokat az általunk figyelembe nem vett körülményeket, amelyek az áramok értékén kívül még befolyásolják az erőhatást. Számítógép segítségével meghatároztuk különböző  $\cos \varphi$  és különböző  $\psi$  rákapcsolási szögek esetén a zárlati áramkörben keletkező áramcsúcsokat, valamint a hozzájuk tartozó erőhatásokat. Az így adódó számos adatból azt vizsgáltuk, hogy azonos értékű áramcsúcsokhoz milyen mechanikai erők tartoznak, a háromfázisú elrendezés figyelembevételével. Számszerű adatokat adunk arra vonatkozóan, hogy a különböző áramkörökben előállított áramcsúcsok hatására ébredő erőhatások mennyiben térnek el egymástól.

### РОЛЬ УГЛА ПОДКЛЮЧЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

К. Чати, Д-р В. Шелмеци

#### Резюме

В результате действия тока замыкания в трехфазных электрических устройствах возникают усилия, оказывающие значительную механическую нагрузку на их конструктивные элементы. Если токи текущие на трехфазной цепи обозначить через  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ , то усилие, возникающее в устройстве, рассчитывается по формуле  $P = K \cdot i_1(i_2 + i_3)$ . Постоянная  $K$  содержит все факторы, которые мы не принимаем во внимание, но кроме величины токов и они влияют на величину силы. С помощью вычислительной машины мы определили пиковые величины тока, возникающие при различных углах подключения в цепях с различными  $\cos \varphi$ , а также усилия, относящиеся к ним. На основании полученного таким образом множества данных мы изучали механические усилия, относящиеся к таким же токовым пикам с учетом трехфазной конструкции. Нами даны численные величины о том, насколько отличаются друг от друга усилия, возникающие в различных цепях под действием созданных пиков тока.

## WIRKUNG DES DRAUFSCHALTWINKELS AUF DEN VERLAUF DER DYNAMISCHEN BEANSPRUCHUNG VON ELEKTRISCHEN DREIPHASENGERÄTEN

*K. Csáthy—Dr. V. Selmeczi*

### Zusammenfassung

Infolge der Wirkung des Kurzschlussstroms werden Kräfte in den elektrischen Dreiphasengeräten erweckt, durch die seine Konstruktionselemente bedeutenden mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt werden. Werden die Ströme im Dreiphasenkreis mit  $i_1, i_2, i_3$  bezeichnet, so ist die im Gerät erweckte Kraftwirkung nach der Formel,  $P = K \cdot i_1(i_2 + i_3)$  zu berechnen. Mit der Konstante  $K$  werden alle Umstände erfasst, die ausser den Stromwerten noch die Kraftwirkung beeinflussen. Mit Hilfe von Rechenmaschinen wurden die Stromspitzen in den Stromkreisen von unterschiedlichen  $\cos \varphi$  Werten bei unterschiedlichen Draufschaftwinkeln bestimmt, sowie die zugehörigen Kraftwirkungen ermittelt. Aufgrund der gewonnenen zahlreichen Angaben wird untersucht, welche mechanische Kräfte unter Berücksichtigung der Dreiphasenanordnung zu einer und derselben Stromspitze gehören. Es werden Zahlenwerte dafür angegeben, inwiefern die Kraftwirkungen unter dem Einfluss der in den verschiedenen Kreisen erzeugten Stromspitzen voneinander abweichen.

## THE ROLE OF SWITCHING ANGLE IN THE DEVELOPMENT OF ELECTRO-MECHANICAL STRESSES IN THREE-PHASE ELECTRIC APPARATUS

*By K. Csáthy—dr. V. Selmeczi*

### Summary

Forces imposed by short-circuit currents on three-phase electric apparatus give rise to substantial mechanical stresses in their component parts. With currents  $i_1, i_2, i_3$  flowing in a three-phase circuit, the electro-mechanical forces arising in an apparatus are calculated from the formula  $P = K \cdot i_1 (i_2 + i_3)$ . Constant  $K$  includes all factors influencing the stresses apart from the magnitude of currents. By means of a computer the peak currents and forces imposed by them are determined for circuits having different power factors and for different switching angles of applied currents. From the great number of data thus obtained the electro-mechanical forces imposed by given peak currents are determined for the three-phase arrangement. Numerical results showing the deviations of forces imposed by current peaks produced in different circuits are given.

### 1. Bevezetés

A villamosenergia-hálózatok teljesítménye és ezzel együtt a hálózatokban esetenként fellépő zárlati teljesítmények világszerte állandóan nőnek. Így a háromfázisú áramkörben esetleges zárlatok következtében fellépő zárlati áramcsúcsok hatására az áramkör villamos készülékeiben ébredő különböző mechanikai erőhatások is egyre nagyobbak lesznek. Ennek következtében elsőrendű fontosságuk van azoknak a vizsgálatoknak, amelyek alapján megítélhető, hogy a hálózatba beépítésre kerülő villamos berendezési tárgyakkal az ott esetleg fellépő zárlati csúcsáramok dinamikus hatásával szemben megfelelő ellenállóképességük van-e. Ebben a tanulmányban a nagyfeszültségű háromfázisú váltakozóáramú villamos készülékek közül csupán a szakaszolókkal kívánunk foglalkozni.

## 2. Áramok és erők közötti összefüggések

Összefüggéseket keresünk a szakaszoló három vezetőjében fellépő  $i_1, i_2, i_3$  áram, vagyis a háromfázisú áramkör pillanatértékei és ezek hatására keletkező mechanikai erők között. (31-1. ábra.)

Két párhuzamos vezető között — mint ismeretes — ha azok hossza  $l$  és egymástól való távolságuk  $a$ , és bennük  $i_1$  és  $i_2$  áram folyik,  $P_1$  erő lép fel, amely — elég nagy hosszúság esetén — kifejezhető:

$$P_1 = k \frac{l}{a} i_1 i_2. \quad (1)$$

Ehhez a képlethez hasonlóan háromfázisú áramkörben — ahol  $i_1, i_2, i_3$  áramok folynak — is felírható az erőhatás.

A középső vezetőben síkbeli elrendezés esetén: ↓

$$P_3 = K i_2 (i_1 + i_3) = K (i_1 i_2 + i_2 i_3); \quad (2)$$

a szélső vezetőben:

$$P_2 = K i_1 \left( i_2 + \frac{i_3}{2} \right), \quad (3)$$

ahol

$K = K \frac{l}{a}$  arányossági tényező.

A (2) és (3) kifejezésből rögtön látszik, hogy  $P_3 > P_2$ , azaz a középső fázisban az erőhatás nagyobb, ezért a továbbiakban ennek kiszámításával foglalkozunk.

Ismeretes, hogy váltakozó áramú háromfázisú áramkörben a zárlati áramok időbeli lefolyása:

$$i_1 = I_0 \sin(\omega t + \psi - \varphi) - I_0 [\sin(\psi - \varphi)] e^{-\frac{t}{T}},$$

$$i_2 = I_0 \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi + \psi - \varphi\right) - I_0 \left[\sin\left(\psi - \frac{2}{3}\pi - \varphi\right)\right] e^{-\frac{t}{T}},$$

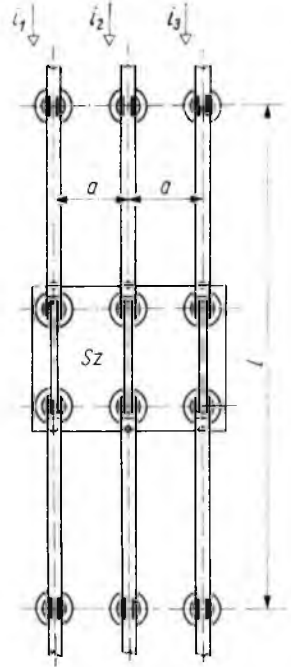
$$i_3 = I_0 \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi + \psi - \varphi\right) - I_0 \left[\sin\left(\psi - \frac{4}{3}\pi - \varphi\right)\right] e^{-\frac{t}{T}},$$

ahol

$\psi$  a rákapcsolási szög;

$\varphi$  az áram- és feszültségvektor által bezárt szög (tisztán induktív körben  $\varphi = \pi/2$ );

$$T = \frac{L}{R} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\omega}.$$



31-1. ábra. Háromfázisú szakaszoló vizsgálati áramkörének részlete az  $i_1, i_2, i_3$  fázisáramok okozta erőhatás számításához

$Sz$  szakaszoló;  $a$  fázistávolság;  
 $l$  a sinezés hossza

A számítás menete tehát az volt, hogy különféle  $\psi$ ,  $\varphi$  értékeknél meghatároztuk az  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$  áramok időfüggvényeit, majd (2) segítségével az erőhatás időfüggvényét.

A (2) képlet alkalmazásakor vigyázni kell arra, hogy az erőhatások irányát a valóságnak megfelelően kapjuk. Az erőhatások iránya ui. nemcsak az egyes áramok irányától függ, hanem a térbeli elrendezéstől is, és ez utóbbit a (2) nem veszi figyelembe. Ha gondolatban az  $i_3$  áram által átjárt vezetőt közvetlenül az  $i_1$  mellé helyezzük, a képlet szerkezete nem változik, mégis ez esetben az  $i_3$ -nak az  $i_2$ -vel való kölcsönhatása éppen ellenkező irányú erőhatást eredményez, mint az eredeti esetben. Cél-szerű ezért minden olyan szakaszban, ahol valamelyik áramnak előjelváltása van, az erőhatások előjelviszonyait gondosan megvizsgálni és az erőhatások időfüggvényét szakaszonként megállapítani.

### 3. A számítógép segítségével kapott eredmények

Ezen időt rabló számításokat az Intézet Hewlett—Packard-típusú számítógépe segítségével végeztük el. A gép a következő függvényeket rajzolta fel:

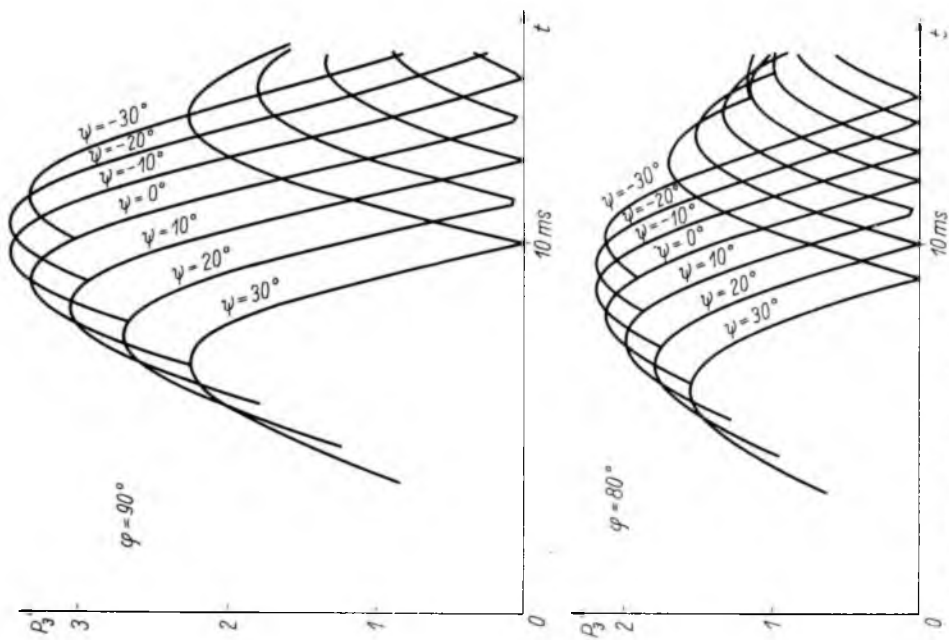
1.  $i_1$  időfüggvénye hétféle  $\varphi$  értéknél  $90^\circ \dots 60^\circ$  között és hétféle  $\psi$  értéknél  $+30^\circ \dots -30^\circ$  között (49 görbe);
2.  $i_2$  időfüggvénye hétféle  $\varphi$  értéknél  $90^\circ \dots 60^\circ$  között és hétféle  $\psi$  értéknél  $+30^\circ \dots -30^\circ$  között (49 görbe);
3.  $i_3$  időfüggvénye hétféle  $\varphi$  értéknél  $90^\circ \dots 60^\circ$  között és hétféle  $\psi$  értéknél  $+30^\circ \dots -30^\circ$  között (49 görbe)
4. középső fázisban ébredő erőhatás  $P_3$  időfüggvénye hétféle  $\varphi$  értéknél  $90^\circ \dots 60^\circ$  között és hétféle  $\psi$  értéknél  $30^\circ \dots -30^\circ$  között (49 görbe)
5.  $i_{1 \max}$  értékei a  $\psi$  rákapcsolási szög függvényében  $\psi = +30^\circ \dots -30^\circ$  tartományban, különféle  $\varphi$  értékeknél ( $\varphi = 90^\circ \dots 60^\circ$ )
6.  $P_{3 \max}$  értékei a  $\psi$  rákapcsolási szög függvényében  $\psi = +30^\circ \dots -30^\circ$  tartományban, különféle  $\varphi$  értékeknél ( $\varphi = 90^\circ \dots 60^\circ$ ).

A nagyszámú görbe közlésétől eltekintünk, csupán példaképpen közlünk néhányat (31-2, 31-3, 31-4. ábra).

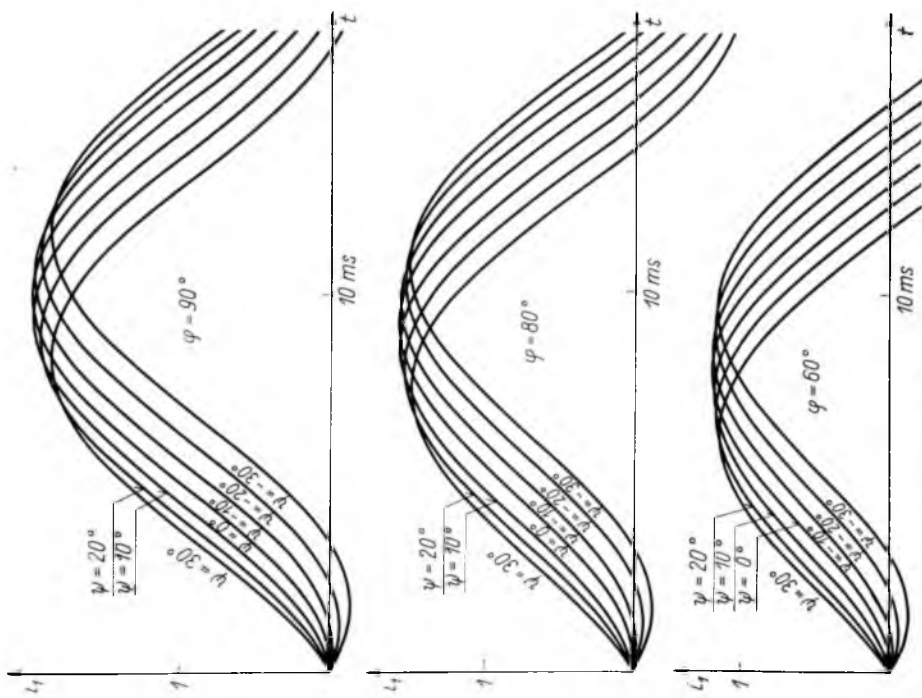
A számítási eredmények (31-4. ábra) azt mutatták, hogy az erőhatások maximuma háromfázisú áramkörben, a középső fázisban — egysíkú elrendezést feltételezve — nem akkor lép fel, ha a rákapcsolás a feszültség nullaátmenetben történik, hanem akkor, ha a szélső vezető fázisfeszültségének nullátmenete előtt  $15^\circ$ -kal ( $\psi = -15^\circ$ ) kapcsolnak rá. Ilyenkor a középső fázis feszültsége a nullátmenet után  $45^\circ$ -os helyzetben van. Ezt az eredményt a szakirodalom [2], [4] is közli, de ideális áramkörü viszonyokat feltételezve ( $\varphi = 90^\circ$ , csillapodás nincs). A valóságban soha sincsenek ideális áramkörök. E cikk egyik célja éppen az, hogy az ébredő erőhatásokat a gyakorlatban megvalósítható áramkörü paraméterek esetére is vizsgálja.

### 4. Legfontosabb következtetések

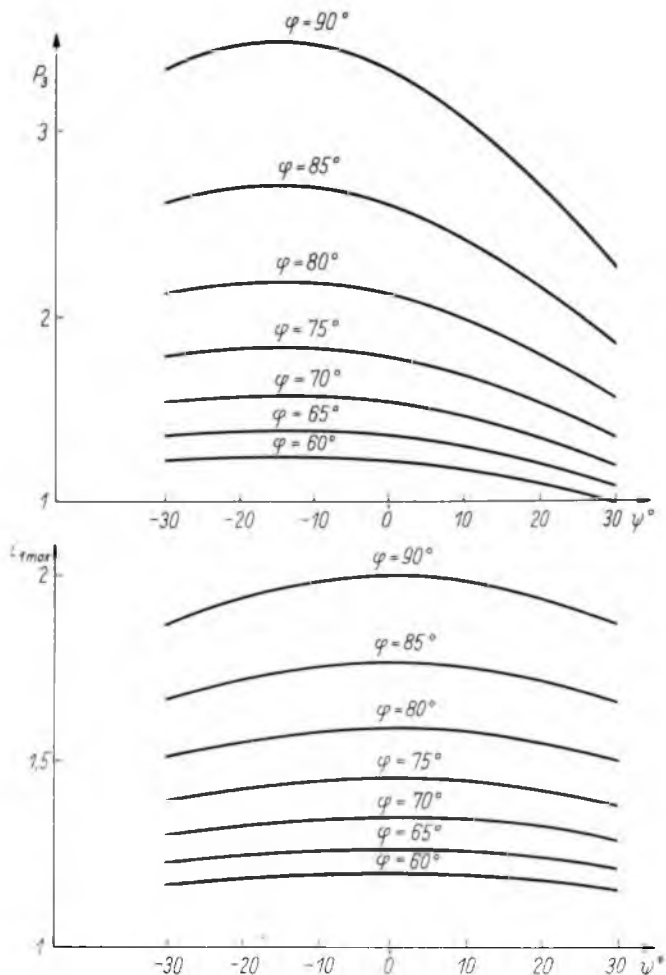
A számításokból, amelyeknek eredményeit a megadott görbék foglalják össze, a legfontosabb következtetés, amit közvetlenül is leolvashatunk, hogy adott áramkörben ugyanazon áramcsúcsértékhez kétféle erőhatás tartozik. Erre vonatkozóan a 31-1. táblázat ad áttekintést. Az is szembeötlő, hogy ugyanaz az áramcsúcs ugyanannál a rákapcsolási szögnél, de kevésbé induktív áramkörben más erőhatást hoz létre.



31-3. ábra. Háromfázisú szakaszoló középső vezetőjében ébredő  $P_3$  erőhatások különféle  $\psi$ ,  $\varphi$  értékek esetén



31-2. ábra. Háromfázisú áramkörben az  $I_1$  fázisáram lefolyása különféle  $\psi$ ,  $\varphi$  értékek esetén



31-4. ábra.  $P_3$  erőhatások és az  $i_1$  fázisáram-maximumok értékei a  $\psi$  rákapcsolási szög függvényében különféle  $\varphi$  értékek esetén

Pl.

$$\varphi = 90^\circ, \psi = -30^\circ, i_{1M1} = 1,76, P_3 = 3,32,$$

$$\varphi = 60^\circ, \psi = -30^\circ, i_{1M1} = 1,17, P_3 = 1,22.$$

Az összehasonlítás kedvéért állítsuk be a 2. sor áramát is 1,76-ra, a  $\varphi$  és  $\psi$  változtatása nélkül, akkor a helyes  $P_3$  érték a következő lesz:

$$\left(\frac{1,76}{1,17}\right)^2 \cdot 1,22 = (1,51)^2 \cdot 1,22 = 2,78.$$

Ugyanaz az áramcsúcs tehát ugyanazon rákapcsolási szög esetén, kevésbé induktív áramkörben kb. 20%-kal kisebb igénybevételt okoz  $\left(\frac{3,32}{2,78} \approx 1,2\right)$ .



Adott áramcsúcsshoz tartozó erőhatás értékei a vizsgálati áramkörökben

$\varphi$	$i_{1M1}^*$	$\psi$	$P_3^*$	$d^{**}, \%$
90°	1,76	-30°	3,32	44,5
	1,76	+30°	2,3	
85°	1,66	-30°	2,6	41,5
	1,66	+30°	1,84	
80°	1,51	-30°	2,12	32
	1,51	+27°	1,6	
75°	1,39	-30°	1,8	28,5
	1,39	+27°	1,4	
70°	1,3	-30°	1,55	25
	1,3	+27°	1,24	
65°	1,23	-30°	1,32	18
	1,23	+26°	1,12	
60°	1,17	-30°	1,22	17
	1,17	+25°	1,04	

$i_{1M1}$  az  $i_1$  áramok maximumai közül  $\psi = -30^\circ$ -nál kiragadott érték,

\* a görbék metszékeivel arányos hosszegység,

\*\*  $d$  az eltérés  $P_3$  értékeiben a feltüntetett  $\psi$ -hez tartozó, ugyanazon  $i_{1M1}$  értékeknél.

Az eddigiekben az erőhatásokban mutatkozó eltéréseket egy bizonyos csúcsáram-ra vonatkoztattuk. További bizonytalanságot okoz, hogy a zárlati csúcsáram sem mindig ugyanaz, hanem értéke az előírt vagy előírható tűrésen belül fekszik. Világít-suk meg ezt is egy példával:

Legyen a vizsgálati áramkör úgy beállítva, hogy  $\varphi = 80^\circ$ ,  $\psi = -30^\circ \dots +27^\circ$  paramétereknél a létrejövő áramcsúcsok 1,51 és 1,587 közötti értékeket vegyék fel. Ez éppen 5%-os eltérés. Ezekhez az áramcsúcsokhoz tartozó  $P_3$  értékek 2,2 és 1,6 között minden értéket felvehetnek. Az 5%-os áramtűréshez tehát  $(2,2/1,6 = 1,38)$  38%-os mechanikai erőeltérés tartozik! A táblázat és a példák adatai segítséget nyúj-tanak a szakaszoló zárlati szilárdsági vizsgálatainak tárgyilagosabb értékeléséhez. Erre azért van szükség, mert a vizsgálati szabványok általában csak azt írják elő, hogy a dinamikus vizsgálat során a dinamikus határáramnak megfelelő áramcsúcsnak az egyik szélső fázisban fel kell lépnie. A zárlat során ébredő erőket viszont még a vizsgálati áramkör teljesítménytényezője és a rákapcsolási szög is befolyásolja, tehát fenn-áll annak a lehetősége, hogy a szabványos vizsgálatot sikeresen kiállott szakaszoló máskor, pl. üzemi körülmények között fellépő áramcsúcs hatására meghibásodhat. Valószínűleg ez az oka annak, hogy a nagy készülégyárak vonakodnak a dinamikus áramcsúcs tűrésére 5%-nál nagyobbat megengedni, hogy ezzel is csökkentsék a vizs-gálatok során fellépő erőhatások nagy szórását.

## 5. Összefoglalás

A szakaszoló három vezetőjében fellépő  $i_1, i_2, i_3$  áram pillanatértékei és a szakaszolóban ébredő erők közötti összefüggéseket az áramkör teljesítménytényezője és a rákapcsolási szög függvényében számítógép segítségével dolgoztuk ki. A kapott eredményeket értékelve kimutattuk, hogy egy adott áramkörben egy adott áramcsúcsához kétféle erőhatás tartozik és az erőhatás még az áramkör teljesítménytényezőjétől is függ. Példaképpen kimutattuk, hogy szakaszolók dinamikus vizsgálata során  $\varphi = 80^\circ$  ( $\cos \varphi = 0,17$ ) teljesítménytényezőjű áramkörben, szinkron rákapcsolás nélkül 5%-os tűréssel megadott csúcáramok a mechanikai erők 38%-os eltérését okozhatják.

### Irodalom

- [1] *Lehman., W.*: Elektrodynamische Beanspruchung paralleler Leiter. ETZ/A. 11. Juli 1955. H. 14. 481—488.
- [2] *Kurkov, C. A.*: Elektrodinamiceszkije szilji pri korotkom zamikanii na peremennom toke. Elektrotechnika 1966. No 2. 26—29.
- [3] *Maass, H. F.*: Elektromagnetic forces on three parallel conductors with three-phase short-circuits. ETZ/A. 1972. H. 3. 166—169.
- [4] *Hátsági V.*: A hálózat soros elemeinek passzív zárlatbiztosságával kapcsolatos kérdések. Elektrotechnika, 1967. 7—8. sz. 326—336.

# VILLAMOS KERÁMIAI ÉS HŐTECHNIKAI FŐOSZTÁLY



## $\beta$ -korund kerámia anyagú szilárd ionvezető összetétele

DR. GRUBER PÉTER

### ÖSSZEFOGLALÁS

A  $\beta$ -korund mint az ömlesztett-korund káros mellékterméke már több évtizede ismert, melyet korábban egy önálló alumíniumoxid módosulatnak tekintettek. A vizsgálatok kiderítették, hogy a  $\beta$ -korund egy vegyület, melynek kémiai összetétele  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ , kristályszerkezete hexagonális. A  $\beta$ -korund megjelenése az  $\alpha$ -korund mellett az alapanyagok villamoszigetelési tulajdonságait, mechanikai szilárdságát lerontotta, azonban rendkívüli ionvezetési tulajdonságára csak néhány éve figyeltek fel. Előállítását a nátrium-kén elem fejlesztésének elsődleges követelményei határozták meg.

A kísérleti elemekben beépíthető  $\beta$ -korund kerámiai ionvezetőnek nagy mechanikai szilárdsággal, korrózióállósággal és kicsi villamos ellenállással kell rendelkeznie.

Ezek a követelmények tömör kerámiai anyag előállítását teszik szükségessé. A  $\beta$ -korund tömör kerámiai anyag előállítását megnehezíti az a körülmény, hogy a képződés hőmérsékletén egyidejűleg bomlik is, a kerámiai masszákából a kidiffundáló alkália vegyületek lyukacossá teszik a formadarabot.

A jelzett problémák megoldásával első hazai nátrium-kén elem modell  $\beta$ -korund kerámiai formatestjei  $15 \dots 20 \Omega \text{ cm}$  ellenállással megfeleltek a szilárd ionvezető anyaggal kapcsolatos eddigi elvárásoknak.

### СОСТАВ ТВЕРДОГО ИОННОГО ПРОВОДНИКА ИЗ КЕРАМИЧЕСКОГО $\beta$ -КОРУНДА

*Д-р П. Грубер*

#### Резюме

$\beta$ -корунд известен уже десятки лет, как побочный продукт расплавленного корунда, который раньше рассматривался как самостоятельная модификация окиса алюминия.

В ходе исследований выяснилось, что  $\beta$ -корунд, это химикат, химический состав которого  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$ , и имеет гексагональную кристаллическую решётку.

Присутствие  $\beta$ -корунда в материале  $\alpha$ -корунда уменьшает электрические изоляционные свойства и механическую прочность материала, но исключительно хорошую проводящую способность его для понов было замечено лишь несколько лет тому назад. Получение его диктуется первичными требованиями разработки серно-натрийных элементов.

В опытных батареях используемый  $\beta$ -корунд — как ионный проводник — должен обладать большой механической прочностью, коррозиостойкостью и низким электрическим сопротивлением. Эти требования делают необходимым изготовление его в виде сжагото керамического материала. Изготовление  $\beta$ -корунда в виде твёрдого материала затрудняется тем, что на температуре образования происходит и распад его, и из керамической массы удалявшиеся алкалийные элементы образец сделают пористым.

С решением вышеописанных проблем — первый модель отечественного серно-натрийного элемента — с керамическим  $\beta$ -корундом имеет сопротивление  $15 \text{—} 20 \Omega \cdot \text{см}$ , и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к твёрдым ионным проводникам.

## ZUSAMMENSETZUNG DES FESTEN IONLEITERS AUS $\beta$ -KORUND-KERAMIK-MATERIAL

*Dr. P. Gruber*

### Zusammenfassung

Der  $\beta$ -Korund, der früher als selbständige Aluminiumoxid-Modifikation betrachtet wurde, ist — als schädliches Nebenerzeugnis des Schmelzkorundes — bereits seit mehreren Jahrzehnten bekannt. Es stellte sich aus den Prüfungen heraus, dass der  $\beta$ -Korund eine Verbindung ist, dessen chemische Zusammensetzung  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$  und die Kristallstruktur hexagonal ist. Die Erscheinung des  $\beta$ -Korundes neben dem  $\alpha$ -Korund verminderte die Elektroisolationseigenschaften und die mechanische Festigkeit der keramischen Formstücke, aber auf seine aussergewöhnliche Ionleitungseigenschaft ist man erst vor einigen Jahren aufmerksam geworden.

Seine Herstellung wurde durch die Primäranforderungen der Entwicklung des Natrium-Sulphur-Elements bestimmt. Der in die Versuchselemente einbaubare  $\beta$ -Korund-Keramik-Ionleiter soll grosse mechanische Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit und kleinen elektrischen Widerstand besitzen.

Durch diese Anforderungen wird die Herstellung des dichten keramischen Materials benötigt. Die Herstellung des aus Korund zusammengesetzten dichten keramischen Materials wird durch den Umstand erschwert, dass es bei der Temperatur der Bildung gleichzeitig auch zerfällt und die Alkaliverbindungen aus keramischen Massen ausdiffundieren und es macht das Formstück porös.

Die bisher hergestellten  $\beta$ -Korund-Ionleiter-Formstücke entsprachen den Erwartungen des 15 . . . 20  $\Omega$  cm Widerstands, die wir gegenüber der Lösung der erwähnten Probleme bei dem keramischen Formkörper des ersten einheimischen Natrium-Sulphur-Elementmodell gestellt haben.

## SOLID ION CONDUCTOR COMPOSED OF $\beta$ -CORUNDUM CERAMIC MATERIAL

*By Dr. P. Gruber*

### Summary

The  $\beta$ -corundum which was considered earlier as a dependent aluminium oxide alteration has already been known for some decades as a detrimental by-product of the bulk corundum. The tests have brought to light that the  $\beta$ -corundum is a compound composed of  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11\text{Al}_2\text{O}_3$  with hexagonal crystal structure. The appearance of the  $\beta$ -corundum besides the  $\alpha$ -corundum demolished the electric insulation properties and the mechanical strength of the moulded piece, its special ion conduction property was discovered only some years ago. Its production was determined by the primary requirements of the development of the sodium-sulfur element.

The  $\beta$ -corundum ceramic ion conductor embedded in the test elements must possess big mechanical strength, corrosion resistance and small electric resistance. These requirements necessitate the production of non-porous ceramic material. The production of the  $\beta$ -corundum non-porous ceramic material is rendered more difficult by the circumstance that it decomposes at the temperature of the formation at the same time, the alkali compounds diffusing from the ceramic mass make the moulded piece porous.

By solving the mentioned problems the ceramic moulded pieces of the first home-made sodium-sulfur element  $\beta$ -corundum possessing 15 . . . 20  $\Omega$  cm resistance have met our expectations regarding the solid ion conductor material up-to now.

## 1. Bevezetés

A kén—nátrium elem elvi felépítése a hagyományos galvánelemekhez hasonló (katód—elektrolit—anód), gyakorlati megvalósítása azonban, az eltérő működési feltételek, valamint más anyagi tulajdonságok miatt számos probléma megoldását teszi szükségessé pl. (az emelt — kb. 350 °C — üzemi hőmérséklet, a katód anyagát képező kénolvadék különösen nagy agresszivitása a fémekkel szemben, az olvadt nátrium nagy kémiai aktivitása, a szilárd ionvezető esetleges törésénél fellépő explózió).

Az elembe a nátriumionok transzportját szilárd ionvezető biztosítja, amelynek előállítása az elem kialakításának egyik sarkalatos problémája. Több anyag kipróbálása után, az első sikeres kísérleteket az amerikai és japán kutatók a  $\beta$ -korund alkalmazásával érték el. A  $\beta$ -korund sajátos fizikai, ill. anyagszerkezeti tulajdonságát, azt, hogy alkalmas a nátriumionok transzportjára, néhány esztendeje kezdték vizsgálni. Ezzel magyarázható, hogy a témával foglalkozó kevés számú referátum alig tartalmaz konzekvens eredményeket.

## 2. A $\beta$ -korund kerámiai anyagú szilárd ionvezető

Az alumíniumoxid egyetlen természetes megjelenési formája a ditrigonális szkalenoiderben kristályosodó  $\alpha$ -korund. Ez az anyag többek között kitűnik magas hőmérsékleten is nagy fajlagos villamos ellenállásával, nagy keménységével ( $M = 9$ ), kémiai inaktivitásával. Technológiai tulajdonságai kerámiai feldolgozásra alkalmassá teszik, így az ipar széles körben használja, mint pl. tűzálló anyagot, rádiócső-szigetelőt, laboratóriumi eszközöket, köszörűszerszámot stb.

Nyilvánvaló, hogy az  $\alpha$ -korund anyagát és technológiai tulajdonságait alaposan vizsgálták, és ma már erről széles körű ismeretekkel rendelkezünk. A mesterségesen előállított alumíniumoxidot korábban négy allotróp módosulat formájában ismerték ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  és  $\delta$  módosulat) a részletesebb vizsgálatok azonban kiderítették, hogy a  $\beta$ -korund nem tiszta alumíniumoxid, hanem kis alkáli tartalmú, elsősorban nátriumaluminát és képletét  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11 \text{Al}_2\text{O}_3$ -ban határozták meg.

A vizsgálati módszerek további finomításával kiderült az is, hogy nemcsak ez a vegyület, hanem még további összetételek is önálló vegyületté jellemezznek meg, így a  $\beta'$ -korund ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 7 \text{Al}_2\text{O}_3$ ), valamint  $\beta''$ -korund ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 5 \text{Al}_2\text{O}_3$ ).

A szakirodalom a  $\beta$ -korund elnevezést tradícióból megtartotta annak ellenére, hogy az előbbieken alapján ez az elnevezés helytelen.

A  $\beta$ -korund az alumíniumoxid-termékekben mint káros fázis jelenik meg, ezért a rá vonatkozó kutatások az elmúlt évtizedekben képződésének elhárítására irányultak, és mint „haszontalan” anyaggal gyakorlatilag nem foglalkoztak. Az első jelentős felismerés a  $\beta$ -korundról az volt, hogy az  $\alpha$ -korund igen nagy rezisztivitásával (fajlagos villamos ellenállásával) szemben ( $10^{14} \dots 10^{15} \Omega\text{cm}$ ) ez a vegyület rendkívüli kicsi ( $15 \dots 20 \Omega\text{cm}$ ) értéket mutat szobahőmérsékleten. Kiderült az is, hogy a nagymérvű vezetőképességet a kristályrácsban a nátrium-ionok — egyéb ásványoknál nem tapasztalható — laza kötéséből származó ionmozgékonyosság okozza. A  $\beta$ -korundnak ez a rendkívüli vezetőképessége, valamint viszonylag nagy mechanikai szilárdsága, hőállósága és kémiai rezisztenciája teszi lehetővé, hogy kén — nátrium elembe mint szilárd ionvezető, és egyben mint szerkezeti anyag is szerepeljen. (Feltételezzük, hogy a kén—nátrium elem gondolatát a  $\beta$ -korund ismertett tulajdonsága váltotta ki.)

Az  $\alpha$ -korund kerámiai tulajdonságai régóta ismertek, a technológiai eljárások számos válfaját alkalmazzák a gyakorlatban. A  $\beta$ -korund azonban a szerkezet laza

kötéséből származó termikus instabilitása miatt közismert módszerekkel nem, vagy csak korlátozott mértékben dolgozható fel. Súlyos problémát jelent magának a vegyületnek az előállítása, mert a képződés hőmérsékletén egyidejűleg bomlik is, továbbá a szinterelési hőmérséklet közelében a felszabaduló és elillanó alkáliegyületek a szerkezetet lukacsossá teszik. Ennek a súlyos ellentmondást rejtő problémának a megoldása az egyik legfontosabb kutatási feladat.

### 3. Elméleti megfontolások

A  $\beta$ -korund vegyületeket mint azt korábban összefoglalóan leírtuk — a következő kémiai összetételekkel jellemezhetjük:

$\beta$ -korund  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11 \text{Al}_2\text{O}_3$ ;

$\beta'$ -korund  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 7 \text{Al}_2\text{O}_3$ ;

$\beta''$ -korund  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 5 \text{Al}_2\text{O}_3$ .

A kerámiai anyagot jellemző kristályos fázisok közül 90% feletti arányban csak az  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11 \text{Al}_2\text{O}_3$  állítható elő, a mólarány megváltoztatásával a három vegyület együttes kialakulását tapasztalták [1]. A  $\beta$ -korundnak mint szilárd ionvezető anyagnak a villamos ellenállását csak az 1 : 11 mólarányú anyagokra tudták meghatározni, további mérésekkel és számításokkal adják meg közelítően a  $\beta'$  és  $\beta''$  összetételekét. K. Sudworth szerint 350 °C-on a  $\beta$  és  $\beta''$  vegyület rezisztivitása (fajlagos villamos ellenállása) 15  $\Omega\text{cm}$ , ill. 4...7  $\Omega\text{cm}$  [3].

A  $\beta$ -korund kristályszerkezete hatszöges, amelyben a nátriumionok háromszöges koordinációban helyezkednek el az oxigén körül. A réteges szerkezetben a nátriumionok gyengén kötöttek az oxigén ionokhoz. Ezzel magyarázható a kristályos vegyületeknél szokatlanul nagy ionmozgékonyosság [3], [4]. A  $\beta$ -korundtól eltérő  $\beta'$ - és  $\beta''$ -korund tartalmú anyagok kristályszerkezete romboéderesre módosul [5].

Ducan és Creyke [7]  $\beta$ -korund kristályos vegyület kialakulását vizsgálták az égetési hőmérséklet és adalékanyagok, ill. szennyezőanyagok jelenlétében. Ismereteink szerint a keverékekből tömör kerámiai anyagot előállítani nem tudtak, mert a kialakult  $\beta$ -korund hólyagos nagy kristályokká növekszik az égetési hőmérséklet emelésének hatására. Üveges fázist nem tudtak kimutatni.

A  $\beta$ -korund előállításával foglalkozó referátumok száma még nem jelentős. Mindegyikre jellemző, hogy kiemelik a mineralizátorok hatását. Az elmúlt öt esztendőben a kutatók sok massaösszetélt próbáltak ki annak érdekében, hogy szilárd ionvezető anyagaik vezetőképességét, mechanikai szilárdságát és kémiai ellenállóképességét növeljék, a masszák jól formálhatók és tömörre égethetők legyenek. A legtöbb kutató alapanyagul bázikus alumíniumoxidot (böhmit vagy diaszpor) és szódat választott. Az alapösszetételeket Scholder és Hausmann [6] (M. Bettmann referátumából)  $\text{AlO}(\text{OH}) + \text{NaAlO}_2$ -ből állították elő. Megvizsgálták továbbá az  $\text{A}_2\text{O} \cdot 11 \text{M}_2\text{O}_3$  és  $\text{A}_2\text{O} \cdot 6 \text{M}_2\text{O}_3$  vegyületek képződésének feltételeit és ionvezető képességét, ahol „A”: K, Rb, Cs, az „M”: Fe, Ga voltak. (Nem világos előttünk, hogy miért nem az  $\text{A}_2\text{O} \cdot 5 \text{M}_2\text{O}$ , ill.  $\text{A}_2\text{O} \cdot 7 \text{M}_2\text{O}$  mólarányt alkalmazták).

Megállapításunk szerint a  $\beta$ -korund ionvezető tulajdonságát egyik összetétel sem közelítette meg. A kerámiai anyagban a mikrokristályos szerkezet kialakulását és a tömörödést előnyösen befolyásolja 0,2...0,3% MgO hatása, amely 1650 °C felett elősegíti a  $\beta$ -korund képződést is. Gátolja kialakulását a kovasav, ill. a cirkonszilikát jelenléte, ezért ezek bekerülését vagy ezekkel szennyezett alapanyagok felhasználását mindenképpen kerülni kell.



Figyelemre méltó kísérletsorozatot végeztek az amerikai Alcoa kutatóintézet laboratóriumában  $\beta$ -korund képződésével és stabilitásával kapcsolatban [8]. Vizsgálták különböző hőmérsékleten kiégetett  $\beta$ -korund kerámiai testek zsugorodását, porozitását, és mechanikai szilárdságát. Az  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11 \text{Al}_2\text{O}_3$  mólarányban kevert anyagot formálták, majd saját poranyagába ágyazva égették ki és megállapították, hogy a minták súlyvesztése 1650 °C-os égetés után átlag 0,15% volt. Ugyanabban a szakaszos üzemű gázkemencében hasonló, de nem beágyazott minta átlag 2,08% súlyvesztéssel volt kiégethető.

A súlyvesztéséget az elillanó alkáliavegyület okozza. Az alkáliatartalom a test magjáról a palást irányába csökkenő értéket mutatott úgy, hogy a felületen gyakorlatilag  $\alpha$ -korund jelent meg. A beágyazott próbatestek a következő tulajdonságokat mutatták az égetési hőmérséklet függvényében:

Égetési hőmérséklet, °C	Porozitás			Térfogatsúly, g/cm <sup>3</sup>	Hajlítószilárdság, kg/cm <sup>2</sup>
	nyílt	zárt	összes		
1600	7,3	2,3	9,6	2,94	1155
1650	5,1	3,0	8,1	3,05	812
1700	0,3	3,0	3,3	3,15	1190
1780	1,5	4,2	5,7	3,07	658

(A mintadarabok égetésénél a hőntartás 1 óra volt.) A minták elektronmikroszkópi vizsgálata igazolta azt a feltevést, amely szerint a tiszta  $\beta$ -korund tömör anyagként nem állítható elő. Ennek okát — megegyezően Ducan és Greyke megállapításaival — a nagy kristályok kialakulásában látja, amelyek laza, porózus szerkezetet adnak. A szerkezet ilyen jellegű kristályosodása fokozottan érzékelhető a  $\beta'$  és  $\beta''$  összetételek esetében. Japán kutatók [5] az alkálipolialuminátok képződésével és tulajdonságaival foglalkozva megállapították, hogy a vezetőképesség növekedését ezek jelenléte előnyösen befolyásolja. A szövetszerkezet átalakulása további alkália adagolásával és nagy hőmérsékletű égetésnél ömledék megjelenését idézi elő, és emiatt deformálódtak az idomdarabok.

Ennek a kísérletsorozatnak elméleti vonatkozásait részletesen tárgyalja Mituo Harata [9] az egyes összetételek azonos égetése utáni röntgensugár-reflexió intenzitáskülönbségeit vizsgálva. Az alkália adagolása már a  $\beta$ -korund összetételben is kis mennyiségű ömledék megjelenését okozza a kristályos szerkezet rovására. Vizsgálták a kriolit ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), spinell ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) és hematit ( $\gamma\text{FeO}(\text{OH})$ ) mineralizátorok hatását, konkrét megállapításokat azonban nem közöltek [10].

Az egyvegyértékű kationok közül a  $\text{K}^+$ ,  $\text{Rb}^+$  hasonló szerkezetű vegyületet képez az alumíniumoxiddal. Ennek ismeretében megkísérelték a szilárd ionvezető kerámiai anyagokban a kationok cseréjét. A  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11 \text{Al}_2\text{O}_3$  vegyületet tartalmazó kerámiai anyagot 350 °C-on  $\text{KNO}_3$  olvadékba helyeztek, ahol 30...70% mértékig megtörtént a kationok cseréje.

A folyamat az állapothatározók megváltoztatásával megfordítható [12], ami annak lehetőségét vetíti előre, hogy a kerámiai technológiával nehezen kialakítható összetételek ily módon előállíthatók lesznek.

A  $\beta$ -korund masszának formálásáról, égetéséről többnyire azonos tapasztalatokat közölnek a referátumok. Az alapanyagokat korund-malomban etilén-glikol, és más alifás alkoholokban, ill. aromás oldószerekben homogenizálják. Az örleményhez nátriumsztearátot vagy „Mowiol”-t adagolnak a nyers szilárdság biztosítására. A szárított keverékeket brikettezik és a formálás módját figyelembe véve 1000...1450 °C között égetik [8], [12], [13].

A fritanyagot külön újra porítják és metanolos közegben korund-malomban őrlik. A nyersszilárdságot nátriumsztearát hozzáadásával növelték. A nátrium kén elemek részére előállítottak síklap és kémcső alakú szilárd ionvezetőtesteket [1, 13]. Mindkét alakzat falvastagsága max. 4 mm, de olyan utalás is olvasható, hogy 1,7 mm vastagságú csiszolt lemezeket építettek be. A formálás módja izosztatikus sajtolás, ill. szárazsajtolás. Törekedtek a nagy nyerstömorség elérésére, mert ezzel lehetett a deformációt és a nagymérvű zsugorodást ellensúlyozni. A darabokat gáztüzelésű kemencékben levegőfelesleg biztosításával, oxidáló atmoszférában minden esetben saját poranyagába ágyazva égették [15].

A  $\beta$ -korund előállításával foglalkozó referátumok feldolgozása nehéz volt, mert a bennük foglalt értékelések sok esetben ellentmondók pl. az olvadék megjelenésével, szerepével, ill. a rezisztencia (villamos ellenállás) mérésével kapcsolatban. A kerámiai anyag — ez esetben mint dielektrikum — ionvezető tulajdonságát a veszteségi tényező értékéből számított ellenállásértékkel jellemzik. A közölt eredmények nem egyértelműek. A szilárd ionvezető ellenállásértékének más meghatározási módszerét (mérési utasítás vagy elv) nem közlik, így ezek összehasonlítása nem lehetséges.

#### 4. Kísérleti rész

Kísérleteink a nátrium—kén elem szilárd ionvezetőjeként alkalmas kerámiai testek előállítására irányultak.

##### *Felhasznált alapanyagok:*

- timföldhidrát (TH-12), nagy diaszportartalmú bázikus alumíniumoxid;
- nátriumkarbonát (purum);
- magnéziumoxid;
- nátriumfluorid purum.

##### *Alapanyag-vizsgálatok:*

A felhasznált alapanyagok közül a timföldhidrátot vizsgáltuk kémiai analitikai és kristályszerkezeti szempontból:

$\text{Al}_2\text{O}_3$ :	65,0%
alkália:	0,4%
szerk. víz:	33,6%
egyéb nem vizsgált:	1,0%
	100,0%

Ásványtani összetétele röntgendiffrakciós vizsgálat alapján:

diaszpor	$\text{AlO(OH)}$ kb.	75%
hidrargillit	$\text{Al(OH)}_3$ kb.	20%
„röntgenamorf”	kb.	5%

A további nyersanyagok, ill. adalékanyagok célszerűen finomvegyszerek, tekintettel arra, hogy így az eredmények jól reprodukálhatók kiküszöbölve a változó összetételű alapanyag-felhasználás okozta hibákat. A kísérletek anyagigénye nem nagy, így feltétlen gazdaságos a megbízható alapanyag felhasználása.

### A massaösszetételek

A jelentősebb massaösszetételeket táblázatban foglaljuk össze az áttekinthetőség érdekében. Számos egyéb, az előkísérletek során alkalmatlannak talált összetétel közlését mellőzzük. (A mintadarabokat sósav—salétromsav 1 : 2 arányú keverékében 5 percig forraltuk. A súlyvesztés max. 5% lehetett.) Csak a korrózióállóság követelményét kielégítő összetételekkel foglalkoztunk tovább (32-1. táblázat).

32-1. táblázat

#### $\beta$ -korund massaösszetételek

Összetétel	Oxida számított összetétel, %	
$\beta$ -korund ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 11 \text{Al}_2\text{O}_3$ )	$\text{Al}_2\text{O}_3$	94,75
	$\text{Na}_2\text{O}$	5,25
	$\text{Al}_2\text{O}_3$ -	94,3
	$\text{Na}_2\text{O}$	5,3
	$\text{MgO}$	0,4
$\beta''$ -korund ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 5 \text{Al}_2\text{O}_3$ )	$\text{Al}_2\text{O}_3$	94,2
	$\text{Na}_2\text{O}$	5,5
	(mint $\text{NaF} + \text{Na}_2\text{CO}_3$ )	
	$\text{MgO}$	0,3
$\beta''$ -korund ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot 5 \text{Al}_2\text{O}_3$ )	$\text{Al}_2\text{O}_3$	89,20
	$\text{Na}_2\text{O}$	10,80

### A masszák előkészítése formáláshoz

A táramérlegben bemért komponenseket 1 liter úrtartalmú, korund anyagú kísérleti őrlőmalomban homogenizáltuk. A keverékben először a TH-12-es anyagot a bemért mennyiségű szódaoldattal kevertük el. A korund anyagú őrlőtestek súlyaránya a bemért szárazanyaghoz 6 : 1 volt. A rövid 2—3 órás malmozást a zagy kiszáritása követte 110...150 °C-os szárítószekrényben.

A száraz masszát porítottuk, minden esetben briketteztük, azaz sajtolással hengeres idomokká sajtoltuk. A brikettezett hengeres testeket saját száraz poranyagába ágyazva égettük ki 1000...1450 °C-on. Ezt az előzetes feldolgozási módot alkalmaztuk valamennyi összetételünknel, megelőzve a késztermékben a diaszpor átalakulásával együttjáró repedezést, a túlzott zsugorodást és deformálódást, így a sajtoló granulátum térfogatsúlya is megnövelhető volt. Az ily módon előkészített masszákából sajtológulátumot, öntőiszapot és fröccsöntéshez paraffinos szuszpenziót készítettünk.

A sajtoláshoz a porított fritanyagot metanolos, ill. toluolos közegben őrlöttük a már leírt korund-malomban. Adalékanyagként polivinilalkoholt, Mowiol és alumíniumsztearát próbáltunk ki, amelyek közül az alumíniumsztearát hatása mutatkozik megfelelőnek. Az alumíniumsztearát adalékanyaggal készült összetételek 500...800 kg/cm<sup>2</sup>-es nyomással sajtolhatók. Adagolása a zagy szárazanyag-tartalmára számított 1,2%.

Az oldószermentesített poranyagot elősajtolással, darabolással granuláltuk és a port kiszitáltuk. A granulátum halmaztérfogat súlya max. 1,04 kg/dm<sup>3</sup>. Az öntőiszap

elkészítése vizes, ill. alkoholos közegben 62% szárazanyag-tartalmú összetételben történt. Az öntéssel, ill. fröccsöntéssel történő formálás ezidáig nem adott értékelhető eredményeket. A módszerek kidolgozásához, ill. értékeléséhez további technológiai kísérletek szükségesek.

### Formálás

A nátrium—kén elem összeállításához az 22...27 mm, ill.  $\varnothing$  44 mm-es síklapokat félszáraz sajtolási módszerrel formáltuk. A továbbfejlesztéshez szánt szilárd ionvezető csöveket egyelőre izosztatikus présgépen sajtoljuk.

### Égetés

A  $\beta$ -korund kerámiai anyag szinterhőmérséklete 1650...1700 °C között van. Mintadarabjaink égetését sok kísérlet után 1650...1710 °C-on tartottuk célszerűnek. Saját poranyagába ágyazva 1—4 órai hőntartással. Az égetés hőmérsékletét az egyes alapösszetételeknél a 32-2. táblázat mutatja be.

32-2. táblázat

### $\beta$ -korund kerámiai anyag égetése

Jelölések	Oxidra számított összetétel, %	Égetési hőmérséklet, °C	Hőntartás, h	
1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O	94,75 } 5,25 }	1450...1650	1
4/a	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O MgO	94,3 } 5,3 } 0,4 }	1650...1710	2
$\beta$ 11/5	NaAlO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,7 } 84,3 }	1650	2
6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O (mint NaF + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) MgO	94,2 } 5,5 } 0,3 }	1650...1710	4
10	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O	89,2 } 10,8 }	1680	1

### Vizsgálatok

A kísérleti darabokon különböző vizsgálatokat végeztünk el, közöttük a röntgen-diffrakciós szerkezetvizsgálat, rezisztencia mérése 80 és 200 °C-on, vízfelvétel, mikroszkópi vizsgálatok, savakban való oldhatóság, térfogatsúly, zsugorodás méréséről közlünk eredményeket.

Az égetési próbák röntgen-diffrakciós vizsgálati eredményeit a 32-3. táblázat mutatja be.

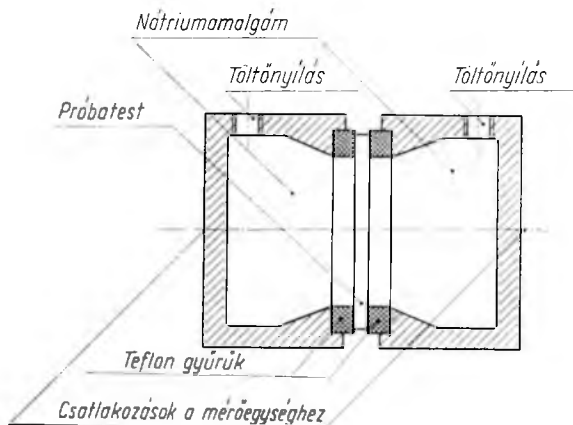
A további minták vizsgálata mint AlF<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> adalékanyagokkal nem adtak jobb eredményeket, így azok vizsgálati eredményeivel kapcsolatos következtetéseket a későbbiekben közöljük.

## 32-3. táblázat

## Röntgendiffrakciós szerkezet vizsgálata

Összetevők	Anyag- összetel, %	Égetési hő- mérséklet, ill. idő °C, ill. h	$\beta$ -korund- tartalom, %	$\beta'$ -korund- tartalom, %	$\alpha$ -korund- tartalom, %	NaAlO <sub>2</sub> , %	Egyéb, %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O	94,75 5,25	1450/4	25	5		45	25
		1650/1	85	—	5	—	10
		1710/1	85	—	8	—	7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O MgO	94,3 5,3 0,4	1650/2	92	—	3	—	5
		1750/1	92	—	5	—	3
NaAlO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,7 84,3	1650/2	75	20	3	—	2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O(Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + +NaF) MgO	94,25 5,5 0,3	1650/2	95	—	2	—	3
		1650/4	95	—	2	—	3
		1710/1	80	—	6	2	12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O	89,2 10,8	1680/1	78	20	—	—	2

A próbatárcsák vezetőképességét 80 és 200 °C-on mértük kaszkád kompenzátorral. (A próbatárcsák vastagsága 3 mm, a mérőelektrodok felülete 0,6 cm<sup>2</sup> volt.) A tárcsát két nátriumamalgám elektród közé szorítottuk, szigetelőgyűrűként teflont használtunk, a 32-1. ábrán vázolt módon.



32-1. ábra

A kompenzációs eljárás alkalmazása a mérőáram esetleges zavaró hatásának csökkentése céljából volt szükséges. A mérési módszer továbbfejlesztésével, valamint újabb mérési lehetőségek kipróbálásával jelenleg is foglalkozunk.

Összehasonlító mérési eredmények  $\beta$ -korund kerámiai anyagon

Összetevők	Anyagösszetétel, %	Égetési hőmérséklet ill. idő, °C, ill. h	A kísérleti összetételek fajlagos vezetőképessége 200 °C-on ( $\Omega\text{cm}$ )	Vízfelvétel, %	Térfogat- súly, g/cm <sup>3</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O	94,75 } 5,25 }	1650/1 1710/1	380 300	6 4	2,6 2,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O MgO	94,3 } 5,3 } 0,4 }	1650/1 1710/1 1710/1	210 190	3 1	2,86 2,92
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> NaAlO <sub>2</sub>	84,7 } 15,7 }	1560/2	280	3	2,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O(Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + + NaF) MgO	94,2 } 5,5 } 0,3 }	1650/2 1650/4 1710/1	180 150 150	0,6 0,3 0,3	2,92 3,02 3,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O	89,2 } 10,8 }	1680/1	180	0 deform- málódik	3,00

A mintákon eddig elvégzett méréseket az összehasonlíthatóság céljából a 32-4. táblázatban közöljük.

Az égetett minták közül a 3 g/cm<sup>3</sup> térfogatsúly feletti darabokat mikroszkóp látóterei-  
ben csiszolva és maratott felülettel (kb. H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> és H<sub>2</sub>F<sub>2</sub> fél és egyperces  
maratás után) ráeső fényben vizsgáltuk. A próbatestek tömött aprókristályos szerke-  
zetet mutattak. E minták savoldhatósága 0,2% volt.

Az eddig elvégzett vizsgálatok elegendőek voltak annak megítélésére, hogy olyan  
 $\beta$ -korund kerámiai anyagot állítottunk elő, amely kísérleti kén—nátrium elem elő-  
állítására alkalmas. Az anyag tulajdonságainak részletesebb megismeréséhez új vizsgá-  
lati módszereket dolgoztunk ki.

*A kísérleti eredmények értékelése*

A  $\beta$ -korund anyagú szilárd ionvezető előállítása olyan új tématerület, amellyel  
hazánkban intézetünk foglalkozik elsőként. Ennek megfelelően sok olyan problémá-  
val találkozik a téma kidolgozója, ami az általános kerámiai technológiában nem,  
vagy csak kevésbé ismert (nátriumvegyület elillanása, ionvezetés stb.). A  $\beta$ -korund  
kerámiai anyag előállításával kapcsolatos eddigi eredményeket a következő pontokba  
foglalva értékeljük.

- $\beta$ -korund képződik diaszpor és Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> keverékből 1450...1710 °C között  
minden hőmérsékleten akkor, ha a nátrium-vegyület elillanását megakadá-  
lyozzuk.
- Irodalmi hivatkozásokkal ellentétben összetételükből csak  $\beta$ -korund és  $\beta'$ -  
korund képződését azonosítottuk kísérleteink során.
- Az 1400 °C kiégetett minták szerkezetvizsgálata alapján megállapítható, hogy  
az átalakulás NaAlO<sub>2</sub> vegyületen (mint elsődleges vegyületen) keresztül tör-

ténik, azonban adalékanyagként az összetételbe adagolt  $\text{NaAlO}_2$  nem segíti a  $\beta$ -korund kialakulását.

- $\beta$ -korund vegyület képződését, a kerámiai anyag tömörödését, valamint a mikrokristályos szerkezet kialakulását előnyösen befolyásolja a  $\text{MgO}$ , ill.  $\text{NaF}$  adagolás.
- Kísérleteink során  $15 \text{ Al}_2\text{O}_3 : \text{Na}_2\text{O}$  és  $13 \text{ Al}_2\text{O}_3 : \text{Na}_2\text{O}$  molarányú keveréket is készítettünk azzal a megfontolással, hogy a tömörre égetés során keletkező nagykristályok kialakulását megakadályozzuk. Ezen összetételek — bár meglehetősen nagy mennyiségű  $\beta$ -korundot tartalmaztak — nagyon törekenyek, laza szerkezetűek voltak.
- Az  $\text{NaAlO}_2$  vegyület jelenléte a kristályos szövetszerkezetben a vezetőképesség növekedését lényegesen nem befolyásolja, azonban ebben az összetételben jelentkező ömledék égetés alatti deformációkhoz vezet.
- A frittelt alapanyagok formálása célszerűen izosztatikus sajtolással oldható meg, ahol az alkalmazott nyomásmértéke meghaladja a  $800 \text{ kg/cm}^2$  értéket.

A  $\beta$ -korund előállításával kapcsolatos fejlesztést új anyagösszetételek kidolgozásával és technológiai kísérletekkel folytatjuk. Jelentős szempontnak tekintjük az ionvezetés mechanizmusának tisztázását és egyértelmű mérési módszerek kidolgozását.

#### Irodalom

- [1] Maurice des Melanges ne régissant pas avec le Molybdène Rev. Hautes Temper. et Refract t 2. 1965. p. 175—185.
- [2] *Sudworth, L.—Hames, M. D.*: Előadás a Brightoni „Eight International Power Somos Symposium”-on 1972-ben. Analysis and Laboratory assesment of two Sodium Sulphur Cell designs.
- [3] *Náray—Szabó*: Kristálykémia. Akadémiai Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- [4] *Tseung, A. C.C.*: Üzemanyagcellák és telepek különleges kerámiái. Kongressz 4. symposion special ceramics (Összefoglaló) 1967. p. 583—296.
- [5] *Jamaguchi—Susuki*: On the Structures of. Alkali Polyaluminates of. the Chem. Soc. of Japan. Bull. vol. [41]. 93—99 (1968).
- [6] *Bettman, M.—Peters, C. R.*: The Crystal Structure of  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MgO} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$  with Reference to  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 5\text{Al}_2\text{O}_3$  and Other Isotypal Compounds. Journal Phys. Chem. 73 (1969) 1774—1780.
- [7] *Dunca., I. H.—Creyke, W. E. C.*: The formation and Stability of  $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$  in  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  Ceramics. Transactions of the British Ceramics Society. 5 1969. pp. 137—144.
- [8] *Francis, T. L.—Phelps, F. E.—Mac Zura, G.*: Sintered Sodium Beta Alumina Ceramics, American Ceramic Soc. Bull. 7. 1971. p. 615—619.
- [9] *Mituo Harata*: Lattice Constants of non-stoichiometric Beta-Alumina. Mat. Res. Bull. Vol. 6. pp. 461—464, 1971.
- [10] *De Vries, R. C.—Roth, W. L.*: Critical Evaluation of the Literature Data on Beta-Alumina and Related. Journal Amer. Cer. Soc. 7. 1969. p. 364—369.
- [11] *Yung-Fang Yu Jao—JT. Kummer*: Ion exchange properties of. and rates of ionic diffusion in Beta-Alumina. J. inorg. nucl. Chem. 1967. 29. pp. 2453—2475.
- [12] *William D. Scott*: Fabrication of Bicrystals of Aluminium oxide Trans. Brit. Ceram. Soc. 1967 66 (7) p. 315—318.
- [13] *Francis, T. L.—G. Mac’Zura—Marhanka, I. E.—Parker, H. J.*: White Spots in 99%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Ceramics. Am. Cer. Soc. Bull. 1972. 5. 1, 6 pp. 535—538.
- [14] *Paul Conrad*: Battery Materials, Solid. Elektrolyte System 145, 146 1970. London (B-23477/10)
- [15] *Ryshkiewitch*: Oxide Ceramics. Acad. Press. New-York and London (1960).





FÉLVEZETŐ ELEMENK  
TECHNOLÓGIÁJA  
ÖNÁLLÓ OSZTÁLY



# 33.

## Erősáramú vezérelhető félvezető elemek technológiai és konstrukciós kérdései

*SALÁNKI TIBOR*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk részletesen elemzi különböző, erősáramú vezérelhető félvezető elemek konstrukciós és technológiai kérdéseit, elsősorban a nagy zárófeszültséget, a nagy feszültség- és árammeredekséget biztosító tirisztorszerkezeteket. Így többek között vizsgálja a különböző shorted emitteres és Querfeld emitteres kialakításokat és azok hatásait a tirisztorok egyéb paramétereire. Tárgyalja a speciális gate-átmenetekkel kialakított konstrukciókat és a két irányba vezérelhető tirisztorok technológiai kérdéseit.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ СИЛЬНОТОЧНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

*Т. Шаланки*

#### Резюме

В статье подробно рассматриваются конструкционные и технологические вопросы различных полупроводниковых управляемых приборов, в первую очередь, тиристоров, обеспечивающих высокое напряжение запираания, большую крутизну напряжения и тока. Так среди прочих рассматриваются различные исполнения с короткозамкнутым эмиттером и эмиттером поперечного поля и их влияние на прочие параметры тиристоров. Также рассматриваются конструкции, выполненные со специальными затворными переходами, технологические вопросы отпираемых и управляемых в двух направлениях тиристоров.

### FRAGEN VON TECHNOLOGIE UND KONSTRUKTION DER STEUERbaren HALBLEITERBAUELEMENTE FÜR DIE STARKSTROMTECHNIK

*T. Salánki*

#### Zusammenfassung

Der Aufsatz behandelt ausführlich die Fragen von Konstruktion und Technologie der verschiedenen steuerbaren Halbleiterbauelemente der Starkstromtechnik, in erster Linie die der Thyristoren, die eine hohe Sperrspannung, eine hohe Spannungsteilheit und eine hohe Stromteilheit sichern. Es werden unter anderem die verschiedenen Shorted-Emitter und Querfeld-Emitter-Ausführungen, sowie deren Einflüsse auf die übrigen Parameter der Thyristoren, ferner die mit speziellen Gate-Übergängen aufgebauten Konstruktionen und auch die technologischen Fragen der in zwei Richtungen steuerbaren Thyristoren diskutiert.

# TECHNOLOGICAL AND CONSTRUCTIONAL PROBLEMS OF CONTROLLABLE POWER SEMICONDUCTOR ELEMENTS

By T. Salánki

## Summary

Constructional and technological problems of controllable power semiconductor elements are dealt with in detail, especially thyristor designs ensuring high inverse voltages and steep voltage and current characteristics. Various shorted-emitter and quierfield emitter designs. Constructions with special gate junctions and the technological aspects of bidirectionally controllable thyristors are discussed.

## Bevezetés

Az elmúlt több mint két évtized alatt a félvezetőtechnika és ezen belül az erősáramú félvezetők technikája is hatalmas fejlődésen menet keresztül. A fejlődést részben magának a technológiai lehetőségeknek a fejlődése, részben az alkalmazott iparágak részéről jelentkező igények határozták meg. Ezek az igények kezdetben újabb és újabb félvezető eszközök kifejlesztését tették szükségessé, míg napjainkban a legtöbb esetben a félvezető elemek meghatározott paramétereinek értékét kell valamilyen adott tartományon belül biztosítani. Ez utóbbiból következik, hogy a technológia kialakításakor, egy-egy paraméterre különösen tekintettel kell lenni, ami egyben azt is jelenti, hogy ekkor a többi paraméter esetleg még az átlagos értéket sem éri el. Ez a folyamat az eszközök bizonyos fokú specializálódását eredményezi, pl. tirisztorok esetén beszélünk gyors és hálózati tirisztorokról stb.

## 1. Teljesítménydiódák

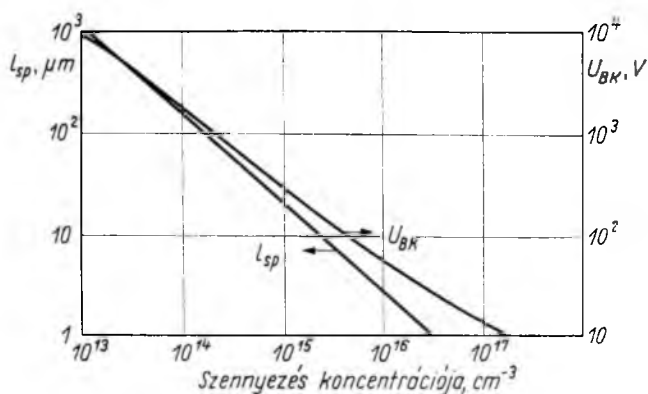
A teljesítménydiódákkal kapcsolatos kérdéseket csak röviden említjük, mintegy a többi téma előkészítéseként. Alapvető körülmény a teljesítmények növelése, amely két úton érhető el: egyrészt a feszültségek, másrészt az áramerősségek növelése révén. Ez utóbbi gyakorlatilag az átmenet méreteinek a növelésével, ill. ún. tárcsás konstrukcióval biztosítható, amelyet részletesebben a tirisztorokkal kapcsolatban tárgyalunk.

A zárófeszültség növelése, a teljesítmények fokozásától függetlenül is cél lehet, speciális, nagyfeszültségű, esetleg lavinakarakterisztikájú diódák létrehozásához. A teljesítménydiódák három legfontosabb paramétere: a záróirányú feszültség, a nyitóirányú feszültségesés és a feléledési idő. Mindhárom kölcsönösen ellentétben áll egymással, így pl. nagy zárófeszültség széles bázissal biztosítható, az pedig nagy nyitóirányú feszültséget eredményez, vagy gyors (kis feléledési idővel rendelkező) átmenethez kis élettartam szükséges az alapkristályban, s ez ugyancsak nagy nyitóirányú feszültségesést okoz [1].  $p^+n$  átmenet esetén a letörési feszültséget az alapkristály szennyezéskonzentrációja és a kiüritett réteg szélessége függvényében a 33-1. ábra alapján határozhatjuk meg [2], amelyet a következő képlet alapján rajzoltunk fel:

$$w = 3,64 \cdot 10^3 (U_{p+n}/N_D)^{1/2} \quad (1)$$

A  $p^+n$  átmenet lavina letörési feszültsége a következő képletből számítható:

$$U_{p+n} \approx \frac{1}{2} E_{\max} W \quad (2)$$



33-1. ábra. Az  $U_{BK}$  letörési feszültség és az  $l_{sp}$  szabad úthossz a szennyezéskonzentráció függvényében

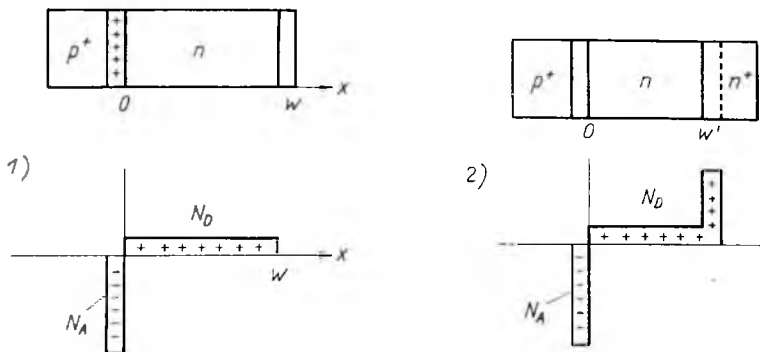
Míndezekből nyilvánvaló, hogy nagyobb zárófeszültség biztosításához növelni kell a bázisszélességet, ami a nyitóirányú feszültségesés növeléséhez vezet, ugyanakkor nő a dióda újraéledési ideje is. Jelentős mértékben lehet a nyitóirányú feszültségesés értékét csökkenteni  $p^+n$   $n^+$  struktúrával. A kiürített rétegek helyzetét az előbbi, ill. ez utóbbi esetre a 32-2. ábrán láthatjuk. A  $p^+n$   $n^+$  struktúra esetén a lavina letörés feszültség értéke a következő képletből számolható:

$$U_{p^+nn^+} = E_{max} \left[ w' - \frac{1}{2} \left( \frac{w'}{w} \right)^2 \right] \quad (3)$$

A (2) és (3) egyenletek hányadosa

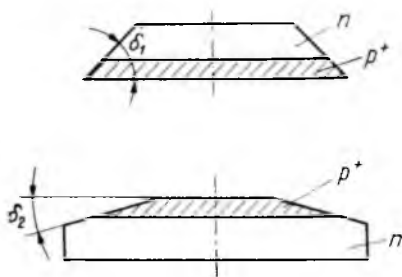
$$\frac{U_{p^+n}}{U_{p^+nn^+}} = \frac{w(2-w/w')}{w'}$$

mivel  $w \ll w'$ , az egyenlet alapján egyértelműen belátható, hogy azonos térerősség esetén  $p^+n$   $n^+$  struktúrával nagyobb zárófeszültség érhető el, a nyitóirányú feszültségesés egyidejű csökkentése mellett.



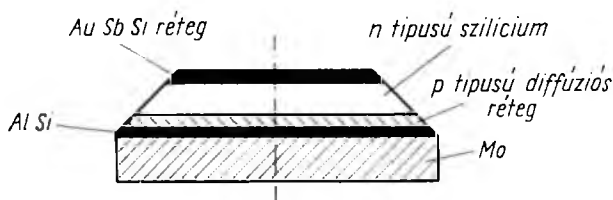
33-2. ábra. A kiürített rétegek helyzete  $p^+n$  és  $p^+nn^+$  átmenet esetén

33-3. ábra. Pozitív és negatív szögben csiszolt pn átmenet



Az előzőkben megadott letörési feszültségek a szilíciumlemez belsejére vonatkoznak. Az átmenet felületén a felületi hatások következtében, jóval alacsonyabb letörési feszültségek érhetőek el. Ha a pn átmenet a szilíciumlemez teljes keresztmetszetére kiterjed, akkor a lemez peremének lecsiszolásával

biztosítani lehet, hogy a felületen a térerősség kisebb legyen, mint a tömb belsejében, s ebben az esetben tömletörés áll elő. A felületi térerősség nagysága, adott feszültség esetén a csiszolási szög függvénye. Különbséget kell tennünk aszerint, hogy a  $p^+$  réteg az  $n$  réteghez képest alul vagy felül helyezkedik el, azaz a csiszolási szög az  $n$  réteghez képest, pozitív vagy negatív. Ez utóbbi esetében már  $\delta_1 < 30^\circ$ -kal is biztosítani lehet a felületi térerősség kellő csökkenését, viszont pozitív szög esetén, 2 kV körüli zárófeszültséghez  $\delta_2 < 4^\circ$  szükséges (l. 33-3. ábra) [3]. Az így kialakított diódáknak lavinakarakterisztikájuk van, azaz meredek letöréssel, ún. tömletöréssel rendelkeznek.



33-4. ábra. DSA 25 típusú dióda átmenetének keresztmetszete

Az előbbieken elmondott szempontok figyelembevételével alakítottuk ki a DSA 25 típusú diódák konstrukcióját. A 80  $\Omega$ cm fajlagos ellenállású  $n$ -típusú alap-kristályban galliumdiffúzióval hozzuk létre a 60  $\mu$  mély  $p^+$  réteget, míg a kb. 20  $\mu$  mélységű  $n^+$  réteget ötvözással állítjuk elő és az átmenet peremét  $15^\circ$ -ra csiszoljuk meg. Az átmenetek keresztmetszete a 33-4. ábrán látható. A diódák zárófeszültsége eléri a 2,4 kV-ot, ugyanakkor a nyitóirányú feszültségesés max. értéke 1,3 V.

## 2. Teljesítménytirisztorok

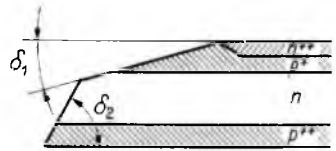
A teljesítmények fokozására irányuló törekvések, a tirisztorokkal kapcsolatban, különböző kompromisszumokhoz vezetnek, amelyeket adott esetben igen nehéz kialakítani, miután a tirisztor szinte valamennyi paramétere szorosan kapcsolódik egymáshoz. Így pl. elméletileg nem egyeztethetők össze a következő feltételek:

- kis nyitóirányú watt-vesztés, vagy rövid nyitási idő és nagy zárófeszültség,
- nagy  $dI/dt$  és nagy  $dU/dt$  érték stb.

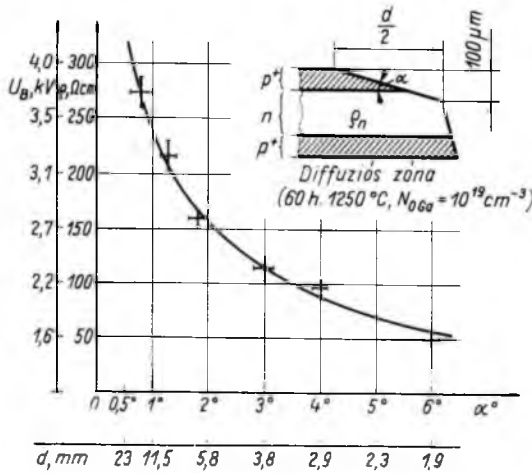
A különböző paraméterek kihangsúlyozott biztosítása céljából más-más konstrukciókat, ill. ennek megfelelően, különböző technológiákat alkalmaznak.

## 2.1 A zárófeszültség

A nagy zárófeszültség biztosításához széles bázisra van szükség, a dióddával kapcsolatban elmondottakhoz hasonlóan. Ugyanakkor a felületi térerősség csökkentéséhez egy csiszolat már nem elégséges; külön csiszolatot kell készíteni a katódoldali zárórétegnél (l. 33-5. ábra). Ez utóbbi esetében a csiszolat szöge igen kicsi kell, hogy legyen ahhoz, hogy zárófeszültség szempontjából szimmetrikus tirisztort tudjunk létrehozni.  $\delta_1 < 30^\circ$  elégséges 2 kV letörési feszültség biztosításához,  $\delta_2$  értékének ezzel szemben  $4^\circ$ -nál kisebbnek kell lennie. Ez viszont azt jelenti, hogy a lemez széléneg egy tekintélyes része, áramvezetés szempontjából kihasználatlanul marad. A viszonyokat a 33-6. ábrán láthatjuk [4].



33-5. ábra. Pozitív és negatív csiszolatú pnpn átmenet.

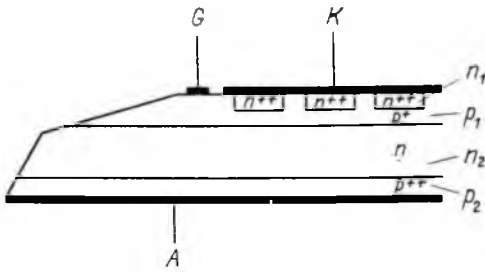


33-6. ábra. A letörési feszültség a csiszolási szög függvényében

## 2.2 A feszültségmeredekség ( $dU/dt$ )

A nyitóirányú zárófeszültség kérdése szorosan összefügg a tirisztor által elviselt feszültségmeredekséggel. A megengedhető feszültségmeredekség elsősorban az átmenet emitteroldali kapacitív áramától függ. Ez az áram úgy viselkedik, mint egy vezérlőáram, amely a bekapcsolt tirisztor emitterátmenetén halad át. Az a tirisztor nagy  $dU/dt$  értékkel rendelkezik, amely érzéketlen az átmeneti kapacitív áramra, azaz a kis vezérlőáramokra. Ez ugyanakkor azt is jelenti, hogy a vezérlőkörben nagy a disszipáció, ami viszont csökkenti a megengedhető teljesítményt.

A kapacitív áramok hatásának csökkentése az ún. shorted emitteres szerkezettel lehetséges. Ez azt jelenti, hogy az emitter egyes területei rövidre vannak zárva, azaz az emitter és a vezérlőelektróda között  $n_1p_1$  átmenet (l. 33-7. ábra) részben rövidre van zárva. Hogy a nagy  $dU/dt$  mellett még maradjon kellő vezérlési érzékenység is, és hogy kicsi legyen a belső disszipáció, azt ún. elosztott rövidzárral biztosíthatjuk. A rövidzár elvezeti a kapacitív áram nagy részét, amely egyébként az emitterátmeneten



33-7. ábra. Shorted emitterrel ellátott pnpn szerkezet

folyva keresztül és begyűjtaná az elemet. Az áram oldalúját ugyanakkor rövidegre kell zárni, mert ellenkező esetben akkora feszültség lépne fel ezen az úton, ami felülmúlná a nyitóirányú emitterátmenet feszültségét. E szerkezet előnyei röviden a következők:

- nagymértékben javul a tirisztor nyitóirányú zárófeszültsége, még nagyobb hőmérsékleti tartományban is (a  $T_{pn} = 150\text{ °C}$ -ot is elérhet), ami a tirisztor teljesítményét is növeli;
- kedvezőbbé válik a  $dU/dt$  megengedhető határértéke is, miután a káros (kapacitív) vezérlőáram, amelynek értéke:  $i = c \frac{dU}{dt}$  elvezetődik,
- végül lecsökken a tirisztor  $t_g$  nyitási ideje, mivel a tárolt töltések egyrésze, a nyitóirányú vezetés alatt, a rövidzárakon keresztül elvezetődik.

A sok előny mellett azonban hátrányok is jelentkeznek. Azt már említettük, hogy a rövidzárt tartományok következtében csökken a tirisztor érzékenysége a vezérlőáramokkal szemben, és így nagyobb vezérlőteljesítményre van szükség. A másik és egyben jelentősebb hátrány, hogy a rövidzárt felületek csökkentik az emitter felületét, következésképpen nő az áramsűrűség és ezzel nő a nyitóirányú feszülteségés is. A rövidzárak kialakításával kapcsolatban, azaz nagyságuk, számuk, elhelyezkedésük vonatkozásában kísérleti úton kell az optimális megoldást meghatározni, miután hatásukat a tirisztor egyéb paraméterei (pl. szennyezéskonzentrációk, élettartamok stb.) is befolyásolják [5].

A technológia szempontjából a következő lehetőségekkel számolhatunk. Amennyiben a pnpn szerkezetet kizárólag diffúziós úton állítjuk elő, a rövidzárak létrehozásához önként adódik a planár technológia. (A tisztán diffúziós vagy diffúziós és ötvözéses technológiák előnyeit nem kívánjuk taglalni, azzal az irodalom részletesen foglalkozik [6]). Ez azt jelenti, hogy az  $n_1$  réteg diffúziója előtt megfelelő vastagságú (min.  $1\ \mu\text{m}$ ) szilíciumdioxid réteget kell növesztenünk a szilíciumlapkára, majd fotolitográfiai eljárással a tervezett rövidzárak körüli területről eltávolítva az  $\text{SiO}_2$  réteget meggátoljuk a diffúziót a rövidzárak helyén. Végül a teljes felületet pl. nikkel galvánréteggel borítva, létrehozhatók az oldalirányú rövidzárak. Nehezebb a helyzet, ha az  $n_1$  réteget ötvözéssel kívánjuk létrehozni. Ebben az esetben az  $n_1$  réteg rendszerint antimón tartalmú aranyfólia beötvözésével áll elő. A rövidzárak létrehozásának szokásos módja, hogy a fólián kör alakú lyukakat készítenek ( $0,3 \dots 0,5\ \text{mm}$  és kb.  $200 \dots 300\ \text{db/cm}^2$ ) s így a lyukak helyén a negyedik réteg nem jön létre. Ezután az oldalirányú rövidzárak, pl. párologtatott aranyréteggel biztosíthatók.

Az Intézetben kifejlesztett  $50 \dots 100$  és  $200\ \text{A}$  határáramú  $1600\ \text{V}$  periodikus csúcsfeszültségű tirisztorok technológiájának kidolgozásához új, shorted emitteres eljárást fejlesztettünk ki. Az eljárás lényege az, hogy az antimontartalmú aranyfólia ötvözése előtt a rövidzárak helyére, a szilícium felületére olyan fémot viszünk fel, amely az aranyfólia ötvözési hőmérsékletéig ( $360 \dots 500\ \text{°C}$ ) nem képez eutektikus összetételt, a szilíciummal, ill. az arannyal. Ez a fém Ni, Ag vagy Cu lehet. Az eljárás



előnye, hogy tetszés szerinti elrendezésű rövidzárok hozhatók létre. Az SiAu eutektikum az oldalirányú rövidzárokat is biztosítja, ugyanakkor nem igényel különösebb szerszámot. (Az aranyfólia fentiekben említett lyukasztása csak igen költséges szerzővel valószínűsíthető meg.)

### 2.3 Az áramterhelhetőség növelése

A teljesítmények fokozása a zárófeszültség növelésén túlmenően az áramterhelhetőség emelését is előtérbe állította. Kezdetben ezt az átmenetek méretének növelésével biztosították, ezzel bizonyos mértékig ellensúlyozták a nagy zárófeszültség miatt szükséges széles bázis okozta, nagy nyitóirányú feszültségeseget, azonban részben a nagy felületű struktúrák inhomogenitása, részben a hődilatációk okozta belső, mechanikai feszültségek határt szabtak a méretek növelésének. Ez a tény, valamint sok más előny is (pl. a különböző forrasztások kifáradása, hőmérséklet okozta mechanikai feszültségek stb.) elvezetett az ún. nyomott kontaktusok, ill. tárcsás konstrukciók kialakításához. A nyomott kontaktusok előnyeivel számos közlemény foglalkozik [7], [8], [9]. Az áramterhelhetőség növelése szempontjából elsősorban a tárcsás kivitel kívánjuk kiemelni, ami lényegében azt jelenti, hogy az átmenet bázis-tönk nélküli, tárcsa alakú kerámia tokba kerül lezárásra, amelynek két szemben levő felületére (tirisztor esetén az anód- és katódfelületre) illeszkednek a hűtőtöncök megfelelően kialakított felületei, és a tárcsatok a hűtőtöncök összehúzója révén rögzítődik. A kétoldali hűtőtönc ugyanazon átmenet esetében kb. 60%-al növelheti az átmenet terhelhetőségét. Ma már szinte valamennyi teljesítményfelvevőket előállító cég rendelkezik tárcsa típusú tirisztorokkal és diódákkal, amelyek széles körben alkalmaznak, pl. a nagyvasúti vontatásban.

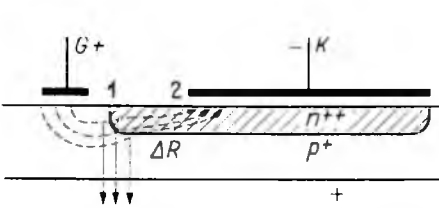
### 2.4 Az árammeredekség ( $dI/dt$ )

A feszültségmeredekséghez hasonlóan, a felhasználók részéről újabb követelményként jelentkezett a nagy árammeredekség biztosítása [10] elsősorban a gyors tirisztorok vonatkozásában.

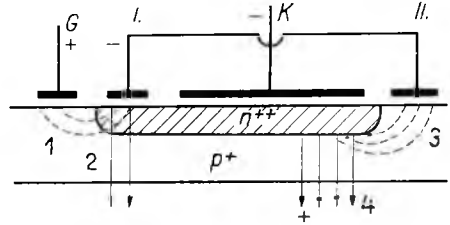
A tirisztorok gyújtását a gyújtóimpulzus váltja ki és a gyújtást kezdetben egy kis területre terjed csak ki. A  $dI/dt$  értéke éppen ezért korlátozott, mert a kis területen átfolyó esetleges nagy áram a területet túlmelegítheti és a tirisztor tönkretelheti. Általában  $50 \mu\text{m}/\mu\text{s}$  terjedési sebességgel lehet számolni a töltéshordozók vonatkozásában, ugyanakkor gyors teljesítménytirisztorok üzemében  $100 \mu\text{s}$  nagyságú impulzusok fordulnak elő, s így a tirisztorok túlterhelődése könnyen bekövetkezhet. Itt kell megjegyeznünk, hogy az emittorrövidzárok rontják a  $dI/dt$  értékét, mivel gátolják a töltéshordozók szétterjedését. Ugyanakkor az  $fs$  rögzíthető, hogy nagy zárófeszültség és magas  $dI/dt$  érték egyszerre nem biztosítható, miután az előbbiekhöz széles bázis szükséges, és ez ismét gátolja a töltéshordozók szétterjedését.

A nagy árammeredekség különböző konstrukciókkal biztosítható. Ezek közül elsőként a Querfeld emitteres [11] vagy keresztmezős vezérlőelektródás kialakítást kell megemlítenünk. Az átmenet szerkezete a 33-8. ábrán látható. Lényege az, hogy az  $n_1$  emitterréteg csak részben van ellátva ohmos kontaktussal. A gyújtási mechanizmus a következő: a gyújtóimpulzus hatására először az 1 pont környezetében gyűjt be a tirisztor, de az 1 és 2 pontok közötti  $R$  ellenállás következtében a nyitóirányú áram kezdetben korlátozódik. Ugyanakkor az 1 és 2 pont között létrejövő

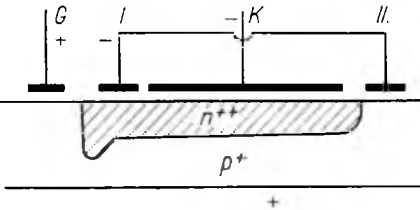
feszültségés a  $p_2$  bázisban drift-teret hoz létre, amely az  $n_1$  rétegen keresztülfolyó lyukáramot indít az 1 és 2 pontok közötti tartományban. A lyukáram hatására az emitter fokozottan injektál elektronokat a  $p_1$  bázisba és ezáltal elősegíti a töltéshordozók szétterjedését. A Querfeld emitter hatása tehát először az áram korlátozásában, majd a töltéshordozók fokozott szétterjedésének elősegítésében jelentkezik, végül eredményben nagyobb  $di/dt$  érték megengedését teszi lehetővé.



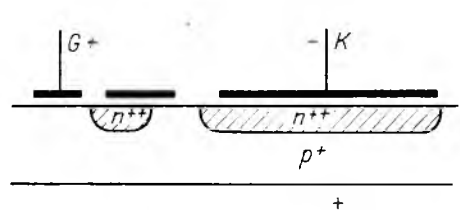
33-8. ábra. Querfeld emitteres pnpn szerkezet



33-9. ábra. Erősítő gate-tel ellátott pnpn szerkezet



33-10. ábra. Regeneratív gate-tel ellátott pnpn szerkezet



33-11. ábra. Mélyített emitterrel rendelkező regeneratív gate

A másik megoldás az ún. erősítő vezérlőelektróda. Az átmenet keresztmetszetét a 33-9. ábrán mutatjuk be, amelynek alapján látható, hogy a vezérlőelektródát egy másik, a fő tirisztor katódfelületénél jóval kisebb, független katódréteg veszi körül, amely mintegy második segéd-tirisztor hoz létre az átmenet szerkezetében. A gyújtóimpulzus hatására így először a segéd-tirisztor gyűjt be, majd ennek árama gyűjtja a fő tirisztorra. A segéd-tirisztor mintegy felerősíti a gyújtóimpulzust a fő tirisztor számára. Az átmenet által elviselhető árammeredekség ezáltal nagymértékben megnő, egyrészt azért, mert a segéd-tirisztorban a teljesítmény korlátozott, mivel a fő tirisztor gyorsan átveszi az áramvezetés szerepét, másrészt az erősítés következtében a gyújtóimpulzus erős hatást fejt ki a fő tirisztorra.

További megoldás az ún. regeneratív gate esete, amely a 33-10. ábrán látható. A gyújtás mechanizmusa a számok sorrendjében történik. Az I gyújtóimpulzus hatására először az elkülönített I katódkontaktus alatti 2 szakasz gyűjt be, majd ezáltal a II báziskontaktus a katódhoz képest pozitív potenciálra kerül és így megindul a 3 lyukáram az emitter felé, aminek következtében a katód külső területén is begyűjt a tirisztor, s kialakul a 4 nyitóirányú áram. Az I elkülönített katódkontaktus alatti szakasz biztosabb begyűjtása az ún. mélyített emitterrel rendelkező regeneratív gate-tel segíthető elő. Ilyen szerkezet látható a 33-11. ábrán.

Míndezek a megoldások csak teljes diffúzióval előállított átmenetek esetében valósíthatók meg, amelynél kihasználva az  $\text{SiO}_2$  rétegnek a diffúziókkal szembeni maszkírozó hatását, fotolitográfiával a különböző struktúrák könnyen előállíthatók. Itt jegyezzük meg, hogy a tirisztorok kapcsolási idejét az  $n_2$  bázisszélesség és e bázisra

jellemző élettartamérték határozza meg. Ez utóbbit szokás a technológia során azáltal befolyásolni, hogy az  $n_2$  bázisba aranyat diffundáltatnak, ami nagymértékben csökkenti a kisebbségi töltéshordozók élettartamát, miután növeli a rekombinációs centrumok számát.

## 2.5 Az optimális teljesítmény

Az előzőekben ismertettük a különböző tirisztorkonstrukciókat és adott technológiai problémákat, amelynek során rögzítettük, hogy olyan tirisztort nem lehet készíteni, amelynek minden paramétere maximális értéket szolgáltatna. Ezt a következő számíttással kívánjuk alátámasztani, amely a maximális teljesítményre és annak az élkontúrral való összefüggésére vonatkozik. A tirisztor letörési feltételét a következő egyenlet írja le:

$$\left(\frac{U}{U_L}\right)^n = \frac{1}{2} \left(\frac{w_n - x_n}{L_p}\right)^2 \quad (4)$$

ahol  $U$  a tirisztor letörési feszültsége;  
 $U_L$  a tirisztor lavina-(letörési) feszültsége;  
 $w_n$  a bázis szélessége;  
 $x_n$  az  $n_2$  átmenet kiürített rétegének szélessége;  
 $L_p$  a lyukak diffúziós hossza az  $n_2$  bázisban.

Ezt az egyenletet azzal a feltételezéssel írtuk fel, hogy a katódátmenet injektálási határfoka 1 és, hogy  $w_n - x_n \ll L_p$ .

A kiürített réteg szélessége és lavina-feszültség a bázis fajlagos ellenállásával a következőképpen fejezhető ki:

$$x_n = A(\rho_n U)^{1/2} \quad (5)$$

$$U_L = B\rho_n^{3/4} \quad (6)$$

ahol  $A$  és  $B$  konstansok.

Az előzőekben említettük, hogy a zárófeszültség növeléséhez széles bázisra van szükség, amelyet nagy  $L_p$ -vel ellensúlyozhatunk. Az optimalizáláshoz feltételezzük, hogy

$$L_p = Cw_n, \quad (7)$$

ahol  $C$  arányossági tényező.

Az (5), (6) és (7) egyenleteket a (4) egyenletbe helyettesítve a következő kifejezést nyerjük:

$$w_n = A(\rho_n U)^{1/2} + \sqrt{2} Cw_n B^{-n/2} U^{n/2} n^{-3n/8},$$

$w_n$  minimális értékének meghatározása céljából az egyenletet  $\rho_n$  szerint differenciálva, majd a konstansokat összevonva a következőket kapjuk:

$$w_{n \min} = KU^{7/6},$$

ahol  $K$  az összevont konstansok megfelelője, azaz  $w_n$ -t arányosan kell növelni a feszültség  $7/6$  hatványával. Ha feltételezzük — és ezt jogosan tesszük — hogy a nyitóirányú feszültségesés arányos az effektív bázis-szélességgel és az áramsűrűséggel, akkor adott nyitóirányú wattvesztesség esetén a megengedhető áramsűrűség  $w^{-1/2}$ -nel arányos. Figyelembe véve az előző összefüggést,

a tirisztor teljesítménysűrűsége  $U^{5/12}$ -nel lesz arányos. Ezután még számításba kell vennünk a lemez területének a perem kialakítása miatt bekövetkező veszteségét. Legyen a szilícium átmérője  $D$  és a katód átmérőjének vesztesége a csiszolás következtében  $w$ -vel arányos (l. 33-6. ábra), akkor a tirisztor teljesítménye a következő:

$$P = zU^{5/12}(D - aU^{7m/6})^2,$$

ahol  $Z$  és  $a$  konstansok.

A kifejezést  $U$  szerint differenciálva, a konstansokat összevonva és az egyenletet átrendezve,  $U_{opt}$  értékére, a következőt kapjuk:

$$U_{opt} = \left(\frac{D}{z}\right)^{6/17m}$$

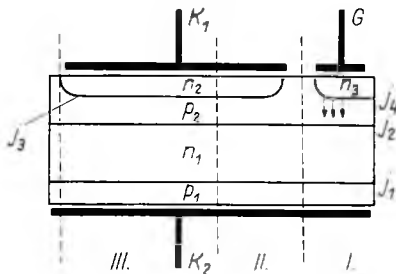
Arra az eredményre jutottunk, hogy maximális teljesítmény átalakításhoz tartozó optimális zárófeszültség a szilícium átmérőjével nő és az  $m$  tényezővel csökken, azaz a kontúr kialakításának döntő jelentősége van.

### 3. Triac

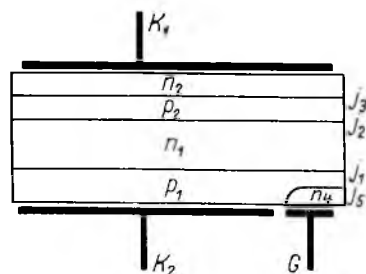
A triac egy olyan félvezető váltakozó áramú kapcsoló, amely két antiparalel kapcsolt tirisztorral tud helyettesíteni, azaz a vezetés mindkét irányban lehetséges. A jelleggörbéje is e két tirisztor jelleggörbéjének összetevéséből adódik. A triac konstrukciójának jobb megértéséhez vissza kell térnünk a tirisztorhoz, ill. annak két speciális kialakításához.

Az egyik különleges megoldás az ún. junction gate esete, amikor a vezérlő-elektroda nem ohmos kontaktus, mint a normál tirisztor esetén, hanem maga is átmenetet képez a katódoldali  $p_2$  bázissal. Az átmenet keresztmetszetét a 33-12. ábra mutatja. Az ábrán  $K_1$ -gyel a katódot,  $K_2$ -vel az anódot jelöltük. Amikor az eszköz záróirányba van kapcsolva, azaz  $K_2$  kivezető pozitív potenciálra van  $K_1$ -hez képest a  $j_1$  és  $j_2$  átmenetek nyitott állapotban, a  $j_2$  átmenet pedig zárt állapotban van. Ha a vezérlőelektroda  $K_1$ -hez képest negatívvá válik, a  $j_4$  átmenet nyitóirányú előfeszítést kap, az  $n_3$  réteg elektronokat injektál, aminek következtében a  $j_2$  átmenet polaritása megváltozik és a  $p_1n_1p_2n_3$  tirisztor azaz az eszköz  $I$  szakasza begyűjt, s ezt követően begyűjt a  $II$  szakasz, azaz a  $p_1n_1p_2n_2$  tirisztor is.

A másik eset a remote gate-tel ellátott pnpn struktúra, amelynek metszete a 33-13. ábrán látható. Ebből kiténik, hogy a  $p_1$  rétegben egy további  $n_4$  réteg van kialakítva, amely vezérlőelektroda szerepét tölti be. Ha az  $n_4$  réteg negatív potenciálra



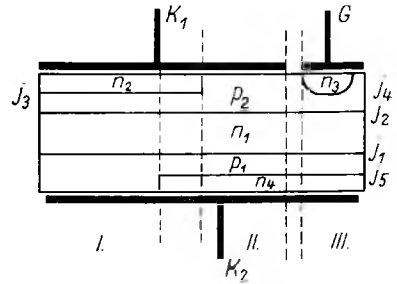
33-12. ábra. Junction gate-tel ellátott pnpn szerkezet



33-13. ábra. Remote gate-tel ellátott pnpn szerkezet

kerül, a  $j_3$  átmenet nyitóirányú előfeszítést kap, így az  $n_4$  réteg elektronokat injektál a  $p_1$  rétegbe, amelyek a  $j_1$  átmenet közelében gyűlnek össze. Amikor ennek hatására a  $j_1$  átmenet átpolarizálódik, begyűjt a  $p_1n_1p_2n_2$  tirisztor.

A triac az előzőekben bemutatott két eszköz egyesítésével jön létre, ahogy azt a 33-14. ábra is mutatja. Az ábrán látható  $n_3$  réteg a junction gate, az  $n_4$  réteg pedig a remote gate szerepét tölti be.  $K_1$  és  $K_2$  a nagyáramú ohmos kontaktusok,  $G$  az egyetlen vezérlőelektróda, amellyel mindkét irányú vezetés szabályozható  $U_{12}$  pozitív vagy negatív értéke mellett mind a négy működési negyedben ( $U_{12}$  a  $K_1$  és  $K_2$  pontok közötti feszültség). A triac négyféle működési módja a következő:



33-14. ábra. Triac szerkezete

- Ha  $U_{12}$  pozitív és a vezérlőelektróda is pozitív, ez utóbbi fémkontaktusa miatt ( $a$  tartomány) úgy hat a  $I$  területre, mint egy normál tirisztor vezérlőelektródája és begyűjtja azt.
- Ha  $U_{12}$  negatív, de a vezérlőelektróda pozitív, akkor az  $n_2$  réteg remote gate-ként hat a  $III$  szakaszra, az  $n_3$  réteg pedig junction gate-ként a  $II$  szakaszra.
- Ha  $U_{12}$  pozitív, de a vezérlőelektróda negatív, akkor a vezérlőelektróda junction gate-ként ( $b$  tartomány) funkcionál az  $I$  szakasz vonatkozásában.
- Végül ha az  $U_{12}$  negatív és a vezérlőelektróda is negatív, ez utóbbi remote gate-ként működik a  $II$  szakasz vonatkozásában.

Az alkalmazás szempontjából a triac konstrukcióját és annak alapján a technológiáját úgy kell felépíteni, ill. kialakítani, hogy a jelleggörbék valóban szimmetrikusak legyenek mind záró, mind nyitóirány tekintetében. Ezt a követelményt igen nehéz kielégíteni, éppen ezért napjainkban a triacok áramerőssége gyakorlatilag csak 10 A-ig terjed, s a maximális zárófeszültség 600 V. A triac dinamikus tulajdonságai sem túlzottan jók, így a  $dU/dt$  értéke általában mindössze 20 V/ $\mu$ s.

\*

Összefoglalva elmondható — amit a bevezetőben már említettünk — hogy a különböző vezérelhető egyenirányító eszközök kialakítása során számos kompromisszumra van szükség. Úgy érezzük, hogy a bemutatott példák ezt megfelelően bizonyították. Kísérleteink és eredményeink alapján azt a tanulságot vontuk le, hogy bár valamennyi típus működése és főbb paraméterei egyenletekkel jól leírhatók, mégis egy-egy típus konkrét konstrukciójának és technológiájának kidolgozása igen sok kísérletet igényel.

## Irodalom

- [1] *Seok Cheow Choo*: Effect of Carrier Lifetime on the Forward Characteristics of High-Power Devices. IEEE Transactions on Electron Devices, Sept. (1970).
- [2] *YU C. Kao*: The Design of High-Voltage High-Power Silicon Junction Rectifiers. IEEE Transactions on Electron Devices, Sept. (1970).
- [3] *Davies, R. L.—Gentry, F. E.*: Control of Electric at the Surface of P-N Junctions. IEEE Transactions on Electron Devices, July.
- [4] *Kohl, G.*: A mesa-like edge contour for Si high voltage thyristors. Solid-State Electronics (1968) Vol. 11. p. 501—502.

- [5] *Chu, Chang K.*: Tirisztor Katód Shuntok Geometriája. IEEE Transactions on Electron Devices, Sep , (1970).
- [6] *Mercier, B.*: Évolution de la technologie des thyristors de puissance. Revue Générale de l'Électricité. (1971) Vol. **80**, p. 496—502.
- [7] *Emeis, R.—Geyer, K. H.*: Nyomott kötésű és tárcsatípusú szilícium egyenirányítók és tirisztorok. IEE Conf. Publ. No. 53. Part 1.
- [8] *Ginsbach, K.*: Über Datenkombinationen bei Grossen Scheibenthystoren. Techn. Mitteilungen AEG Telefunken 60. (1970) 2.
- [9] *Keller, R.*: BSt N15 ein neuer Scheibenthystor mit Kühleinrichtung (Thyblock). Siemens Bauteile Inf. **9**. (1971) 3.
- [10] *Shigeru Ikeda—Tsuneo Araki*: The di/dt Capability of Thyristors. Proceedings of the IEEE, Vol. 55. No **8**. August (1967).
- [11] *Gerlach, W.*: Thyristor mit Quersfeld-Emitter. Zeitschrift für angewandte Physik. XIX. Band Heft 5. (1965).

A VKI  
MUNKATÁRSAINAK  
25 ÉVES PUBLIKÁCIÓS  
ÉS EGYÉB  
TEVÉKENYSÉGE





A VKI 25 éves fennállása alkalmából áttekintést kívánunk adni az Intézet dolgozóinak publikációs tevékenységéről, előadásairól, szabadalmairól, kiténtetéseiről, akadémiai és egyetemi tudományos fokozatairól.

Az összeállítás csak azokat az adatokat tartalmazza, amelyek az Intézetben végzett munkával függenek össze, nem ismerteti munkatársainknak az Intézetbe kerülésük előtt kifejtett tevékenységét.

Az adatokat a nevek alfabetikus sorrendje szerint rendeztük. Kivétel a szabadalmak felsorolása, ahol általában társszerzők is szerepelnek, ezért itt időrendben, évek szerint soroltuk fel a tételeket.

Egy negyedszázad alatt sokan megfordultak az Intézetben, számos volt munka társunk már nincs is az élők sorában, ezért az összeállításban biztosan hiányok is vannak. Mégis úgy véljük, hogy ezek az adatok jól kiegészítik az Intézet és az egyes főosztályok tevékenységét összefoglaló írásokat.

## Publikációk, előadások, szabadalmak

### Magyar nyelvű publikációk

*Ballók Imre—Nemeskéry Géza:* Tirisztoros egyenáramú szabályozott hajtás. VKI Közleményei 3 (1969), 195...208. old.

*Ballók Imre—Weiner György:* Analóg modellezés a hajtásszabályozások területén. VKI Közleményei 4 (1972), 131...144. old.

*Balogh István—Denk Rezső:* Elektrodinamik us alakítás elméleti kérdései és gyakorlati alkalmazásai. Szemináriumi jegyzet részletek. 1971.

*Bencze János:* Szünetmentes áramforrások frekvencia- és töltésszabályozása. VKI Közleményei 1 (1966), 135...149. old.

*Bencze János—Horváth Zoltán—Mlinkó Tamás:* Elektronikai kiállítás Koppenhágában. Automatizálás 3 (1970), 59...62. old.

*Berend Ervint—Boér Jenő—Böjthe László—dr. Vitélyos László:* Újrendszerű elektronikus—hidraulikus ívkemenceszabályozó. VKI Közleményei 3 (1969), 187...193. old.

*Bóday Ottó:* Érintkezők visszapattanása. VKI Közleményei 3 (1969), 391...407. old.

*Bóday Ottó:* A visszapattanás megszüntetésének módozatai kisfeszültségű kontaktoroknál. Villamosság 17 (1969), 344...347. old.

*Bogoly István:* Túlvezültségvédelmi célokra szolgáló, szilíciumkarbid alapanyagú ellenállások és azok gyártásával kapcsolatos kérdések. Mérnök Továbbképző Intézet, 1958.

*Bogoly István:* Nemlineáris ellenállások túlvezültségvezetőkhöz. Elektrotechnika 54 (1961).

*Bogoly István:* Túlvezültségvezetők védelmi jellemzőinek néhány kérdése. Elektrotechnika 57 (1964), 525...531. old.

*Bogoly István:* A szilíciumkarbid felületi viszonyai és változásainak kihatása a villamos tulajdonságokra. VKI Közleményei 1 (1966), 229...235. old.

*Bogoly István:* Szilíciumkarbid nemlineáris ellenállások kötőanyagának aktiválása és a szemecseérintkezési helyek módosítása fémredukció útján. Elektrotechnika 62 (1969), 204. old.

*Dr. Bogoly István:* A levezetőellenállás nemlineáris vezetőképessége és négyszöghullámállósága közötti kapcsolat vizsgálata. Elektrotechnika 63 (1970), 113. old.

*Dr. Bogoly István:* Szilíciumkarbid nemlineáris ellenállásokon nagyáramú impulzusok hatására fellépő igénybevételek vizsgálata és az ebből levonható következtetések az anyagszerkezet kialakítására vonatkozóan. Kandidátusi disszertáció. MTA 1968.

- Bolner Endre*: Műanyagok ipari alkalmazása. Műszaki Könyvkiadó, 1952.
- Bolner Endre*: Szigetelőlakkok ismerete és vizsgálata. Mérnök Továbbképző Intézet, 1953.
- Bolner Endre—Borsos Károly—Dénes Károly—Kardos György*: Újtípusú nagyfrekvenciás kábel szerkezet kialakítása. Magyar Híradástechnika **9** (1958), 77...82. old.
- Bohuss Aurél—Ivanschky Béla*: Időosztásos négy-negyedes szorzóáramkör. VKI Közleményei **4** (1973), 81...112. old.
- Csaba Béla*: Váltakozóáramú generátoros vonatvilágítási rendszer. VKI Közleményei **1** (1966), 151...158. old.
- Csaba Béla—Rády Zoltán—dr. Vitályos László*: Túlfeszültségek váltakozóáramú generátorral táplált vonatvilágítási áramkörökben. VKI Közleményei **2** (1967), 81...93. old.
- Csáthy Károly*: Villamos készülékek nagyteljesítményű vizsgálatai az intézet zárlati laboratóriumában. VKI Közleményei **2** (1967), 203...214. old.
- Csáthy Károly—dr. Selmeczi Vilmos*: Zárlati vizsgálatok egyenárammal. VKI Közleményei **3** (1969), 361...377. old.
- Csáthy Károly—Luspay Ödön*: Rövid ideig tartó nem-szinuszos áramok effektív értékének mérése. VKI Közleményei **4** (1973), 259...270. old.
- Csáthy Károly*: Egyenáramú készülékek zárlati vizsgálatai. Műszaki Egyetemi doktori disszertáció, BME, 1973.
- Csörsz Elek*: A magnetohidrodinamikusan energiaátalakítás alapjelenségeiről. VKI Közleményei **1** (1966), 301...316. old.
- Dávid Péter—Kovács Gyuláné*: Műanyag alapú lakkok alumíniumtartalmának meghatározása szinképelemzéssel. Magyar Kémikusok Lapja **67** (1961), 297...298. old.
- Dávid Péter—Liptay György*: Villamos szigetelőanyagok és szigetelések hőbomlásának derivatográfiai vizsgálata. Elektrotechnika **57** (1964), 392. old.
- Dávid Péter*: Termikus analízis alkalmazása villamos szigetelőanyagok és szigetelések vizsgálatára. Elektrotechnika **57** (1964), 570...580. old.
- Dávid Péter—Jancsó István*: Keresztfonási eljárás MKM Műszaki Közleményei **1** (1964), 21...48. old.
- Dávid Péter*: Villamosüzemű vasúti fűtőtestek vizsgálata. VKI Közleményei **1** (1966), 45...58. old.
- Dávid Péter—Németh Mihály*: Villamosüzemű vasúti fűtőtestek vizsgálata és fejlesztése. VKI Közleményei **2** (1967), 17...32. old.
- Dávid Péter*: Villamos szigetelőanyagok termikus és kisüléskémiai öregedésének vizsgálata. VKI Közleményei **2** (1967), 33...40. old.
- Dávid Péter*: Termoanalitikai módszerek és szigetelések öregedésének vizsgálatára. VKI Közleményei **3** (1969), 55...76. old.
- Dávid Péter*: Szigetelőanyagok villamos térben. MKM Műszaki Közlemények **3—4** (1970).
- Denk Rezső—Dr. Lukács József*: Akkumulátoros járművek alkalmazási lehetőségei a városi közlekedésben. Városi közlekedés, '971. 122...125. old.
- Denk Rezső—Balogh István*: Nagy energiájú fémalakítási technológiák kutatása. VKI Közleményei **4** (1973), 203...211. old.
- Egri János*: Termovillamos anyagok mérésének ipari vonatkozásai. VKI Közleményei **2** (1967), 153...159. old.
- Dr. Fazekas Gáborné—Koronczai László*: Epoband bandázsszalag. VKI Közleményei **3** (1969), 101...110. old.
- Fézler Gyula—Molnár Anikó*: Az alumínium-levegő feltüzelőanyag-elem fejlesztése és alkalmazási vizsgálatai. VKI Közleményei **4** (1973), 227...233. old.
- Füzesi Endre*: Tirisztoros központi váltóirányító fénycsövek táplálására. VKI Közleményei **1** (1966), 159...166. old.
- Füzesi Endre—Kondor Tibor*: Tirisztoros inverterek szükségáramforrások céljára. VKI Közleményei **3** (1969), 175...186. old.
- Füzesi Endre—Lencsés József*: Nagyteljesítményű háromfázisú inverterek szükségáramforrás céljára. VKI Közleményei **4** (1973), 113...120. old.
- Gadányi Péter*: Félvezetők fajlagos ellenállás mérése. Elektrotechnika **58** (1965), 290...293. old.
- Gadányi Péter*: Kompenzációfok meghatározása szilíciumon Hall-mérésből. VKI Közleményei **1** (1966), 237...252. old.
- Gadányi Péter*: Szilícium poli- és egykristály minősítésének módszerei. Könyvrészlet. Tankönyvkiadó.
- Gadányi Péter*: Véges kontaktusátmérő figyelembevétele a Valdes-féle fajlagosellenállás-mérés során. VKI közleményei **3** (1969), 287...299. old.
- Ganszky Károly*: Hatfázisú szívófejtekercses egyenirányító kapcsolás áramvezetési állapotai a szívófejtekercs aktív működésel. Elektrotechnika **56** (1963).

- Ganszky Károly*: 3/6 fázisú szívófojtótekerccses áramirányítókapcsolás üzeme passzív és aktív szívófojtótekerccsel. Kandidátusi disszertáció, MTA, 1964.
- Dr. Ganszky Károly—Marti Sándor*: Elektrolíziseket tápláló egyenirányító berendezések. VKI Közleményei 2 (1967), 61. . . 80. old.
- Dr. Ganszky Károly—Marti Sándor*: Elektrolíziseket tápláló egyenirányító berendezések. Automatizálás 1 (1968), 50. . . 62. old.
- Dr. Ganszky Károly—Dr. Csáki Frigyes—Barki Kálmán—Ipsits Imre*: Elektronika. Tankönyv kiadó, 1968.
- Dr. Ganszky Károly—Marti Sándor—Dr. Csáki Frigyes—Ipsits Imre*: Teljesítményelektronika. Műszaki Könyvkiadó, 1970, 1973.
- Gádor László—Morvay György*: Folytatólagos hengersor hajtásszabályozásának módszere. MTA tanulmány, 1953.
- Gádor László*: Mágneses folyadékok viselkedése. Elektrotechnika 49 (1956), 46. . . 54. old.
- Gádor László*: Nemlineáris hidak terhelhetősége. Elektrotechnika 49 (1956), 320. . . 331. old.
- Gádor László*: Néhány összefüggés a reálalgebra köréből. Elektrotechnika 50 (1957), 138. . . 144. old.
- Gádor László*: Mágneskörök számításáról. Elektrotechnika 50 (1957), 314. . . 322. old.
- Gádor László*: Irányítástechnika. Műszaki Élet 12 (1957), 18. sz.
- Gádor László*: Kibernetika. Műszaki Élet 12 (1957), 23. sz.
- Gádor László*: Feszültségszabályozó transzformátor önműködő szabályozója. Mérés és Automatika 6 (1958), 10. . . 12. old.
- Gádor László*: Nemlineáris hidak néhány alkalmazása. Kandidátusi disszertáció. MTA, 1960.
- Dr. Gádor László*: Vezérelt nemlineáris hidak. Elektrotechnika 54 (1961), 289. . . 301. old.
- Dr. Gádor László*: Hálózati feszültségszabályozás. III. Országos Automatizálási Konferencia előadásai, 1962.
- Dr. Gádor László*: Elosztóhálózati feszültségszabályozás. Villamosság 12 (1964), 193. . . 199. old.
- Dr. Gádor László*: A VKI Villamos Laboratóriumának 15 éves munkássága. Elektrotechnika 57 (1964), 512. . . 524. old.
- Dr. Gádor László*: Néhány szempont a hálózati feszültség szabályozásához. VKI Közleményei 1 (1966), 103. . . 112. old.
- Dr. Gádor László*: Áramkörök Z-karakterisztikájú impedanciákkal. VKI Közleményei 2 (1967), 43. . . 60. old.
- Dr. Gádor László*: A VKI Villamos Berendezés Főosztályának munkássága. VKI Közleményei 3 (1969), 113. . . 126. old.
- Dr. Gádor László*: Szekunder hálózatok szabályozása. VKI Közleményei 3 (1969), 127. . . 138. old.
- Dr. Gádor László*: Egyenáramú hajtások 1. Erősáramú Elektronika Konferencia előadásai, 1970.
- Dr. Gádor László*: Néhány újabb eredmény az erősáramú kutatásban. Minőség és megbízhatóság 6 (1972), 68. . . 69. old.
- Dr. Gádor László*: Nemlineáris híd termikus viselkedése. VKI Közleményei 4 (1973), 59. . . 66. old.
- Göbl Nándor*: Elektromágneses fémalakítás. VKI Közleményei 3 (1969), 301. . . 312. old.
- Hadas János*: A 3000 LE-s szilícium-egyenirányítós mozdony hazai fejlesztésű egyenirányítói és elektronikus védelme. VKI Közleményei 2 (1967), 95. . . 106. old.
- Horváth Pál—Jedlovsky Pálné—Gadányi Péter*: Nagytérű szilícium előállítására irányuló technológiai kutatások. I. Mikrokrisztályok. Elektrotechnika 65 (1972), 23. . . 27. old., VKI Közleményei 4 (1973), 193. . . 201. old.
- Jarács György*: A termovillamos jósági szám javításának lehetőségei. Elektrotechnika 57 (1964).
- Jarács György*: Termovillamos mechanizmus. VKI Közleményei 1 (1966), 219. . . 228. old.
- Jókuthy Zoltán*: Diffúziós rétegvastagságok mérésének új módszerei. VKI Közleményei 2 (1967), 147. . . 152. old., Elektrotechnika 60 (1967).
- Kafka Nándor—Nagy László*: Nagyáramú tirisztoros egyenirányítók. VKI Közleményei 4 (1973), 67. . . 80. old.
- Kardos György*: Műanyag zsebkönyv 2. bővített, átdolgozott kiadás 6. fejezete: Műanyagok a villamosiparban. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1959.
- Kardos György*: Új keményforrasztásos eljárás kiskeresztmetszetű alumínium és rézvezetők összekötésére. Villamosság 8 (1960), 110. . . 112. old.
- Kardos György*: Polietilénből és szuszpenziós polivinilkloridból alakított szerkezeti elemek a villamosiparban. Elektrotechnika 53 (1960), 492. . . 503. old.
- Kardos György*: Az erősáramú ipar trópusálló gyártmányai (A kiadvány műanyag szigetelő hátyákra vonatkozó része), KGM Erősáramú Berendezési Igazgatóság. Budapest, 1960.

- Kardos György*: Polietilén alkalmazása a kábeliparban. *Elektrotechnika* **54** (1961), 250...257. old.
- Kardos György*: Polietilén szalagszigetelésű és köpenyű távbeszélő kábel. *Magyar Híradástechnika* **12** (1961), 238...241. old.
- Kardos György*: Kábelek kiválasztása. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, 1961.
- Kardos György*: Műanyagok a híradástechnikában. Műszaki Könyvkiadó, 1961.
- Kardos György*: Ismertető a Kábel Kutató Bizottság 1960—1961. évi működéséről. *Villamosság* **10** (1962), 145. old.
- Kardos György*: Műanyagok alkalmazása a kábeliparban. *Villamosság* **10** (1962), 296...303. old.
- Kardos György*: Műanyagszigetelésű és műanyagköpenyű jelző-, mérő-, működtető- és vasúti állítómű-kábelek korszerű páncélozása. *Villamosság* **10** (1962), 364...366. old.
- Kardos György*: Tömörvezetőjű, polietilénszigetelésű, erősáramú kábelek szigetelésének méretezése. *Elektrotechnika* **56** (1963), 14...21. old.
- Kardos György—Gyulási Ferenc*: Eljárás kábelek hajlékonyságának vizsgálatára. *Elektrotechnika* **56** (1963), 439...443. old.
- Kelemen Tibor*: Szabályozható fordulatszámú motorhajtások fémforgácsoló gépeken. *Elektrotechnika* **46** (1953).
- Kelemen Tibor—Kiss Miklós*: Amplidíngenerátorok vizsgálatának tapasztalatai. *Elektrotechnika* **47** (1954).
- Kerti József—dr. Lukács József*: Megjegyzések egy cinkanódú, termikusan regenerálható tüzelőanyag-elemmel kapcsolatban. *VKI Közleményei* **2** (1967), 121...131. old.
- Kiss Miklós*: A diósgyőri blokkor rekonstrukciója. *Elektrotechnika* **57** (1964).
- Kiss Miklós—Melis János*: Csévéelő hajtások. Műszaki Könyvkiadó, 1965.
- Kopniczky Szaniszló*: Heterogén szigetelőanyagok nedvességállóságának vizsgálata. *Elektrotechnika* **57** (1964), 53...64. old.
- Kopniczky Szaniszló—dr. Kelemen Andorné*: Szigetelőanyagként alkalmazott műanyagok kúszóáramszilárdsága. *Elektrotechnika* **58** (1965), 357...359. old.
- Kopniczky Szaniszló*: Melamin-formaldehid alapú sajtolóanyagok villamosipari célokra. *VKI Közleményei* **1** (1966), 69...84. old.
- Kopniczky Szaniszló—dr. Kelemen Andorné*: Aminoplast sajtolóanyagok a villamosiparban, I. rész. *Elektrotechnika* **61** (1968), 151...156. old.
- Kopniczky Szaniszló—dr. Kelemen Andorné*: Aminoplast sajtolóanyagok a villamosiparban, II. rész. *Elektrotechnika* **61** (1968), 221...225. old.
- Kopniczky Szaniszló*: Poliesztergyanták új típusú katalizátora. *VKI Közleményei* **3** (1969), 87...99. old.
- Dr. Kövessy Ferenc—Oláh Miklós—Rósa János—dr. Vitézy László*: A diósgyőri Ilgner-hajtású blokkor áramkorlátozó automatikája. *Elektrotechnika* **1957**.
- Dr. Kövessy Ferenc*: Tirisztoros kapcsolások rendszerezése. *VKI Közleményei* **3** (1969), 251...277. old.
- Krajcsovics Ferenc*: Tüzelőanyag-elemek. *Élet és Tudomány* **25** (1970).
- Krajcsovics Ferenc*: A tüzelőanyagelem-kutatás helyzete és egyes műszaki—gazdasági kérdései. *Magyar Kémikusok Lapja*, **25** (1970), 348...354. old.
- Krajcsovics Ferenc—Gerzsenyi György—Dávid Péter*: A nagyhőmérsékletű tüzelőanyag-elem kutatás helyzete. *Elektrotechnika* **65** (1972), 28...33. old. és *VKI Közleményei* **4** (1973), 212...225. old.
- Kurutz Károly*: Villamos ívhegesztőgépek feszültségei és jelleggörbéi. *Elektrotechnika* **48** (1955).
- Kurutz Károly*: Statikus frekvenciaháromszorozó és ipari alkalmazásai. *Elektrotechnika* **50** (1957).
- Kurutz Károly*: Helyszíni mérőtranszformátor-hitelesítő berendezés. *Villamosság* **7** (1959).
- Lakatos György*: Szakasos (impulzus) üzemben működő gázkiszűléses elemeket tartalmazó ipari elektronikus berendezés megbízhatóságáról. *MTA Automatizálási Kutató Intézet Közleményei*, 1966. 47. old. és III. Automatizálási kollokvium kiadványa, I. kötet, 87. old.
- Lakatos György*: Fénycsövek minőségéről és megbízhatóságáról. *Minőség és megbízhatóság* **2** (1968), 8. old.
- Lakatos György*: Fénycsövek élettartamának meghosszabbítása. *VKI Közleményei* **3** (1969), 223. old.
- Lakatos György*: A megbízhatóság optimalizálásáról. *KGM MTTI Automatizálás*. 1969. 18. old.
- Lakatos György*: Néhány gondolat a „Nagyteljesítményű félvezetős egyenirányító berendezések megbízhatósága” c. tanulmányhoz. *Minőség és megbízhatóság*, **5** (1971), 8. old.
- Lakatos György*: A MEE megbízhatósági munkájáról. *Minőség és megbízhatóság* **6** (1972), 57. old.

- Lencsés József—Füzesi Endre:* Nagyteljesítményű inverterek. VKI Közleményei 4 (1973), 113...120. old.
- Leyrer Richárd:* Műanyagok a nehéziparban. Népszava kiadó, 1953. 36...68. old.
- Leyrer Richárd:* Nagyfeszültségű villamos forgógépek rúdszigetelési problémái. Elektrotechnika 3 (1955), 104...105. old.
- Leyrer Richárd és szerzőtársai:* Az erősáramú ipar trópusálló gyártmányai. Műszaki Könyvkiadó, 1960.
- Leyrer Richárd:* A VKI Szigeteléstechikai Laboratóriumának 15 éves munkássága. Elektrotechnika 57 (1964), 499...503. old.
- Leyrer Richárd:* Kiöntőgyanták alkalmazása és felhasználási problémái. VKI Közleményei 1 (1966), 23...30. old.
- Leyrer Richárd—dr. Fazekas Gáborné:* Kísérletek polietilénlykoltereftalát hazai előállítására. VKI Közleményei 1 (1966), 31...44. old.
- Leyrer Richárd:* A VKI Szigeteléstechikai Főosztályának munkássága. VKI Közleményei 3 (1969), 25...30. old.
- Dr. Lénárd Sándor:* Új magyar hegesztőgépek. Gép 7 (1955), 350...381. old.
- Dr. Lénárd Sándor:* Többelektródás ívhegesztés. Műszaki Élet 10 (1955), 7. old.
- Dr. Lénárd Sándor:* A hegesztéstechika néhány hazai vonatkozású kérdése a magyar—szovjet kapcsolatok tükrében. Villamosság 3 (1955), 1. old.
- Dr. Lénárd Sándor:* Bevezetés Csizy—Török: Mérőtranszformátorok c. könyvéhez. Műszaki Könyvkiadó, 1955.
- Dr. Lénárd Sándor:* Az áramutésről. Műszaki Élet, 1956.
- Dr. Lénárd Sándor:* Néhány megjegyzés az áramváltószabványhoz. Elektrotechnika 50 (1957), 444. old.
- Dr. Lénárd Sándor:* Lehet gép nélkül is hegeszteni? Műszaki Élet 13 (1958), 6. old.
- Dr. Lénárd Sándor:* Ívhegesztés. GTE Tanfolyami jegyzet, 1958.
- Dr. Lénárd Sándor:* Egyenirányítással működő ívhegesztőgépek legújabb megoldásai. Mérnök Továbbképző Intézeti jegyzet, 1960.
- Lukács József:* Alkáli halogenidek komprimálása. Műszaki Egyetemi doktori disszertáció, 1949.
- Dr. Lukács József:* Feszültségfüggő ellenállások túlfeszültséglevezető számára. Elektrotechnika 45 (1952).
- Dr. Lukács József—Bogoly István:* A szilíciumkarbid jelene és jövője az erősáramú villamosiparban. Technika, 1957.
- Dr. Lukács József:* Félvezető anyagokkal épült termovillamos generátor. Elektrotechnika 50 (1957), 121...130. old.
- Dr. Lukács József:* Nemlineáris ellenállások túlfeszültséglevezetőkhöz. Kandidátusi disszertáció, MTA, 1957.
- Dr. Lukács József—Molnár István:* pn rétegek alkalmazása az erősáramú technikában. Elektrotechnika 52 (1959), 132...136. old.
- Dr. Lukács József—Bogoly István—Horváth Faustó:* Magyar típusú túlfeszültséglevezetők próbája a KEMA-nál. Elektrotechnika 56 (1963), 147...156. old.
- Dr. Lukács József:* Megjegyzések egy félvezető anyagú termoinduktív generátor lehetőségéről. Elektrotechnika 57 (1964), 520...524. old.
- Dr. Lukács József—Molnár István:* Teljesítménydiódák, tranzisztorok, tirisztorok c. fejezet Pattantyús Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve 7. kötet (1964).
- Dr. Lukács József:* A Félvezető Laboratórium 15 éves munkássága. Elektrotechnika 57 (1964), 509...511. old.
- Dr. Lukács József—Bogoly István—Horváth Faustó—Martin Róbert:* Szikraközök és túlfeszültséglevezetők kifejlesztése. Elektrotechnika 58 (1965), 460...465. old.
- Dr. Lukács József:* Si-SiC pn-heteroátmenetek. MTA VI. Osztályközlemények 37 (1966), 208...211. old.
- Dr. Lukács József:* Termoinduktív generátor. Doktori disszertáció, MTA, 1966.
- Dr. Lukács József—Bogoly István:* Túlfeszültséglevezetők c. fejezet. Pattantyús Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve 5. kötet (1967).
- Dr. Lukács József:* A félvezető laboratórium 20 éves tevékenységének eredményei. VKI Közleményei 3 (1969), 281...285. old.
- Dr. Lukács József:* Társadalmunk jólétének emelését szolgáló kutatásokat. Magyar Tudomány, 1972. 766...768. old.
- Dr. Lukács József—Gadányi Péter:* A termoinduktív effektusról. Elektrotechnika 63 (1970), 287...295. old.
- H. dr. Magyar Laura:* Szintetikus itató- és zománchuzal-lakkok. Elektrotechnika 48 (1955), 99...100. old.

*H. dr. Magyar Laura:* Festeékek és lakkok a híradástechnikai és villamosiparban. Szigetelő-lakkok. Híradástechnikai Szakkönyvsorozat (1959).

*H. dr. Magyar Laura—dr. Kelemen Andorné:* Új „B” osztályú szigetelőanyag a villamosiparban. *Elektrotechnika* **53** (1960), 232...235. old.

*H. dr. Magyar Laura:* Az erősáramú ipar trópusálló gyártmányai. Szigetelőlakkok. Műszaki Könyvkiadó, 1960.

*H. dr. Magyar Laura:* Epoxigyanta hálósítók szerves fémvegyületekkel. *Elektrotechnika* **55** (1962), 158...161. old.

*H. dr. Magyar Laura:* Szerves fémvegyületekkel hálósított epoxigyanták a villamosiparban. *Műanyag és gumi* **3** (1966), 331...334. old.

*H. dr. Magyar Laura:* A hazai villamosiparban használatos nedvességálló sajtolóanyagok összehasonlítása. *Műanyag és gumi* **5** (1968), 251...254. old.

*H. dr. Magyar Laura:* Heterogén villamos szigetelőanyagok vízfelvétel—idő függvénye nedves-meleg klímáigénybevételnél. *Elektrotechnika* **61** (1968), 158...162. old.

*H. dr. Magyar Laura:* Javított hőállóságú telítetlen poliesztergyanta előállítás. *Műanyag és gumi*, **7** (1970), 140...142. old.

*H. dr. Magyar Laura:* Javított hőállóságú poliesztergyanta egynéhány tulajdonsága. *Műanyag és gumi* **9** (1972), 78...85. old.

*H. dr. Magyar Laura:* Üvegázás rétegelt termékek a hazai gyártásban. *Elektrotechnika* **65** (1972), 466...470. old.

*H. dr. Magyar Laura:* Hazai szigetelőlakkok hőállósága. *VKI Közleményei* **4** (1973), 17...29. old.

*Magyar Zoltán:* Váltakozóáramú elektromágnes jelleggörbéi és mérése. *VKI Közleményei* **3** (1969), 409...421. old.

*Magyar Zoltán:* Váltakozóáramú működtető mágnes jelleggörbéinek vizsgálata. *Villamosság* **17** (1969), 339...343. old.

*Marti Sándor:* Automatikus akkumulátortöltők. *Elektrotechnika* **55** (1962), 548...551. old.

*Marti Sándor:* Erősáramú elektronika. *Műszaki Élet* (1966). **9.** sz.

*Marti Sándor:* Szilícium egyenirányítók városi villamosvasutak állomásai számára. *VKI Közleményei* **1** (1966), 167...178. old.

*Marti Sándor:* Diódák és tirisztorok jellemzői és terminológiája. *MTA-AKI Közlemények* (1966), 97...122. old.

*Marti Sándor:* Párhuzamosan kapcsolt diódáknak vagy tirisztoroknak a készülék felépítésétől függő áramoztási hibája. *VKI Közleményei* **3** (1969), 139...160. old.

*Marti Sándor—Türi Ferenc:* Tirisztoros vágógéphajtás. *Cukoripar* **3.** (1970) 117...119. old.

*Marti Sándor:* Váltakozóáramú szagotát táplált aszinkron motor alkalmazásának korlátai. *VKI Közleményei* **4** (1973), 121...130. old.

*Martin Róbert:* Szilíciumkarbid porok villamos minősítéséről. *VKI Közleményei* **2** (1967), 161...166. old.

*Mészáros Béla:* Áramirányítós kaszkád hajtások. *VKI Közleményei* **4** (1973), 157...165. old

*Miszlivetz József:* Az erősáramú ipar trópusálló gyártmányai. *Zománchuzalok c. fejezet.* Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1960.

*Miszlivetz József—Ober Ferenc:* Kúszóáramvizsgálat elvi alapjai és a vizsgálóberendezés ismertetése. *VKI Közleményei* **1** (1966), 59...68. old.

*Miszlivetz József:* Műanyagszigetelésű zománchuzalok szabványosítása. *KGM Szabványügyi Értesítő* (1968), 27...32. old.

*Miszlivetz József—Ober Ferenc:* A villamos ívet igénybevételi tényezőként alkalmazó szigetelőanyagvizsgáló berendezések gyártmánycsaládjá. *VKI Közleményei* **3** (1969), 31...42. old.

*Miszlivetz József:* A klímabehatások vizsgálata a villamos forgógépek szigetelési rendszereire, különös tekintettel minősítésükre. *Műszaki egyetemi doktori disszertáció, BME.* 1971.

*Dr. Miszlivetz József:* Korszerű technológia áramkört elemek tokozására kis nyomású sajtolóanyagokkal. *VKI Közleményei* **4** (1973), 29...48. old.

*Dr. Miszlivetz József:* Villamosipari Technológia II. Kandó Kálmán Villamosipari Főiskola részére. Műszaki Könyvkiadó, 1972. 271...310. old.

*Mlinkó Tamás:* A diósgyőri durvahengermű szabályozott egyenáramú hajtásainak néhány áramkört kérdéséről. *Elektrotechnika* **60** (1967), 484...495. old. és *VKI Közleményei* **1** (1966), 113...134. old.

*Mlinkó Tamás:* A diósgyőri blokkosor előválasztásos hengerállításának fölerendelt pozíció szabályozása. *VKI Közleményei* **2** (1967), 107...118. old. és *Elektrotechnika* **61** (1968), 163...168. old.

*Mlinkó Tamás:* Akkumulátor táplálású nagy pontosságú háromfázisú feszültség- és frekvencia-szabályozó berendezés mérőműszerek hitelesítéséhez. *VKI Közleményei* **3** (1969), 209...221. old.

- Mlinkó Tamás*: Szovjet tirisztorok alkalmazása a hazai erősáramú elektronikában. Automatizálás **3** (1970), 30...35. old.
- Mlinkó Tamás*: Tirisztoros áramirányítók rövidzárlatvédelme, a kommutációs fojtótekerces méretezése. VKI Közleményei **4** (1973), 145...156. old.
- Mocsáry József*: Vörösréz és ezüst érintkezők átmeneti ellenállásának vizsgálata. Elektrotechnika **49** (1956), 275...280. old.
- Mocsáry József—Rusznayk Endre*: Nagyfeszültségű, nagy megszakítóképeségű olvadóbiztosítók. Elektrotechnika **51** (1958), 93...102. old.
- Mocsáry József*: Középfeszültségű megszakítók és biztosítók 1958. évi bechovicei próbái. Villamosság **7** (1959), 208...214. old.
- Mocsáry József*: Középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók elméleti és gyakorlati kérdései. Kandidátusi disszertáció. MTA, 1961.
- Mocsáry József—Szél György*: Kiszfeszültségű, igen nagy megszakítóképeségű, késes (fogantyús) rendszerű áramkorlátozó olvadóbiztosítók. Villamosság **10** (1962), 257...263. old.
- Dr. Mocsáry József*: Igen gyors kiolvadású áramkorlátozó olvadóbiztosítók félvezető egyenirányítók védelmére. Elektrotechnika **57** (1964), 455...460. old.
- Dr. Mocsáry József*: Középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók újfajta olvadószálkonstrukciói. Elektrotechnika **57** (1964), 554...560. old.
- Dr. Mocsáry József*: Középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók vizsgálata. Elektrotechnika **58** (1965), 1...7. old.
- Dr. Mocsáry József*: Vizsgálatok középfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal különböző hálózati önrégesszámú áramkörökben. Elektrotechnika **58** (1965), 195...201. old.
- Dr. Mocsáry József—Bányai Béla*: Áramkorlátozó olvadóbiztosítók különleges olvadószálainak előállítása. VKI Közleményei **1** (1966), 261...268. old.
- Dr. Mocsáry József*: Kombinált ivoltási mód alkalmazása kiszfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítóknál. VKI Közleményei **1** (1966), 269...276. old.
- Dr. Mocsáry József*: Újtípusú, DIN 43625 előírásai szerinti, középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó biztosítók. VKI Közleményei **2** (1967), 173...185. old.
- Dr. Mocsáry József—Rusznayk Endre*: Középfeszültségű olvadóbiztosítók c. fejezet. Pattantyús Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve, 5. kötet. (1967), 634...642. old.
- Dr. Mocsáry József—Szél György*: Kiszfeszültségű olvadóbiztosítók c. fejezet. Pattantyús Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve, 5. kötet, (1967), 642...652. old.
- Dr. Mocsáry József—Szél György*: Középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó biztosítók kutatási és gyártási helyzete. Villamosság **15** (1967), 286...287. old.
- Dr. Mocsáry József*: A VKI Villamos Készülék Főosztályának munkássága. VKI Közleményei **3** (1969), 323...340. old.
- Dr. Mocsáry József*: Áramkorlátozó olvadóbiztosítók olvadószál-konstrukcióinak összehasonlítása. VKI Közleményei **3** (1969), 341...348. old.
- Dr. Mocsáry József*: Kombinált kiolvadási jellegű bejű biztosítók. VKI Közleményei **4** (1973), 237...248. old.
- Dr. Mocsáry József—dr. Néveri István*: Villamos készülékekre vonatkozó címszavak szerk.
- Dr. Tuschák Róbert*: Elektrotechnikai Kislexikon c. műben. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973.
- Molnár István—Kiss Dénes*: Szilícium teljesítmény diódák pn átmenetének termikus analízise. VKI Közleményei **1** (1966), 186...206. old.
- Molnár István—Kiss Dénes*: Szilícium teljesítménylióda pn átmenetének melegedési folyamata. AKI szeminárium kiadványa, 1966., Elektrotechnika **60** (1967).
- Molnár István—Török Tivadar—Renner Gábor—Szönyi László*: A termovillamos generátorok fejlesztésének jelenlegi helyzete. VKI Közleményei **4** (1973), 169...183. old.
- Nagy László*: Vizes oldatok nem oldódó elektródák között történő elektrolízisének néhány szabályozástechnikai problémája. Műszaki egyetemi doktori disszertáció, BME, 1972.
- Nemeskéry Géza*: Tirisztor gyújtóáramkörök. VKI Közleményei **3** (1969), 161...174. old.
- Néveri István—Domonkos Sándor—Kanabé József—Molnár István*: Kiszfeszültségű nagyteljesítményű ívek oltása. Akadémiai pályázat, 1959.
- Néveri István*: Ellenállásos megszakítás. Kandidátusi disszertáció. MTA, 1961.
- Néveri István*: Kiszfeszültségű készülékek érintkezőanyagainak vizsgálata. Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyára Közleményei **1** (1964).
- Dr. Néveri István*: Erősáramú iparban használatos kontaktusanyagok. OMF B tanulmány, 1964.
- Dr. Néveri István—Csermely László*: Villamos érintkezőanyagok kutatása kiszfeszültségű kapcsolókészülékek számára. Elektrotechnika **58** (1965), 245...250. old.
- Dr. Néveri István—Domonkos Sándor—Kanabé József—Molnár István*: Villamos készülékek. Felsőfokú technikai tankönyv, 1966.

- Dr. Néveri István:* Légnyomásos megszakító kapcsolási túlfeszültségének korlátozása nemlineáris ellenállás alkalmazásával. *VKI Közleményei 1* (1966), 277. . . 290. old.
- Dr. Néveri István:* Újabb eredmények az érintkezőanyagok kutatása területén. *VKI Közleményei 1* (1966), 291. . . 298. old.
- Dr. Néveri István—Kohut Mátyás—dr. Kanabé József:* 32. . . 53 szakaszok, Pattantyús Gépész-és Villamosmérnökök Kézikönyve 8. kötet, 1967.
- Dr. Néveri István:* Kutatási feladatok kisfeszültségű váltakozóáramú mágneskapcsolók korszerű kialakításához. *VKI Közleményei 2* (1967), 187. . . 202. old.
- Dr. Néveri István:* Kisfeszültségű szinkronkapcsolók kidolgozása. *VKI Közleményei 3* (1969), 349. . . 360. old.
- Dr. Néveri István:* A kisfeszültségű készülékekkel kapcsolatos kutatások. *Villamosság 17* (1969), 323. . . 328. old.
- Dr. Néveri István:* Kiegészítő fejezetek. *Uszov:* Villamos érintkezők anyagai c. könyv magyar nyelvű kiadásához. Műszaki Könyvkiadó, 1969.
- Dr. Néveri István:* Kisfeszültségű kapcsolók érintkezőinek gyorsított vizsgálata. *Ganz K. K. Laboratóriumi Közlemények 3* (1971).
- Dr. Néveri István:* Érintkezőanyagokkal kapcsolatos problémák a relétechnikában. *Elektrotechnika 64* (1971), 201. . . 207. old.
- Dr. Néveri István:* A kisfeszültségű kontaktorok villamos élettartamát befolyásoló paraméterek helyes megválasztása. *VKI Közleményei 4* (1973), 249. . . 257. old.
- Ninausz István:* Irányelvek 35 kV-os SZAHKM típusú kábel alkalmazásához. *Villamosság 10* (1962).
- Pál László:* Aszinkron törpemotorok számítógépes tervezésének algoritmusai. *VKI Közleményei 3* (1969), 231. . . 250. old.
- Pálffy Miklós:* pn átmenetek árammegszakítási tranzienének felhasználása a réteg kapacitásának és kisebbségi töltéshordozó élettartamának meghatározására. *Elektrotechnika 59* (1966), 229. . . 232. old.
- Pálffy Miklós:* Vezérelt diódák fizikája és mérései. *AKI Közlemények* (1966), 67. . . 96. old.
- Pálffy Miklós:* Mérési módszerek a pn átmenetek kisebbségi töltéshordozói effektív élettartamának meghatározására. *Elektrotechnika 60* (1967), 68. . . 74. old.
- Pálffy Miklós:* Vezérelt diódák fizikája és mérései. *Elektrotechnika 60* (1967), 109. . . 119. old.
- Pálffy Miklós:* Néhány mérési módszer a pn átmenetek kisebbségi töltéshordozói effektív élettartamának meghatározására. *VKI Közleményei 2* (1967), 133. . . 146. old.
- Pálffy Miklós:* Mérési összeállítások vezérelt diódák kikapcsolási idejének mérésére. *VKI Közleményei 3* (1969), 313. . . 319. old.
- Pálffy Miklós—Füzési Endre—Böhönyei Ferenc—Balogh István:* Magyar SNV tirisztorok néhány alkalmazása a Villamosipari Kutató Intézetben. *Automatizálás 3* (1970), 3. . . 7. old.
- Pálffy Miklós—Böhönyei Ferenc:* Erősáramú félvezető eszközök tokozásának vizsgálata elektromos analógia alapján. *Elektrotechnika 63* (1970), 413. . . 415. old.
- Pálffy Miklós—Böhönyei Ferenc—Orosz Győző—Palotai Géza:* A plazma- és ionimplantációs technika felhasználási perspektívái speciális erősáramú félvezető eszközök számára. *VKI Közleményei 4* (1973), 185. . . 191. old.
- Pesty László:* Galvánelemek. Egyetemi jegyzet, 1953.
- Pesty László:* Akkumulátor kézikönyv. Nehézipari Könyvkiadó, 1954, 1956.
- Pesty László:* Az akkumulátor aktuális kérdései. Nehézipari Könyvkiadó, 1954.
- Pesty László:* Galvánelemek. Műszaki Könyvkiadó, 1955.
- Pesty László:* Akkumulátorok és galvánelemek fejlődése. Műszaki Könyvkiadó, 1955.
- Pesty László:* Farbaky és Schenek úttörő munkája a magyar akkumulátoripar területén. *Elektrotechnika 48* (1955).
- Pesty László:* Indítóakkumulátorok vizsgálati módszerei. *Mérés és Automatika 3* (1955).
- Pesty László:* Galvanikus áramforrások fejlődése. Mérnök Továbbképző Intézet. Jegyzet, 1956.
- Pesty László:* Élettartamvizsgáló készülék indítóakkumulátorok szabványos vizsgálatához. *Mérés és Automatika 4* (1956).
- Pesty László:* Alkáli akkumulátorok újabb fejlődése. *Műszaki Élet*, 1956.
- Pesty László:* Korszerű akkumulátor problémák. *Elektrotechnika 49* (1956).
- Pesty László:* Elfelejtett magyar tudósok. *Műszaki Élet*, 1956.
- Pesty László:* Akkumulátor javítás és kezelés. Tankönyv. Munkaügyi Minisztérium, 1957.
- Pesty László:* Akkumulátorok korszerű ötvözetei. *Kohászati Lapok*, 1957.
- Pesty László:* Villamosenergia közvetlen előállítás atomenergiából. *Elektrotechnika 50* (1957).
- Pesty László:* Szárzelemek gazdaságos felújítása. *Magyar Híradástechnika*, 1957.
- Pesty László:* A napenergia közvetlen átalakítása villamos energiává. *Villamosság 5* (1957).
- Pesty László:* Akkumulátorjavító és -kezelő szakmai ismeretek. KPM, 1958.



- Pika Imre:* Por-homok hatása az elektrotechnikai gyártmányokra és anyagokra. Tropikalizálási Konferencia, (1965) II. köt. 131...144. old.
- Polgár Tibor:* Vas deionlemezek váltakozóáramú villamos ivre gyakorolt erőhatásának vizsgálata. VKI Közleményei 2 (1967), 215...227. old.
- Polgár Tibor:* Ívöltési viszonyok váltakozóáramú kontaktorokban. VKI Közleményei 3 (1969), 379...390. old.
- Polgár Tibor:* Ívöltési viszonyok a kisfeszültségű váltakozóáramú kontaktorokban. Villamosság 19 (1969), 329...343. old.
- Polgár Tibor:* Az ívleppont-mozgathatósága az érintkezők villamos élettartamára. VKI Közleményei 4 (1973), 271...280. old.
- Rósa János—Vitályos László:* Egyenáramú motorok elektronikus fordulatszám szabályozása. Tiratroncsóves vagy rácsvédelemmel egyenirányítóról táplált egyenáramú motorhajtás méretezése. Elektrotechnika 45 (1952).
- Rusznayk Endre:* Áramkörök megszakításának elmélete és gyakorlati megvalósításának elvei. Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, 1954.
- Dr. Rusznayk Endre:* A VKI által kifejlesztett megszakítószakaszoló. Villamosság 7 (1959).
- Salánki Tibor:* A zónás egységkristálynövesztés néhány problémája; lengőtekercses kristálynövesztő berendezés. Elektrotechnika 56 (1963). 107...112. old.
- Salánki Tibor:* Néhány megjegyzés nagyfelületű pn átmenetek előállításával kapcsolatban. Elektrotechnika 57 (1964). 234...240. old.
- Salánki Tibor:* Erősáramú vezérelt diódák konstrukciós és technológiai problémái. Elektrotechnika 57 (1964), MTA Automatizálási Kutató Intézet Közleményei és VKI Közleményei 1 (1966), 207...217. old.
- Salánki Tibor:* Gallium diffúzió hatása a szilícium egykristály lapkák mechanikai és fizikai paramétereire. Műszaki egyetemi doktori disszertáció, BME, 1973.
- Dr. Sárkány Endre:* Szigetelőporcelánok. Elektrotechnika 48 (1955).
- Dr. Simó Tamás:* A villamos energia közvetlen előállítása. VKI Közleményei 3 (1969), 437...445. old.
- Stráner György:* Kísérletek szigetelőlakkok penészedelmére. Tropikalizálási Konferencia (1965), II. köt. 111...116. old.
- Sulyok József:* Felületvédelmi bevonatok nedves-trópusi vizsgálata. VKI Kiadvány, 1962.
- Sulyok József:* Klimatizációs vizsgálatok. VKI Kiadvány, 1963.
- Sulyok József:* Természetes trópuson terheléses vizsgálatnak alávetett aszinkron motorok értékelése. VKI Kiadvány, 1963.
- Sulyok József:* Villamos berendezésekben használatos sajtolóanyagok laboratóriumi nedves-meleg vizsgálata. VKI Kiadvány, 1964., Elektrotechnika 58 (1965), 341...350. old.
- Sulyok József:* A VKI tropikalizációs tevékenysége. Elektrotechnika 57 (1964), 504...508. old.
- Sulyok József:* Nedves trópuson üzemelő berendezések szigetelőanyagainak kiválasztása. VKI Kiadvány, 1965.
- Sulyok József:* Nedves trópuson üzemelő villamos berendezések szigetelőanyagai kiválasztásának főbb kérdései. Elektrotechnika 58 (1965), 481...490. old., Tropikalizálási Konferencia Kiadványa, 1965, 1...15. old.
- Sulyok József:* Villamos berendezések klímavédelme. Klimatológiai ismeretek. VKI Kiadvány, 1966.
- Sulyok József:* Trópusi felhasználású villamos berendezések tervezésével kapcsolatos klimatológiai problémák. Elektrotechnika 59 (1966), 220...228. old.
- Sulyok József:* Sajtolóanyag típusok nedves-trópusi alkalmazhatóságának kérdése. Műanyag és gumi 3 (1966), 142...147. old.
- Sulyok József:* Trópusi berendezések tervezésének klimatológiai alapjai. VKI Közleményei 1 (1966), 85...99. old.
- Sulyok József—H. dr. Magyar Laura:* Heterogén szigetelőanyagok vízfelvétel—idő-függvénye nedves-meleg igénybevételnél. VKI Közleményei 2 (1967), 239...247. old.
- Sulyok József:* Nedves trópusra kerülő normál kivitelű kis transzformátorok utóvédelme. Elektrotechnika 60 (1967), 276...279. old. és VKI Közleményei 2 (1967), 231...238. old.
- Sulyok József:* Heterogén szigetelőanyagok vízfelvételének törvényszerűsége. Elektrotechnika 61 (1968), 158...161. old.
- Sulyok József:* Klimatizációs kutatások. VKI Közleményei 3 (1969), 425...434. old.
- Sulyok József:* Az alaktényező szerepe papírvázis rétegelt szigetelőanyag vízgőzdiffúziójának folyamatában. Elektrotechnika 62 (1969), 70...77. old.
- Sulyok József:* Papírbakelit rétegelt szigetelőanyagból készült alkatrészek számított vízfelvételének hibája és oka. Elektrotechnika 62 (1969), 295...298. old.

- Sulyok József*: Papírbakelit rétegelt termékek vízgőzdifúziójának függése az alaktényezőktől. VKI Közleményei 4 (1973) 49...55. old.
- Szablya János*: Erősítőgépek. Elektrotechnika 45 (1952).
- Szaplonczay Pál—Tóth E.*: Üvegvázas epoxilemezek minősítése a reflexiós módszerrel. Mérés és Automatika, (1971).
- Szentmártony Aladár*: A villamosgépek gyártása. Forgórészek gyártási kérdései. Egyetemi jegyzet, 1952.
- Szentmártony Aladár*: Műanyagok a nehéziparban. Nehézipari Könyvkiadó, 1953.
- Szentmártony Aladár*: Villamosgépek gyártása II. Egyetemi jegyzet, 1953.
- Szentmártony Aladár*: Gép- és kábelgyártásnál alkalmazott szigetelőanyagok. Elektrotechnika 48 (1955).
- Szent-Iványi György*: Mérési módszer levezetőellenállások működését utánzó próbákhoz. VKI Közleményei 2 (1967), 167...169. old.
- Török Tivadar*: Szilícium egykristályok készítése függőzónás egykristályhúzó gépen. VKI Közleményei 1 (1966), 253—257. old.
- Dr. Urbanek János*: Elméleti villamosságtan I. Egyetemi jegyzet, 1950.
- Dr. Urbanek János*: A villamosságtan egyenleteinek írásmódjai és mértékrendszerei. Nehézipari Könyvkiadó, 1951.
- Dr. Urbanek János*: Bevezetés a műszaki elméleti villamosságtanba. Tankönyvkiadó, 1952., II. kiadás, 1956., III. kiadás 1958.
- Dr. Urbanek János*: Egyenletek mértékfüggetlen írásmódja, MKS-rendszer. Akadémiai Kiadó, 1955.
- Dr. Urbanek János*: Félvezetők alkalmazása az erősáramú iparban. Elektrotechnika 52 (1959).
- Dr. Urbanek János*: Kutatás és termelés. VKI Közleményei 1 (1966), 5...7. old.
- Dr. Urbanek János*: Az intézet fejlődési irányai és 1965. évi kutatási tevékenysége. VKI Közleményei 1 (1966), 5...19. old.
- Dr. Urbanek János*: A VKI helyzete és fejlődési irányai az új gazdasági mechanizmus első szakaszában. VKI Közleményei 2 (1967), 5...16. old.
- Dr. Urbanek János*: 20 éves a Villamosipari Kutató Intézet. VKI Közleményei 3 (1969), 5...18. old.
- Vitályos László*: Vasúti járművek fénycsővilágítása. Elektrotechnika, 1952.
- Vitályos László*: Rácsvezérlésű egyenirányítóval táplált egyenáramú motor üzemi viszonyai. Elektrotechnika, 1952.
- Vitályos László*: Transzduktorok, mágneses erősítők és alkalmazásuk az erősáramú szabályozásokban. Elektrotechnika 46 (1953).
- Vitályos László*: Ward—Leonard-hajtás elektronikus fordulatszám szabályozásának néhány kérdéséről. Kandidátusi disszertáció, MTA. 1956.
- Dr. Vitályos László*: Villamos gépek gerjesztő tekercsét tápláló vezérelt egyenirányítók átmeneti folyamatai. Elektrotechnika 50 (1957).
- Dr. Vitályos László*: Üvegtestű higanygőz egyenirányítók önműködő rácsvezérlése. Mérés és Automatika 6 (1958).
- Dr. Vitályos László*: Vonatvilágítási szabályozó berendezések és legújabb fejlődésük. Elektrotechnika 1961.
- Dr. Vitályos László*: Kompaundált szinkrongenerátorok járulékos feszültségszabályozással. Elektrotechnika 37 (1964).
- Vizér Mátyás*: Hazai anyagokból előállított üvegepoxi szigetelőlemez speciális vizsgálatai. VKI Közleményei 3 (1969), 77...86. old.
- Weiszbürg János—Weiszbürg Jánosné*: Szövetek fényességmérése. Magyar textiltechnika 17 (1965), 227. old.
- Weiszbürg János*: Néhány összefüggés elektrolumineszcens panelekben. HIKI Közlemények 5 (1965), 29. old.
- Weiszbürg János*: Optikai mérések és feketedés ZnS fényporoknál. Kép és hangtechnika 12 (1966), 23. old.
- Weiszbürg János—Kovács Károlyné*: Hibaforrások szürke sugárzók szinképmérésénél. HIKI Közlemények 6 (1966), 27. old.
- Weiszbürg János*: A saját szükségletre készített dokumentáció (egyéni dokumentáció) néhány kérdése. Tudományos és műszaki tájékoztatás 13 (1966), 705. old.
- Weiszbürg János*: Optikai elemrendszer laboratóriumi mérésekhez. Finommechanika 5 (1966), 321. old.
- Weiszbürg János—Cseh Károly—Klimó Béla*: Vákuum-zsírok és vákuumolajok vizsgálata. Elektronikai és Műszaki Tájékoztató 4 (1967), 39. old.

*Weiszburg János*: Néhány statisztikus vizsgálat fénycsőgyűjtőkon. *Villamosság* **15** (1967), 67. old. és *Villamosság* **15** (1967), 157. old.

*Weiszburg János—Sztankovics László—Tihanyi Kálmán*: Félvezető katód kialakításának módszerei szilárd dielektrikumú elektrolit kondenzátoroknál. *HIKI Közlemények* **8** (1968), 41. old.

*Weiszburg János*: Mérések részleges automatizálása a kutatásban. *Mérés és automatika* **20** (1972), 144. old.

*Z. dr. Windisch Klára*: Újabb mikagyártmányok. *Elektrotechnika* **48** (1955), 105...106. old.

*Z. dr. Windisch Klára*: Az erősáramú ipar trópusálló gyártmányai. *Csillámkészítmények*. Műszaki Könyvkiadó, 1960.

*Z. dr. Windisch Klára*: Csillámpapír alapú villamos szigetelőanyagok. *VKI Közleményei* **3** (1969), 43...54. old.

*Z. dr. Windisch Klára*: Villamos szigetelőréteg előállítása elektroforézissel. *VKI Közleményei* **4** (1973), 9...16. old.

### **Idegennyelvű publikációk**

*Bogoly István*: Some Questions on the Protective Characteristics of Lightning Arresters. *Transelektro News*, 1965. No. 3.

*Bogoly István*: Lightning Arresters. *Hungarian Heavy Industries*, 1966. No. 55.

*Bogoly István*: Lightning Arresters Type GTL/2,5. *Transelektro News*, 1967. No. 7.

*Csáthy Károly—dr. Selmeczi Vilmos*: Über einige Probleme bei Gleichstrom—Kurzschlussprüfungen in Hochleistungsprüfanlagen. *Wissenschaftlich Technische Mitteilungen IPH*, **13** (1972), 50...55. old.

*Dávid Péter—Liptay György—Erdey László*: Derivatographic Study of Thermal Decomposition of Electrical Insulating Materials and Insulators. *Periodica Polytechnica* **8** (1964), 234...250. old.

*Dávid Péter—Liptay György—Erdey László*: Derivatographic Study of Electrical Insulators. *Periodica Polytechnica* **9** (1965), 260...267. old.

*Dávid Péter—Liptay György*: Application of the Derivatograph for Testing Electrical Insulators. *Hungarian Scientific Instruments* **7** (1966), 7...14. old.

*Dávid Péter*: Thermoanalytical Study of Human Bone Remains. *Móra Ferenc Múzeum Évkönyve*, Szeged, **2** (1969), 211...215. old.

*Dávid Péter*: Thermoanalytische Untersuchungs-Möglichkeiten in der Alterungsforschung elektrischer Isolierstoffe. *Technische Hochschule Ilmenau Évkönyv*, 1969. (XIII. Int. Wiss. Kolloquium).

*Dávid Péter—Zelenyánszky Endre*: Neue Methode und Vorrichtung für die reaktionskinetische Interpretation thermogravimetrischer Messergebnisse. *Thermal Analysis* (ed: Wiedmann, H. G.), Birkhauser, 1972, 367...373. old.

*Dávid Péter—Boros János*: On the physical properties of synthetic resin crosslinked in electric field. *Periodica Polytechnica. Electrical Engineering*, (1972).

*Dr. Gábor László*: Forces Arising in Magnetic Fluids, *Acta Technica Ac. Sc. H.*, Tom. 27. **3—4**, (1959). 225...234. old.

*Dr. Gábor László*: Loading Capacity of Nonlinear Bridges, *Acta Technica Ac. Sc. H.* Tom. 28. **3—4** (1960). 281...308. old.

*Dr. Gábor László*: Description of Alternating Magnetic Circuits by Complex Quantities, *Acta Technica Ac. Sc. H.*, Tom. 41.1-2 (1962). 113...1937. old.

*Dr. Gábor László*: Controlled Non-linear Resistors, *Acta Technica Ac. Sc. H.*, Tom. 38. **1—2** (1962). 131...160. old.

*Dr. Gábor László*: Regulirajne napona u mrežama za razdiobu energije, *Jurema*. Zagreb, 1964. 269...271. old.

*Dr. Gábor László*: Nekoliko gledista regulacije napona mreže, *Jurema*, Zagreb, 1967. 324...332. old.

*Dr. Gábor László*: Quelques Points de Vue pour le Réglage de la Tension du Réseau, *Acta Technica Ac. Sc. H.*, Tom. 61. **1—2** 1968. 177...188. old.

*Dr. Gábor László*: Circuits with Impedances Having Z-Characteristics. *Acta Technica Ac. Sc. H.*, Tom 61. **1—2** (1968). 155...176. old.

*Dr. Gábor László*: Nuovi tipi di regolatori di tensione per impianti di distribuzione dell' energia elettrica. XI. Convegno Internazionale dell' Automazione e Strumentazione, Milano, 1970.

*Kiss Miklós—Melis János*: Actionarea electrica a dispozitivelor de infasurat si rulat, *Editura Technica*, Bucuresti, 1968.

- Kopniczky Szaniszló—dr. Kelemen Andorné:* Feuchtigkeitsbeständigkeit kaltgehärteter Polyestertergierharze. *Plaste und Kautschuk*, (1964), 594...597. old.
- Kopniczky Szaniszló—dr. Kelemen Andorné:* Einfluss des Verfahrens zur Prüfkörperherstellung auf die Prüfergebnisse. *Plaste und Kautschuk* (1965), 213...216. old.
- Kopniczky Szaniszló—dr. Kelemen Andorné:* Verbesserung der Feuchtigkeitsbeständigkeit von Polyestertergierharzen durch Vorbehandlung der Füllstoffe. *Plaste und Kautschuk* (1965), 599...603. old.
- Lakatos György—Kondor Tibor:* Erfahrungen ausgeführter Arbeiten zwecks Erhöhung der Zuverlässigkeit von Wechselrichtern. 16. Annual conference of EOQC, Oslo, 1972.
- Dr. Lukács József—H. Böhme:* Das Impalla Verfahren. *Elektric* **14** (1962), 1...4. old.
- Dr. Lukács József:* Weitere Verbesserung Nichtlinearer Widerstände. *Energietechnik* **13** (1963), 459...460. old.
- Dr. Lukács József—Bogoly István:* Formation of Electrical Field Perpendicular to the Direction of Discharge Current. *Acta Physica* **54** (1966), 241...242. old.
- Dr. Lukács József:* Si-SiC pn heterojunctions. *Acta Technica Ac. Sc. H.*, Tom. 56. **3—4** (1966), 281...284. old.
- Dr. Lukács József—Renner Gábor:* The importance of elliptical momentum distribution of gas molecules in direct thermoelectrical energy conversion. *Acta Technica Ac. Sc. H.*, 1971.
- Miszlivetz József:* Klimaeinfluss auf Isolationssystem elektrischer Maschinen. *Klimaschutz* **4** (1965), Heft 4. VEB Verlag Technik, Berlin.
- Mocsáry József:* New type high. voltage H. B. C. current limiting fuses. *Hungarian Heavy Industries*, No. **33** (1961), 1...8. old.
- Mocsáry József—Szél György:* New type low-voltage high-rupturing-capacity current-limiting fuses. *Hungarian Heavy Industries*. No. **39** (1962), 28...34. old.
- Dr. Mocsáry József:* Neuere Untersuchungen an Hochspannungs-Hochleistungssicherungen mit sehr hohem Abschaltvermögen und niedrigen Schaltüberspannungen. *Elektrie* **17** (1963), 305...307. old.
- Dr. Mocsáry József:* Überflinke strombegrenzende NH-Sicherungen Typ NOGe und NOSi für Halbleitergleichrichter. *Elektrie* **18** (1964), 208...209. old.
- Dr. Mocsáry József:* Untersuchungen von strombegrenzenden Hochspannungs-Hochleistungs-Sicherungen in Stromkreisen mit unterschiedlichen Netzeinschwingfrequenzen. *Elektrotechnik und Maschinenbau (E und M)*, **81** (1964), 655...661. old.
- Dr. Mocsáry József:* Beitrag zur Frage der Prüfung des Abschaltvermögens von strombegrenzenden Hochspannungs-Hochleistungssicherungen. *Elektrie* **18** (1964), 389...393. old.
- Dr. Mocsáry József:* Schmelzleiterkonstruktionen strombegrenzender HH-Sicherungen und ihr Verhalten bei Unterbrechung kleiner Ströme. *Elektrie* **19** (1965) 310...312. old.
- Dr. Mocsáry József:* Medium-Voltage Current-Limiting Fuses of Extra-High Rupturing-Capacity. *Transelektro News* **3** (1965), 21...28. old.
- Dr. Mocsáry József:* Investigation on Current-Limiting High-Voltage H. R. C. Fuses in Circuits having Different Transient Frequencies. *The Electrical Research Association (ERA)*, Ref. Tr./IB 2282. Sept. 1965, 1...16. old.
- Dr. Mocsáry József:* Medium-Voltage Current-Limiting Fuses of Extra-High Rupturing-Capacity. *Hungarian Heavy Industries* No. **53** (1966), 14...21. old.
- Dr. Mocsáry József:* Ultrarapid High-Breaking-Capacity Current-Limiting-Fuses of Semiconductor-Rectifier Protection. *Transelektro News* **5** (1966), 1...8. old.
- Dr. Mocsáry József:* New High-Voltage High-Rupturing-Capacity Current-Limiting Fuses. *Transelektro News* **8** (1967), 8...15. old.
- Dr. Mocsáry József:* Prüfung des Abschaltvermögens strombegrenzender HH-Sicherungen. *Wissenschaftlich-Technische Mitteilungen des Instituts „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik“ (IPH-Mitteilungen)*, Heft **7** (1968), 70...71. old.
- Dr. Mocsáry József:* Development of High-Voltage High-Breaking-Capacity Current-Limiting Fuses in Hungary. *Hungarian Scientific and Technical Days*, Helsinki. No. **15** (1968), 1...37. old.
- Dr. Mocsáry József:* Operation of H. V. Current-Limiting Fuses under Short-Circuit and Overload Conditions. *Switching Arc Phenomenon*, Lodz, Lengyelország (1970), 237...246. old.
- Molnár István:* Kennwerte der Halbleiter-Leistungsgleichrichter und Methoden zu deren Messung. *Konferencia kiadványa*, Prága, 1962.
- Molnár István—Dr. J. Kroczeck,—M. Kuhnert,—J. Wdowiak:* Mereni některých kontrolních velicin výkonových polovodičových ventil. *Elektrotechn. Obzor* **52** (1963).
- Molnár István:* Hungarian Research Results in the Field of Heavy Current Semiconductors. *Hungarian Scientific and Technical Days*, Helsinki (1968).
- Dr. Néveri István:* Kontaktuntersuchungen im Budapester Forschungsinstitut der Elektroindustrie. *Részlet a Kontakte in der Elektrotechnik c. könyvből*. Akademie Verlag, Berlin, 1965.

- Dr. Néveri István*: Kontaktwerkstoffprüfungen für Niederspannungs-Schaltapparate. *Elektrie* **20** (1966), 11...13. old.
- Dr. Néveri István*: Selection and Examination of Contacts for Low-Voltage Alternating Current Contactors. *Electrical Contact Phenomena*, England-Swansea. (1968).
- Dr. Néveri István*: Fragen der optimalen Bemessung von Schützen. *Elektrie* **25** (1971), 295...296. old.
- Dr. Néveri István*: Optimum Selection of the Parameters Influencing the Endurance of Contact. *Electric Contact Phenomena*, Chicago, Illinois, 1972.
- Pályi Miklós*: Messungsergebnisse von SNV 50. CKD Konferencia kiadvány, 1966.
- Rósa János*: Calculation of D. C. Motor Drives Fed by Thyratrons and by Grid-Controlled Mercury-Arc-Rectifiers. *Acta Technica Ac. Sc. H. Tom. 12. 3—4* (1954).
- Rósa János*: Bemessung von Gleichstrommotoren, die von gittergesteuerten Gleichrichtern bespeist werden. *Deutsche Elektrotechnik*, 1955.
- Sulyok József*: Zusammenfassende Auswertung über die Untersuchung der ungarischen Isoliermuster. *Kantoni Villamosipari Kutató Intézet Kiadványa. 1960. 1...34. old.*
- Sulyok József*: Probleme der Anwendungsmöglichkeit von Pressmassen in elektrischen Geräten für feuchte Tropen. *Plaste und Kautschuk* **14** (1967) 320...322. old.
- Sulyok József*: Einige interessante Gesetzmässigkeiten der Feuchtigkeitsaufnahme von Schichtpresstoffen in feuchttropischem Umgebungsklima. *Kolloquium Umgebungs- und Klimabeanspruchungen. KDT, Leipzig, 1970, 341...362. old.*
- Sulyok József*: Mikroklima der gekapselten elektrischen Einrichtungen in feucht-warmer Umgebung. *Modelling the Effect of Climate on Electrical and Mechanical Engineering Equipment, Praha, 1971. 136...151. old.*
- Dr. Urbánek János*: Essais d'amélioration du refroidissement des turbo-alternateurs. *CIGRÉ, Párizs, 1956.*
- Dr. Vitályos László*: Betriebseigenschaften von gleichrichtergespeisten Gleichstrommotoren. *Deutsche Elektrotechnik, No. 5* (1955).
- Dr. Vitályos László—dr. Benedikt Ottó*: Einige Bemerkungen zu einem Kapitel der Theorie der gittergesteuerten Gleichrichter. *Periodica Polytechnica, 1959.*
- Dr. Vitályos László*: Transient Behaviour of Controlled Rectifiers Feeding Exciting Coils of Electric Machines. *Acta Technica Ac. Sc. H. Tom. 26. 1—2, (1960).*
- Dr. Vitályos László*: Dimensioning of the voltage-controlled compounding system for synchronous alternators. *Periodica Polytechnica, Electrical Engineering, (1966).*
- Weiszburg János*: Electroluminescence as an Energy Equilibrium Process. *Journal of the Physical Society of Japan* **19** (1964), 408. old.
- Weiszburg János*: Optical Measurements and the Darkening Effect of ZnS Fluorescent Materials. *British Journal of Applied Physics* **17** (1966), 693. old.
- Weiszburg János—Weiszburg Jánosné*: Glanzmessungen an Geweben. *Forschungsinstitut für die Textiltechnik (1967).*
- Weiszburg János—Weiszburg Jánosné*: Einige Bemerkungen zur Glanzmessung an Textilien. *Textilpraxis* **22** (1967), 198. old.
- Weiszburg János—dr. Weiszburg Pál*: Erfahrungen und Entwicklungstendenzen in den heiztechnischen Einrichtungen der mit meistens Panel (grosse Platten) Bauweise errichteten neuen Budapestner Wohnsiedlungen. *Sanitär + Heizungstechnik, 38 No. 5 (1973) 474...479; 38 No. 6 (1973) 560...564.*
- Z. dr. Windisch Klára*: Die Anwendung von Epoxyharzen und Epoxylacken in der ungarischen Isolationstechnik. *NDK Tud. Ak. Műanyagipari Kutató Intézetének Közleményei. (1965). I. 5/1...I. 5/7.*

### Hazai előadások

- Bányai Béla*: Villamoskészülékek gyártástechnológiája. *Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyára 1953.*
- Bóday Ottó*: A visszapatánás megszüntetésének módjai kifeszültségű kontaktorokban. *Korszerű Kifeszültségű Kapcsolókészülékek Konferencia, 1968.*
- Bóday Ottó*: Villamos készülékek vizsgálata. Különleges filmtechnika a kutatás és fejlesztés vizsgálatában c. I. Országos Ankéton, Budapest, 1969.
- Bóday Ottó*: Villamos szerelési munkák, anyagok felhasználásának biztonságtechnikája. *Villamos készülékek gyakorlati alkalmazása. Műszaki Könyvnapok keretében; VBKM Kaposvári Villamosági Gyára, Kaposvár, 1962.*

- Bognár István—Stráner György*: Szigetelőanyagok és kábelek egy éves természetes trópusi igénybevételével kapcsolatos tapasztalatok. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Bogoly István*: Szilíciumkarbid alapanyagú nemlineáris ellenállások előállítására. Mérnök Továbbképző Intézet, 1957.
- Bogoly István*: Nemlineáris ellenállások túlfeszültségvevőkhöz. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Bogoly István*: Félvezetők az erősáramú iparban (szilíciumkarbid alapanyagú ellenállások). Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Miskolc, 1960.
- Bogoly István*: Nemlineáris ellenállások felhasználásának lehetőségei. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1961.
- Bogoly István*: Hálózati túlfeszültségvevő készülékek védelmi jellemzőinek néhány kérdése. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1964.
- Dr. Bogoly István*: Túlfeszültségvevő. Mérnök Továbbképző Intézet, 1972.
- Bogosi György*: Tirisztoros daruhajtások. Automatizálás 69' Budapest. (Az előadás kivonata az Automatizálás II. évf. 5. számban megjelent.)
- Bogosi György*: Tirisztoros irányváltó egyenáramú hajtások köráramos és körárammentes vezérléssel. 1. Erősáramú Elektronika Konferencia, 1970. (Az előadás nyomtatásban megjelent.)
- Bogosi György*: Tirisztoros egyenáramú hajtás 4/4-es üzemre, köráramos és köráram nélküli kapcsolással. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Miskolc, 1970.
- Bohner Endre*: Villamosgépek szigetelési problémái. Mérnök Továbbképző Intézet, 1952.
- Bohner Endre*: Szigetelőlakkok ismerete és vizsgálata. Mérnök Továbbképző Intézet, 1953.
- Bokor Lászlóné*: Trópusi galvánbevonatok. Tropikalizálási tanfolyam. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1965.
- Csáthy Károly*: Zárlati vizsgálatok egyenárammal. VKI 20 éves jubileumi ülésszak. 1968.
- Csáthy Károly*: Kiszűrésű villamos készülékek vizsgálati kérdései. Mérnök Továbbképző Intézet, 1972.
- Dávid Péter—Liptay György—Erdey László*: Villamos szigetelőanyagok és szigetelések hőbomlásának derivatográfias vizsgálata. Vegyészkonferencia, Pécs, 1964.
- Dávid Péter*: A termikus analízis alkalmazása villamos szigetelőanyagok és szigetelések vizsgálatára. Villamosipari Kutató Intézet Jubileumi Tudományos Ülésszaka. 1964.
- Dávid Péter*: Szigetelőanyagok molekuláris állapota villamos térben. Magyar Elektrotechnikai Egyesület „A villamosgép és készülékgyártás szigetelőanyagjai” Anketé, 1969.
- Dávid Péter*: Szigetelőanyagok villamos térben. Magyar Kábel Művek, 1970.
- Füzesi Endre*: Tirisztoros hálózatpótló áramforrások. 1. Erősáramú Elektronika Konferencia. 1970.
- Füzesi Endre*: Inverterek alkalmazása szünetmentes áramforrások kialakítására. 2. Erősáramú Elektronika Konferencia, 1973.
- Gadányi Péter*: Szilícium egykristályok minősítési módszerei. Gyöngyös, 1965. EIVRT Gyöngyösi Félvezető Gyára.
- Dr. Ganszky Károly*: Higanygőz egyenirányítók egyes speciális kérdései és mérési problémái. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1952.
- Dr. Ganszky Károly*: Ívfeszültség, visszáram és deionizáció áramirányítóknál. Mérnök Továbbképző Intézet, 1953.
- Dr. Ganszky Károly*: RMNV típusú áramirányítók. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1953.
- Dr. Ganszky Károly*: Elektrolízis nagyteljesítményű energiaellátó rendszerei. Mérnök Továbbképző Intézet, 1954.
- Dr. Ganszky Károly*: Nagyteljesítményű félvezető egyenirányítók. Műszaki Egyetem 10 éves jubileum, 1959.
- Dr. Ganszky Károly*: Áramirányító motorhajtások. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Dr. Ganszky Károly*: Félvezetős egyenirányító berendezések túlfeszültség védelme. Mérnök Továbbképző Intézet, 1962.
- Dr. Ganszky Károly*: Áramirányítás. 1. Erősáramú Elektronika Konferencia. 1970.
- Dr. Ganszky Károly*: Áramirányítás. 2. Erősáramú Elektronika Konferencia. 1973.
- Dr. Gádor László*: Beszámoló a VKKL Szabályozás és Automatika osztályának működéséről. MTA Villamos Automatizálási Szakbizottság, 1954.
- Dr. Gádor László*: Hengersorok automatikus szabályozása. MTA Villamos Automatizálási Szakbizottság, 1954.
- Dr. Gádor László*: Feszültség szabályozó transzformátor önműködő szabályozója. II. Országos Automatizálási Konferencia, 1957.
- Dr. Gádor László*: Vezérelhető nemlineáris hidak. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Dr. Gádor László*: Hálózati feszültség szabályozás. III. Országos Automatizálási Konferencia, 1962.

- Dr. Gádor László:* Egyenáramú hajtások. 1. Erősáramú Elektronika Konferencia, 1970.
- Dr. Gádor László—Czigány Béla:* Önműködő feszültségszabályozás a villamos elosztóhálózaton. 2. Erősáramú Elektronika Konferencia, 1973.
- Dr. Gádor László:* Egyenáramú hajtások. 2. Erősáramú Elektronika Konferencia, 1973.
- Göbl Nándor:* Trópusi igénybevételeknek kitett motorokkal kapcsolatos tapasztalatok. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Horváth Faustó:* Tűlfeszültségvezetők. Szikraközök. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Kafka Nándor—Marti Sándor—dr. Nagy László:* Nagyáramú tirisztoros egyenirányító berendezések elektrokémiai felhasználása. 2. Erősáramú Elektronika Konferencia, 1973.
- Kardos György:* Műanyagszigetelésű kábelek szigetelőanyagai. Híradástechnikai Tudományos Egyesület, 1956.
- Kardos György:* Műanyagok a kábeliparban. Kábel és Sodronykötélgár, 1956.
- Kardos György:* Műanyagszigetelésű és gyengeáramú kábelek. Híradástechnikai Tudományos Egyesület Atviteltechnikai Osztálya, 1959.
- Kardos György:* Polietilén a kábeliparban. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Kardos György:* Műanyagszigetelésű erősáramú kábelek hazai fejlődése. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1962.
- Kardos György:* Poliolfenilészek felépítése, megjelenési formája és alkalmazási területe. Gépipari Tudományos Egyesület, 1962.
- Karsa László:* Ellenállás-hegesztés. Mérnök Továbbképző Intézet, 1960.
- Karsa László:* Pont- és varrathegesztőgépek. Mérnök Továbbképző Intézet, 1960.
- Karsa László:* Könnyűfémek ellenálláshegesztése, Mérnök Továbbképző Intézet, 1960.
- Karsa László:* Félvezető egyenirányítós berendezés túláramvédelme. Mérnök Továbbképző Intézet, 1962.
- Kelemen Tibor:* Szabályozható fordulatszámú egyen- és váltakozóáramú motorhajtások szerzőmunkáin. MTA, 1952.
- Kelemen Tibor—Kiss Miklós:* Amplidin generátorok vizsgálatának tapasztalatai. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1954.
- Kiss Miklós:* Ívkeményszabályozás. 2. Automatizálási Konferencia, 1957.
- Kiss Miklós:* Nagyteljesítményű Ward—Leonard-hajtások áramkorlátozással. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Kiss Miklós:* LKM durvahengermű üzembiztonsága. Mérnök Továbbképző Intézet, 1969.
- Kiss Miklós:* Tirisztoros egyenáramú hajtás armatúraátkapcsolással, ill. mezőátalkalmazással. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Miskolc, 1970.
- Kiss Miklós:* A VBKM és a VKI közös tevékenysége tirisztoros hajtások területén. 1. Erősáramú Elektronika Konferencia, Budapest, 1970.
- Kiss Miklós:* Kohászati üzemek hengerműveinek automatizálási kérdései. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Dunaújváros, 1972.
- Kiss Miklós:* Félvezetős szabályozott villamos hajtások, technikai megoldások, különös tekintettel a csepeli nagyhajtásokra. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, (Csepel), 1972.
- Kopniczky Szaniszló:* Nedvességálló préstermékek és töltőanyaggal elegyített öntőgyanták előállítása. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Kopniczky Szaniszló:* Poliészter öntőgyanták nedvességállóságának javítása a töltőanyag előkezelésével. Szeged, 1963.
- Lakatos György:* Szakaszos üzemben működő, gázkisüléses elemeket tartalmazó ipari elektronikus berendezések megbízhatóságáról. III. Automatizálási Kollokvium, 1966.
- Lakatos György:* Továbbképző előadás a megbízhatóság tárgyköréből. MTA Automatizálási Kutató Intézet szemináriuma, 1966.
- Lakatos György:* 75 Hz inverterek megbízhatóságáról. Szerkezeti konstrukció az elektronikában c. konferencia. 1972.
- Lakatos György:* Ipari elektronikus berendezések megbízhatóságának elmélete. Mérnök Továbbképző Intézet, 1972.
- Leyrer Richárd:* Micaflex, új horonyszigetelő anyag. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1951.
- Leyrer Richárd:* Rétegzett szigetelőanyagok. AGI, 1952.
- Leyrer Richárd:* Rúd-szigetelések. Országos Villamos Szigetelőanyag Kongresszus, 1954.
- Leyrer Richárd:* Poliészter és etoxilin kiöntőgyanták, valamint üvegszálal rétegzett gyártmányok. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, József Attila Szabadegyetem, 1957.
- Leyrer Richárd:* Műanyagszigetelésű feszültségváltók. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Leyrer Richárd:* Műanyagszigetelésű mérőtranszformátorok. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.

- Leyrer Richárd:* Kiöntőgyanták a villamosiparban. Tudományos Ismeretterjesztő Társulat, 1961.
- Leyrer Richárd:* Kiöntőgyanták és alkalmazásuk az erősáramú iparban. Mérnök Továbbképző Intézet, 1962.
- Leyrer Richárd:* A VKI Szigeteléstechikai Laboratóriumának 15 éves munkássága. VKI 15 éves jubileumi tud. ülésszaka, 1964.
- Leyrer Richárd:* A VKI Szigeteléstechikai Főosztályának munkássága. VKI 20 éves jubileumi tud. ülésszaka, 1969.
- Leyrer Richárd:* Korszerű szigetelőanyagok fejlődési irányai a villamosgép és készülékgyártásban. Ankét. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1969.
- Leyrer Richárd:* A VKI Szigeteléstechikai Főosztályának fejlődése és eredményei. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1973.
- Leyrer Richárd:* Porcelán vagy műgyanta szigetelés előnyösebb? Ganz VM, 1973.
- Lénárd S.:* Új magyar hegesztőgépek. MTESZ, 1955.
- Dr. Lukács József:* Túlfeszültségvezetők gyártásának hazai problémái. MTA, 1952.
- Dr. Lukács József:* Az alumíniumipar 25 éves fennállása alkalmából: Alumíniumvezetők kötése rézzel és vassal. Alumíniumipari Ankét, 1955.
- Dr. Lukács József:* Nernst-Ettinghausen effektus mérése szilíciumkarbidon. Veszprémi Fizikus-kongresszus, 1955.
- Dr. Lukács József:* Szilíciumkarbid nemlineáris ellenállások tökéletesítése. Eötvös L. Fizikai Társulat, 1957.
- Dr. Lukács József:* Nemlineáris ellenállások fizikája. Nagyteljesítményű félvezető egyenirányítók. Termovillamos generátorok. Termovillamos hűtés. Mérnök Továbbképző Intézet, 1957.
- Dr. Lukács József:* pn rétegek alkalmazása az erősáramú technikában. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Dr. Lukács József:* Erősáramú félvezetőanyagok perspektív alkalmazása. Mérnök Továbbképző Intézet, 1962.
- Dr. Lukács József:* Félvezetőanyagok elmélete. Világítástechikai V. 1962.
- Dr. Lukács József—Denk Rezső:* Akkumulátoros járművek alkalmazási lehetőségei a városi közlekedésben c. előadása a „Városi tömegközlekedés járművei” szakmai tanácskozáson, Technika Háza, 1970.
- H. dr. Magyar Laura:* Szintetikus zománchuzalok és impregnálólakkok. Országos Villamos Szigetelőanyag Kongresszus, 1954.
- H. dr. Magyar Laura:* Epxigyanták hálósítása szerves támvegyületekkel. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- H. dr. Magyar Laura:* Epxiszigetelések. Mérnök Továbbképző Intézet, 1963.
- H. dr. Magyar Laura:* Szigetelőlakkok trópusi alkalmazhatósága. Klímatanfolyam, 1966.
- H. dr. Magyar Laura:* Sajtolóanyag nedves-melegállósága. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1968.
- H. dr. Magyar Laura:* Javított hőállóságú telítetlen poliészter gyanta előállítása, II. rész. „Technoplast 69” Műanyagok alkalmazása és vizsgálata a gép- és járműiparban konferencia, 1969.
- Magyar Zoltán:* Váltakozóáramú működtető mágnes jelleggörbéinek vizsgálata. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Kiszűrésű készülékek ankét, 1968.
- Marti Sándor:* Félvezető egyenirányítós szabályozott üzemi akkumulátortöltő. III. Automatizálási Kongresszus, 1962.
- Marti Sándor—dr. Nagy László:* Középfrekvenciás tirisztoros inverterek nagyfordulatú közpörös motorok táplálására. 2. Erősáramú Elektronika Konferencia, 1973.
- Marti Sándor—Kaltenbach István:* Elektrokémiai megmunkáló gépek. EKM villamos berendezési. 2. Erősáramú Elektronika Konferencia, 1973.
- Miszlivetz József:* Összehasonlító mérések különféle mesterséges trópusi igénybevételek között. Mykológiai Ankét, 1960.
- Miszlivetz József:* A tropikalizáció kérdései az erősáram területén. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Miszlivetz József:* Összehasonlító mérések különféle mesterséges trópusi igénybevételek között. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Miszlivetz József:* A penészigénybevétel hatása a szigetelőlakkok villamos tulajdonságaira. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.
- Miszlivetz József:* A két éves kínai klimatikus vizsgálatok tapasztalatai és az erősáramú iparág feladatai. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1962.
- Miszlivetz József:* Klíma, klímaigénybevételek ismertetése. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1963.



- Miszlivetz József:* Technikai klímaterületek, mikroklimák. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1963.
- Miszlivetz József:* Gyártmányok klímavédelme, klímaállósági fokozatok. A természetes és mesterséges klíma kapcsolata. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1963.
- Miszlivetz József:* Irányelvek trópusi kivitelű villamos gyártmányoknál alkalmazott anyagokra és kikészítési módokra. Mérnök Továbbképző Intézet, 1963.
- Miszlivetz József:* Trópusi éghajlatú országokba szállítandó villamos gépek és berendezések gyártására vonatkozó általános műszaki feltételek. Mérnök Továbbképző Intézet, 1963.
- Miszlivetz József:* Villamos forgógépekben alkalmazott szigetelési rendszerek öregedésének, ill. élettartamának vizsgálata. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1969.
- Miszlivetz József:* Korszerű sajtolóanyagok fejlesztése és kutatása a VKI-ben. VKI 20 éves jubileumi tudományos ülésszak, 1969.
- Mlinkó Tamás:* Akkumulátor táplálású nagyfeszültségű háromfázisú feszültség- és frekvencia-szabályozó berendezés mérőműszerek hitelesítéséhez. V. Országos Automatizálási Konferencia, 1968.
- Mlinkó Tamás:* Háromfázisú antiparallel kapcsolt tirisztorokról táplált aszinkron motoros hajtás tirisztorainak gyújtási kérdései. 1. Erősáramú Elektronikai Konferencia, 1970.
- Mocsáry József:* Középfeszültségű biztosítók és megszakítók 1958. évi bechovicei zárlati próbái. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1959.
- Mocsáry József:* Középfeszültségű, nagy megszakítóképességű áramkorlátozó olvadóbiztosítók elméleti és gyakorlati kérdései. MTA, Kandidátusi értekezés megvédése, 1962.
- Dr. Mocsáry József:* Középfeszültségű, nagy megszakítóképességű áramkorlátozó olvadóbiztosítók vizsgálatának néhány kérdése. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1963.
- Dr. Mocsáry József:* Zárlati vizsgálatok. Zárlati laboratóriumok. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1964. VKI szakmai kollokviuma.
- Dr. Mocsáry József:* Középfeszültségű, nagy megszakítóképességű áramkorlátozó olvadóbiztosítók újfajta olvadószálkonstrukciói és az azokkal elért eredmények. VKI 15 éves jubileumi tudományos ülésszak, Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1964.
- Dr. Mocsáry József:* Közép- és nagyfeszültségű megszakítókkal szemben támasztott követelmények. Kiválasztási szempontok. Mérnök Továbbképző Intézet, 1966.
- Dr. Mocsáry József:* Villamos készülékek fejlesztésének és gyártásának elvi problémái. KGM Műszaki-Tudományos Tájékoztató Intézet és Magyar Elektrotechnikai Egyesület által rendezett „Erősáramú elektromos ipar 1948—1968” jubileumi tudományos ülésszak és kiállítás, 1968.
- Dr. Mocsáry József:* A VKI Villamos Készülék Főosztályának 20 éves munkássága. VKI 20 éves jubileumi tudományos ülésszak, Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1969.
- Dr. Mocsáry József:* Áramkorlátozó olvadóbiztosítók. „Kisfeszültségű készülékek méretezése” tanfolyam. Mérnök Továbbképző Intézet, 1972.
- Molnár István:* Félvezetők az erősáramú iparban. Magyar Elektrotechnikai Egyesület miskolci helyi csoportja, 1960.
- Molnár István:* Félvezető teljesítményegyenirányítók, tranzisztorok és tirisztorok. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1961.
- Molnár István:* Szilícium diódák pn átmeneteinek melegedés számítása. VKI 15 éves jubileumi tudományos ülésszak, Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1964.
- Molnár István:* Teljesítménydiódák és vezérelt diódák fizikája és mérései. „Tirisztorok alkalmazása villamos hajtásokban” c. szeminárium keretében, MTA AKI, 1966.
- Molnár István:* A Félvezető Főosztály 20 éves munkássága és eredményei. VKI 20 éves jubileumi tudományos ülésszak, Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1969.
- Molnár István:* Helyzetkép a hővillamos generátorokról. MTA Közvetlen Energiaátalakítási Albizottsága ülés, 1971.
- Néveri István:* Kisfeszültségű készülékek megszakítási kérdései. VERTESZ, 1959.
- Néveri István:* Villamos érintkezők méretezése. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1961.
- Néveri István:* Váltakozóáramú kisfeszültségű terheléskapcsoló érintkezőinek élettartama. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1961.
- Dr. Néveri István:* Kisfeszültségű készülékek méretezése. BME 1963, 1964, 1965, 1966, 1967, 1968, 1969.
- Dr. Néveri István:* Villamos érintkezőanyagok. VKI szakmai kollokviuma, 1964.
- Dr. Néveri István:* Villamos érintkezőanyagok kutatása kisfeszültségű kapcsolókészülékek számára. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, VKI 15 éves jubileumi tudományos ülésszaka, 1964.
- Dr. Néveri István:* Szinkron rákapcsoló készülékek. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1965.
- Dr. Néveri István:* Közép- és nagyfeszültségű megszakítók. Mérnök Továbbképző Intézet, 1966.
- Dr. Néveri István:* Kutatási eredmények a kisfeszültségű kontaktorok területén. Ganz KK, 1968.
- Dr. Néveri István:* Az érintkezőanyag kutatás legújabb eredményei. Ganz KK, 1968.

- Dr. Néveri István:* A kisfeszültségű készülékkel kapcsolatos kutatások. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1968.
- Dr. Néveri István:* Kisfeszültségű mágneskapcsolók korszerű méretezése. VKI 20 éves jubileumi tudományos ülésszak, 1969.
- Dr. Néveri István:* Villamos érintkezőkkel kapcsolatos jelenségek. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1970.
- Dr. Néveri István:* Kisfeszültségű kapcsolókészülékek fejlesztése. Mérnök Továbbképző Intézet, 1971.
- Dr. Néveri István:* Motorvédelem megtervezése. Mérnök Továbbképző Intézet, 1972.
- Dr. Néveri István:* A kisfeszültségű készülékek fejlesztésének újabb eredményei. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1972.
- Dr. Néveri István:* Kisfeszültségű kismegszakítók. VBKM Világítástechnikai Gyára, 1973.
- Dr. Néveri István:* Villamos melegfejlesztés. BME, 1973.
- Ninausz István:* Kisfeszültségű hálózatokba beépített új típusú kábelek értékelése. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1959.
- Ninausz István:* Alumíniumköpenyű kábelek korróziógátása. Kábel- és Sodronykötélgár, 1960.
- Ninausz István:* 1 kV-os energiaátviteli kábelek öntőgyanta szerelvényei. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1962.
- Ninausz István:* Vezetékek, kábelfajták ismertetése. Tudományos Ismeretterjesztő Társulat, 1962.
- Ninausz István:* Poliészter öntőgyanta kábelszerelvények és szerelési technológia. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, VERTESZ, 1962.
- Ninausz István:* Új típusú földkábelek és kábelszerelvények. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Építők Szaksz., 1962.
- Ninausz István:* 1 kV-os energiaátviteli kábelek öntőgyanta végelezőinek szerelése. ÉVISZ, 1962.
- Ninausz István:* Poliésztergyanta szerelvények készítése. ÉVISZ, 1962.
- Ninausz István:* Öntőgyanta felhasználása a kábelszerelésnél. ÉM. Elektromos Szerelőp. V., 1962.
- Páfy Miklós:* Vezérelt diódák fizikája és mérései. Tirisztorok alkalmazása villamos hajtásokhoz szeminárium. MTA AKI, 1966.
- Páfy Miklós:* Tirisztorok paraméterei. BNV, 1967.
- Páfy Miklós:* A magyar SNV tirisztorcsalád. VKI 20 éves jubileumi ülésszak. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1969.
- Pesty László:* Az akkumulátoripar aktuális kérdései. Mérnök Továbbképző Intézet, 1954.
- Pesty László:* Galvánelemek és akkumulátorok technológiája. Veszprémi Vegyipari Egyetem, 1955.
- Pesty László:* Akkumulátorok időszerű gazdasági és műszaki kérdései. Miskolci Közlekedéstudományi Egyetem, 1958.
- Pika Imre:* Mesterséges klímavizsgálatok. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, tanfolyam, 1963.
- Pika Imre:* Por-homok hatása az elektrotechnikai gyártmányokra és anyagokra. Tropikalizálási Konferencia, Budapest, 1965.
- Polgár Tibor:* Ívöltési viszonyok kisfeszültségű váltakozóáramú kontaktorokban. Magyar Elektrotechnikai Egyesület Kisfeszültségű készülékek ankét, 1968.
- Rósa János—Vitélyos László:* Szabályozható fordulatszámú motorhajtások fémforgácsoló gépeken. Mérnök Továbbképző Intézet, 1953.
- Rósa János:* Az elektronika ipari alkalmazásai. Mérnök Továbbképző Intézet, 1954.
- Rósa János:* Elektronikus ipari szabályozások. Mérnök Továbbképző Intézet, 1954.
- Rusznayk Andre—dr. Mocsáry József:* Nagyfeszültségű, nagy megszakítóképességű biztosítók. VERTESZ, 1959.
- Salánki Tibor:* Erősáramú vezérelt diódák konstrukciós és technológiai problémái. Mérnök Továbbképző Intézet, 1966.
- Dr. Sárkány Endre:* Porcelán kötőanyagok. Országos Villamos Szigetelőanyag Kongresszus-1954.
- Sulyok József:* Villamos forgógépek trópusi vizsgálata és a trópusi igénybevételnek kitett motorokkal szerzett tapasztalatok. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1962.
- Sulyok József:* Klímavizsgálati módszerek és azok elvi kérdései. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1963.
- Sulyok József:* Beszámoló klimatizációs kutatásokról. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1964.
- Sulyok József:* Nedves trópuson üzemelő villamos berendezések szigetelőanyagainak kiválasztása. Tropikalizálási konferencia, Budapest, 1965.
- Sulyok József:* A klimatológiai kutatások legújabb eredményei. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, Tropikalizációs tanfolyam, 1966.

*Sulyok József:* Klimatológia, klímahatások és hibamechanizmusok. Mérnök Továbbképző Intézet, 1967.

*Sulyok József:* Az alaktényező szerepe a vízgőzdiffúziós folyamatban. Híradástechnikai Tudományos Egyesület, 1969.

*Sulyok József:* Beszámoló előadás a környezetállóság az elektrotechnikában c. prágai szimpoziumról. Híradástechnikai Tudományos Egyesület, 1972.

*Sulyok József:* Legfrissebb eredmények az IEC TC 50 környezetállósági vizsgálatokkal foglalkozó bizottság munkájában. Híradástechnikai Tudományos Egyesület, 1972.

*Stráner György:* Penészállósági vizsgálatok. Magyar Elektrotechnikai Egyesület tanfolyam, 1963.

*Stráner György:* Kísérletek szigetelőlakkok penészcéljára. Tropikalizálási Konferencia, 1965.

*Stráner György:* Festékbevonatok UV állósága. Festék és műanyagbevonatok a korrózióvédelem c. konferencia, 1971.

*Stráner György:* Korszerű bevonatrendszerek. Gépipari Tudományos Egyesület, tanfolyam, 1971.

*Stráner György:* Felületkezelés. Átmeneti védelem. Gépipari Tudományos Egyesület, tanfolyam, 1972.

*Stráner György:* Műanyagbevonatok értékelése. Műanyagok a korrózióvédelemben c. konferencia, Sopron, 1972.

*Szentmártony Aladár:* Modern szigetelőanyagok. MTESZ, 1956.

*Szentmártony Aladár:* A kábelek fejlődése. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1956.

*Szentmártony Aladár:* Klimatológiai kérdések. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1957.

*Talpai József:* Aminoplaszt sajtolóanyagok villamosipari alkalmazásának néhány kérdése. Hőre keményedő műanyagok kolloquium, Esztergom, 1971.

*Török T.—Horváth P.:* Félvezető szilícium előállítására irányuló kutatások. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1969.

*Dr. Urbanek János:* Félvezetők alkalmazása az erősáramú iparban. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1959.

*Dr. Urbanek János:* Budapest közötti világításának korszerűsítése. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1959.

*Dr. Urbanek János:* A hazai kábelkutatás helyzete. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, VIII. Vándorgyűlés, 1959.

*Dr. Urbanek János—dr. Gábor László:* Az erősáramú ipari kutatás jelentősebb eredményei. Magyar Rádió, 1959.

*Dr. Urbanek János:* Hogyan vettek részt az intézet munkatársai a népgazdasági távlati fejlesztési tervek kidolgozásában? Magyar Rádió, 1959.

*Dr. Urbanek János:* Beszámoló a VKI 10 éves működéséről. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.

*Dr. Vitézy László:* Üvegtestű egyenirányítók önműködő rácsvezérlése. II. Automatizálási Konferencia, 1957.

*Dr. Vitézy László:* Járműdinamók tranzisztoros feszültség szabályozása. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1960.

*Dr. Vitézy László—Seregi József:* Az automatizált villamos hajtások helyzete és fejlődése hazánkban. III. Országos Automatizálási Konferencia, 1962.

*Vizér Mátyás:* Az üvegszövet felületi adhéziójának növelése adalékanyagokkal. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1969.

*Z. dr. Windisch Klára:* Csillámragasztás szintetikus ragasztókkal. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1951.

*Z. dr. Windisch Klára:* Újabb mikagyártmányok. Országos Villamos Szigetelőanyag Kongresszus, 1952.

*Z. dr. Windisch Klára:* Csillámpapír gyártmányok. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, 1965.

*Z. dr. Windisch Klára:* Az elektroforetikus lakkozás alkalmazási lehetőségei a szigetelőtechnikában. A villamosgép és készülégyártás szigetelőanyagai ankté, 1969.

*Zoltán István:* Aktív vasanyagok vizsgálata. Mérnök Továbbképző Intézet, 1952.

### Külföldi előadások

*Berend Ervin:* Tranzisztoros vonatvilágítási szabályozóberendezések. Moszkva, a Vasúti Szállítások Közp. Techn. Házában, 1962.

*Dávid Péter—Liptay György—Erdey László:* Derivatographic Study of Electrical Insulators and Insulating Materials. International Symposium on Thermal Analysis, London, 1965.

- Dávid Péter—Liptay György—Erdey László*: Neuere Ergebnisse der thermoanalytische Untersuchung von Isolierstoffe. II. Landeskonferenz für Chemie, Temesvár, 1966.
- Dávid Péter—Liptay György—Erdey László*: Derivatographische Untersuchungen von elektrischen Isolierstoffe. 12. Internationale Tagung der Elektrotechniker, Berlin, 1967.
- Dávid Péter*: Thermoanalytische Untersuchungsmethode in der Isolierstoffforschung. XIII. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Ilmenau. TH. 1968.
- Dávid Péter*: Isolierstoffe im elektrischen Feld. I. Nationalkonferenz: Probleme in der Elektroisoliertechnik und Kabelherstellung, Várna, 1970.
- Dávid Péter—Krajcsovics Ferenc*: Some ideas on the activation of reactans in fuel cells and experiments with the molten carbonate type system. Eighth International Power Sources Symposium, Brighton, 1972.
- Dávid Péter—Zelenyánszky E.*: The possibility of a simple transformation of thermogravimetric curves. BME—MTA Nemzetközi Kerekasztal Konf.: Kinetikai paraméterek meghatározási lehetősége termikus bomlásgörbék alapján címmel. 1972. júl.
- Dr. Gábor László*: Spannungsregelung im Verteilungsnetz. JUREMA, Zagreb, 1964.
- Dr. Gábor László*: Nouvi tipi di regolatori di tensione per impianti di distribuzione dell' energia elettrica. XI. Convegno Internazionale dell'Aut. e Strum. Milano, 1970.
- Kiss Miklós*: Hideghengermű acélszalag előkészítő berendezés hajtásszabályozásai (orosz nyelven). I. Nemzetközi Kohászati Automatizálási Konferencia, Harkov, 1962.
- Kiss Miklós*: Blokkos szabályozott egyenáramú hajtások (német nyelven). „Jurema” Kongresszus, Zagreb, 1964.
- Kiss Miklós*: A tirisztoros hajtások mai helyzete a Magyar Népköztársaságban. Bukarest, 1969. előadás német nyelven, kiadvány román nyelven.
- Kiss Miklós*: Tirisztoros hajtások kohászati alkalmazásai területén eddig elért eredmények és további tervek (orosz nyelven). IV. Nemzetközi Kohászati Automatizálási Konferencia és kiállítás, Zaporozsie, 1971.
- Kiss Miklós*: Eddigi eredmények és tapasztalatok az MNK-ban az irányváltó tirisztoros egyenáramú hajtások területén. III. Automatizált Villamoshajtási Konferencia, Prága, 1971.
- Kopniczky Szaniszló*: Oberflächenvorbehandlung der Füllstoffe für Epoxy- und Polyester-Giessharze zur Verbesserung der Feuchtebeständigkeit. Berlin, 1964.
- Kopnoczky Szaniszló*: Die Verbesserung der Feuchtigkeitsbeständigkeit von Kunststoffen durch die Oberflächenvorbehandlung der Füllstoffe, Varsó, 1967.
- Kopniczky Szaniszló*: Anwendung von neuartigen Katalysatoren zur Vernetzung der Polyesterharze. Halle, 1969.
- Lakatos György—Kondor Tibor*: Erfahrungen ausgeführter Arbeiten zwecks Erhöhung der Zuverlässigkeit von Wechselrichtern. 16. Annual conference of EOQC, Oslo, 1972.
- Leyrer Richárd*: Nutenisolierstoff Mipaflex. Csehszlovák Elektrotechnikai Egyesület, 1952. Bratislava és Kolin.
- H. Dr. Magyar Laura*: Drahtisolierlacke in Ungarn, gegenwärtiger Stand der Technik, Qualitätsforderungen. Zártkörű nemzetközi szigetelőanyag konferencia, Berlin. 1957.
- H. Dr. Magyar Laura*: Mit metallorganischen Verbindungen vernetzte Epoxydharze in der Elektroindustrie. Nemzetközi epoxigyanta és üvegvázas rétegelt termékek kongresszus, Berlin, 1965
- H. Dr. Magyar Laura*: Wärmebeständigkeit der ungarischen Isolierlacke. Nemzetközi Szigetelőanyag konferencia: ELISOT' 72. Várna.
- Marti Sándor*: Silizium Bahnspeise-Gleichrichter. CKD Konferencia, Prága, 1967.
- Marti Sándor—Dr. Nagy László*: Mittelfrequenzumformer für Schleifspindelmotoren. Leipzig. Elektronika Konferencia 1972.
- Marti Sándor—Dr. Nagy László*: Mittelfrequenzumformer für Schleifspindelmotoren. VUSE Konferencia, Praha, 1973.
- Melís János*: Mágneses erősítő hajtássorozat. I. Nemzetközi Kohászati Automatizálási Konferencia, Harkov. 1962.
- Miszlivetz József*: Klimaeinfluss auf Isolationssystem elektrischer Maschinen. ITE. 11. Ülésszaka, Berlin, 1965.
- Mlinkó Tamás*: Zascita tirisztornich konverterov toka pri korotkich zamikanijach, rascscot kommutacionnogo drosszelja. III. Nemzetközi Villamos Hajtás Tudományos Konferencia, Prága, 1971.
- Dr. Mocsáry József*: Neuere Untersuchungen an Hochspannungs-Hochleistungssicherungen mit sehr hohem Abschaltvermögen und niedrigen Schaltüberspannungen. Német Elektrotechnikai Egyesület 10. Ülésszaka, Weimar, 1963.
- Dr. Mocsáry József*: Einfluss von Einschwingfrequenz und Überschwingfaktor der Einschwingspannung auf den Ausschaltvorgang der strombegrenzenden HH-Sicherungen. IPH „Über die Schwierigkeit der Abschaltung mit Sicherungen”. Kollokvium, Berlin, 1963.

*Dr. Mocsáry József:* Einige spezielle Fragen der strombegrenzenden Hochspannungs-Hochleistungssicherungen. Némét Elektrotechnikai Egyesült 11. nemzetközi elektrotechnikai ülészak (11. Internationale Tagung der Elektrotechniker), Berlin, 1965.

*Dr. Mocsáry József:* Über die Ergebnisse der Entwicklung von strombegrenzenden HH- und NH-Sicherungen. Horvát Elektrotechnikai Egyesület, Zágráb, 1966.

*Dr. Mocsáry József:* Prüfung des Abschaltvermögens von strombegrenzenden HH-Sicherungen. Institut „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik“ (IPH) 10 éves jubileumi tudományos ülészak, Berlin, 1966.

*Dr. Mocsáry József:* Development of High-Voltage H.B.C. Current-Limiting Fuses in Hungary. Magyar Tudományos — Műszaki Napok, Helsinki, 1968.

*Dr. Mocsáry József:* Operation of H.V. Current-Limiting Fuses under Short-Circuit and Overload Conditions. „Switching Arc Phenomenon” Tudományos Szimposium, Lodz, 1970.

*Molnár István:* Kennwerte der Halbleiter-Leistungs-Gleichrichter und Methoden zu deren Messung. Prága, 1962.

*Molnár István:* Die in Ungarn erzielten Forschungsergebnisse auf dem Gebiete der Starkstrom-Halbleiter. Magyar Tudományos—Műszaki Napok, Helsinki, 1968.

*Dr. Néveri István:* Kontaktuntersuchungen der Niederspannungs-Schaltgeräte, NDK Tudományos Akadémia, Berlin, 1964.

*Dr. Néveri István:* Selection and examination of contacts. University College of Swansea. (Anglia) 1968.

*Dr. Néveri István:* Eredmények a kisfeszültségű készülékkutatás területén. Szófia, Plovdiv, (BNK) 1969. (A Magyar Tudományos és Műszaki Napok alkalmából.)

*Dr. Néveri István:* Érintkezőanyagokkal kapcsolatos problémák a relétechnikában. Magyar Elektrotechnikai Egyesület, INRECO, 1971.

*Dr. Néveri István:* Fragen der optimalen Bemessung von Schützen. Ilmenau (NDK), 1971.

*Dr. Néveri István:* Optimum Selection of the Parameters Influencing the Endurance of Contacts. Chicago, Illionis (USA), 1972.

*Dr. Néveri István:* Vákuumkapcsoló fejlesztése. Kisfeszültségű Készülékek Össz-szövetségi Kutató Intézete, Harkov (Szovjetunió), 1973.

*Pálffy Miklós:* Messungsergebnisse von SNV 50. Félvezetők az erősáramú elektrotechnikában kongresszus, Prága, 1966.

*Salánki Tibor:* A magyarországi erősáramú félvezetőipar fejlődése és helyzete. Magyar Műszaki Napok, Jugoszlávia (Belgrád), 1969.

*Sulyok József:* Wichtigste Fragen der Auswählung von Isolierstoffen für feuchte Tropen. 11. ITE, Berlin, 1965.

*Sulyok József:* Gesetzmässigkeiten der Feuchtigkeitsaufnahme von Schichtpresstoffen in feucht-tropischen Umgebungsklima. Kolloquium Umgebungs- und Klimabeanspruchungen, Lipcse, 1970.

*Sulyok József:* Mikroklima der gekapselten elektrischen Einrichtungen in feuchtwarmer Umgebung. 2. Internacional Symposium, Praha, 1971.

*Sulyok József:* Modellierung des Mikroklimas mangelhafter Kapselung. ELISOT-72, Varna, 1972.

*Stráner György:* Műanyagok degradációjának értékelése villamos mérésekkel. Korrózióvédelem Konferencia, Drezda, 1972.

*Dr. Urbanek János:* Organisation, domaines d'activité et quelquiss resultats des travaux de recherches d'industrie en Hongrie, Bukarest, 1957.

*Dr. Urbanek János:* Quelques problemes fondamentaux de l'organisation de la recherche industrielle. La recherche industrielle électrotechnique en Hongrie, Gdansk, 1958.

*Dr. Urbanek János:* Turbogenerátorok hűtőgépes hűtése. CIGRÉ, Párizs, 1960.

*Dr. Urbanek János:* L'adaptation aux lieux des appareils d'éclairage public et de leurs supports. Brüsszel, 1962.

*Dr. Vitályos László—Seregi József:* Az automatizált villamos hajtások helyzete és fejlődése a Magyar Népköztársaságban (oroszul). I. Nemzetközi Kohászati Automatizálási Konferencia Harkov, 1962.

*Dr. Vitályos László:* Kompaundált szinkron generátorok (német nyelven). „Jurema” kongresszus, Zagreb, 1964.

*Dr. Vitályos László:* Neue Zugbeleuchtungsregler. „Jurema” kongresszus. Zagreb, 1965.

*Dr. Vitályos László:* Neue automatische Regelung der Zugbeleuchtungstechnik. XI. Internationale Tagung der Elektrotechniker, Berlin (NDK), 1965.

*Dr. Vitályos László:* Eine elektronisch-hydraulische Elektrodenregelung für Lichtbogenöfen. „Jurema” kongresszus, Zagreb, 1968.

Z. Dr. Windisch Klára: Mikape. Csehszlovákia, 1952.

Z. Dr. Windisch Klára: Die Anwendung von Epoxydharzen und Epoxydlacken in der ungarischen Isolationstechnik. I. Nemzetközi Műanyag és Epoxigyanta Kongresszus, NDK, Berlin, 1965.

### Szabadalmak

**1952** Leyrer Richárd—Szabady Jenő: Eljárás horonyszigetelő anyag előállítására. 280 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1953** H. dr. Magyar Laura: Eljárás etoxilinyanta hőre keményedővé alakítására. 1023 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1954** Dr. Bátori Márta—Mocsáry József—Ambrus Győző: Ívöltőanyag és eljárás annak előállítására. 391 lajstromszámú magyar szabadalom.

H. dr. Magyar Laura: Eljárás epoxigyanta hálósítására. 1528 lajstromszámú magyar szabadalom.

B. dr. Keresztes Zsuzsanna—Rusznyák Endre—Mocsáry József—Bors László: Késleltetett kiolvadású olvadóbiztosító, főképpen nagyfeszültségű célra. 430 lajstromszámú magyar szabadalom.

Dr. Lukács József—Bogoly István: Feszültségtől függő (ún. nemlineáris) ellenállástest és eljárás azok előállítására. 143.535 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1956** Leyrer Richárd—Csizy Tibor: Villamos célokra alkalmas szigetelőtest. 145.092 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1957** Mocsáry József—Rusznyák Endre: Változó keresztmetszetű olvadószál biztosítók számára és eljárás annak előállítására. 1449 lajstromszámú magyar szabadalom.

Bohner Endre—Borsos Károly—Dénes Károly: Koaxiális hír- és képközlő távkábel. 145.400 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1958** Rusznyák Endre—Mocsáry József: Villamos biztosítószál. 1564 lajstromszámú magyar szabadalom.

Dr. Lukács József—Molnár István—Királyfalvi István: Eljárás félvezető szerkezet tokozására. 147.250 lajstromszámú magyar szabadalom.

Dr. Lukács József—Bogoly István: Kötőanyag villamos ellenállásokhoz, valamint eljárás annak előállítására és alkalmazására. 149.762 lajstromszámú magyar szabadalom.

Kiss Miklós—Melis János—Vítályos László: Áramszolgáltató berendezés járművekhez. 146.695 lajstromszámú és 148.684 pótbjelentés számú magyar szabadalom.

Dr. Sárkány Endre—Sövegjártó János—Cser Arisztid—Bartal Ferenc: Alumíniumpolifoszfát bázisú anorganikus présmasszaműanyag hő- és íválló elektromos ipari célokra alkalmas prés-szerelvények előállítására. 146.555 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1959** Kondor Tibor—Molnár István—Ganszky Károly: Céloszcilloszkóp a diódák dinamikus karakterisztikáinak felrajzolására. 148.556 lajstromszámú magyar szabadalom.

Gádor László—Melis János: Kétfokozatú feszültség szabályozó berendezés hálózati feszültség-ingadozás csökkentésére. 147.642 lajstromszámú magyar szabadalom.

Dr. Sárkány Endre—Bartal Ferenc: Eljárás az elektromosiparban, elsősorban kapcsolóberendezések ívkamráihoz használt aszbesztcementlemez nemesítésére. 147.831 lajstromszámú magyar szabadalom.

Dr. Lukács József: Hőtranszduktor. 726 lajstromszámú magyar szabadalom.

Dr. Lukács József: Eljárás alumíniumnak ezüsttel történő plattírozására. 59421 lajstromszámú magyar szabadalom.

Dr. Lukács József—Dénes Károly: Közép- és nagyfeszültségű egyeres olajnyomású kábel. 146.969 lajstromszámú magyar szabadalom.

Leyrer Richárd—Gábor Károly: Eljárás villamostekercsek impregnálására. 147.959 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Kiss Miklós—Melis János—Téby Lajos—Vitélyos László:* Áramkorlátozó berendezés járművekhez. 148.335 lajstromszámú magyar szabadalom.

*H. dr. Magyar Laura—Dávid Péter:* Eljárás epoxivegyület, főképpen epoxigyanta hálósítására. 148.558 lajstromszámú magyar szabadalom.

*H. dr. Magyar Laura—Dávid Péter:* Eljárás fémgyanta lakkbevonat és műanyag előállítására. 148.559 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1960** *Kertay Zoltán—Kiss Miklós—Révész György—Vitélyos László:* Kapcsolási elrendezés szinkron motorok gerjesztésének önműködő beállítására. 150.113 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Kiss Miklós—Melis János—Vitélyos László—Téby Lajos:* Elrendezés tranzisztorok sorbakapcsolására. 149.761 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Berend Ervin—Kiss Miklós—Vitélyos László:* Áramkorlátozó kapcsolás generátorok tranzisztoros feszültség szabályozásához, amely a tranzisztorok kapcsolóüzemű működését biztosítja. 151.153 lajstromszámú magyar szabadalom.

*H. dr. Magyar Laura—Dávid Péter—Z. dr. Windisch Klára—Szabady Jenő:* Eljárás módosított sellak előállítására. 149.423 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dr. Lukács József—Molnár István—Gadányi Péter—Hermann Tibor—Joó Oszkár—Salánki Tibor—Németh Imre—Bali György:* Germánium teljesítménydióda és eljárás annak előállítására. 149.027 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Ganszky Károly—Kondor Tibor:* Tranzisztoros akkumulátortöltő. 150.523 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Kertész Zoltán—Frank Endre—Jesch Aladár:* Páncélos karotázs kábel. 148.972 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Bohner Endre—Huber Gyula—Németh Lajos:* Eljárás kopásálló mechanikus igénybevételnek jól ellenálló, kedvező villamos tulajdonságokkal rendelkező távbeszélő zsinór gyártására. 149.114 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1961** *Dr. Sárkány Endre—Bartal Ferenc:* Magnéziumszilikát bázisú hőtechnikai beagyazó massa. 150.293 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Mocsáry József—Szel György:* Olvadóbiztosító. 147.031 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dávid Péter—Jancsovics István—H. dr. Magyar Laura—Miszlivetz József—Szabady Jenő:* Eljárás szálal anyagú fonalakkal burkolt huzal (bélhuzal) előállítására. 150.813 lajstromszámú magyar szabadalom.

#### *Külföldi szabadalmak:*

249.142 számú osztrák szabadalom,  
1.342.234 számú francia szabadalom,  
1.016.608 számú angol szabadalom,  
403.903 számú svájci szabadalom,  
674.798 számú olasz szabadalom.

*Dávid Péter—H. dr. Magyar Laura—Muth Béla—dr. Guba Ferencné—Krajcsovics Ferenc:* Eljárás műgyanta vagy lakk előállítására. 149.652 lajstromszámú magyar szabadalom.

*H. dr. Magyar Laura—Dávid Péter—Z. dr. Windisch Klára—Szabady Jenő:* Eljárás sellak módosítására. 150.449 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dávid Péter—H. dr. Magyar Laura—Szabady Jenő:* Eljárás sellak módosítására. 150.814 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dr. Lukács József—Bogoly István—Horváth Fausto—Nagy G. Álmos—Szabó László:* Túl-feszültséglevezető. 151.351 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1962** *Leyrer Richárd—Anda Géza—Gaál Tibor—Holik István:* Áramváltó. 150.995 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Ganszky Károly—Kondor Tibor:* Tranzisztoros átalakító. 150.450 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Külföldi szabadalmak:*

1.019.085 számú angol szabadalom,  
231.569 számú osztrák szabadalom,  
400.335 számú svájci szabadalom,  
43.930 számú NDK szabadalom,  
1.196.291 számú NSZK szabadalom,  
3.234.452 számú USA szabadalom,  
1.328.130 számú francia szabadalom,  
671.930 számú olasz szabadalom,  
280.634 számú holland szabadalom.

*Dr. Ganszky Károly—Kondor Tibor:* Pótszabalmi bejelentés a Tranzisztoros kapcsolási elrendezés akkumulátortöltőknél. 151.853 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dr. Lukács József—Molnár István—Salánki Tibor—Gadányi Péter—Hermann Tibor—Joó Oszkár—Erős István:* Eljárás szilícium p-n átmenet előállítására. 151.143 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Külföldi szabadalmak:*

702.240 számú olasz szabadalom,  
25.813 számú jugoszláv szabadalom.

*Dr. Sárkány Endre—Bartal Ferenc:* Eljárás hőálló és nagy mechanikai szilárdságú anorganikus kittelés előállítására. 151.245 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1963** *Mocsáry József:* Gyors működésű áramkorlátozó olvadóbiztosító. 150.156 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Berend Ervin—Kiss Miklós—Németh István—Melis János—dr. Vitályos László:* Kapcsolási elrendezés váltakozóáramú töltődinomóval működő járművilágítási berendezéshez. 153.493 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Kiss Miklós:* Kapcsolási elrendezés kapcsolóüzemű tranzisztoros erősítők túlterhelés és zárlat elleni védelmére. 153.381 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Berend Ervin—Kiss Miklós—Magyar Zoltán—dr. Vitályos László:* Kapcsolási elrendezés kompaundált szinkrongépekhez. 152.033 lajstromszámú magyar szabadalom.

*H. dr. Magyar Laura—Jancsovics István—Király János—Prunkl Hugó—Toperczer Lajos:* Poli-etiléntereftalát gyanta előállítása. 151.303 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1964** *H. dr. Magyar Laura:* Eljárás epoxiésztergyanták módosítására. 152.837 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Kiss Miklós—Bencze János:* Kapcsolási elrendezés áramkorlátozáshoz szükséges vezérlőjel létrehozására. 152.661 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Bányai Béla—dr. Mocsáry József—dr. Néveri István:* Gyorskapcsoló áramkörök rövidrezárására. 155.400 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dr. Mocsáry József—Kondor Tibor—Bányai Béla:* Eljárás és berendezés villamos biztosítósál előállítására. 150.812 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Külföldi szabadalmak:*

144.888 számú argentin szabadalom,  
4401 számú egyiptomi szabadalom,  
85.547 számú indiai szabadalom,  
679.604 számú olasz szabadalom.

**1965** *Dr. Simó Tamás—Vizér Mátyás—Miszlivetz József—dr. Muth Béla:* Eljárás villamosságjelző rétegelt műanyag testek előállítására melaminformaldehid addíciós termékek alkalmazásával. 153.495 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dr. Ganszky Károly—Hadas János—Kafka Nándor—Martí Sándor:* Védőkapcsolás félvezető egyenirányító berendezés védelméhez. 153.286 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Kondor Tibor—Biacs Nándor:* Járművek mozgásközbenei azonosítására szolgáló berendezés. 154.293 lajstromszámú magyar szabadalom.



*Kondor Tibor*: Éberségi ellenőrző berendezés vasúti mozdonyhoz. 157.944 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Kondor Tibor*: Kapcsolási elrendezés egyenfeszültségnek szabályozott szinuszos váltakozófeszültséggé történő átalakítására. 153.285 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Külföldi szabadalmak:*

269.999 számú osztrák szabadalom,

60.093 számú NDK szabadalom,

60.207 számú lengyel szabadalom,

1.488.570 számú francia szabadalom.

*Kondor Tibor*: Kapcsolási elrendezés ellenütemű tirisztorok digitális gyújtásszög vezérlésére. 158.217 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Füzesi Endre—Karsa László*: Kapcsolási elrendezés félvezető áramirányító elemek áramtúlterhelhetőségének vizsgálatára. 154.117 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dr. Simó Tamás—Vizér Mátyás—Miszlivetz József—dr. Muth Béla*: Eljárás villamos szigetelő rétegelt műanyag testek előállítására melamin-formaldehid addíciós termékek alkalmazásával. 163.495 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dr. Sárkány Endre—Soóki Tóth Gábor—Benson Tamás—Bartal Ferenc—Balkó Albert*: Eljárás erőáramú hő- és íválló belső szerelvények előállítására. 153.881 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Kiss Miklós—Bencze János*: Kapcsolási elrendezés gerjesztőkörön keresztül történő beavatkozásra. 153.256 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Kiss Miklós—Mészáros Béla—Németh István—dr. Vitályos László*: Kapcsolási elrendezés változó fordulatszámú hajtott öngerjesztésű váltakozóáramú generátorokhoz. 153.013 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1966** *Csaba Béla—Kiss Miklós—Mlinkó Tamás*: Aktív elemek nélküli kapcsolási elrendezés fűrészfog feszültség előállítására. 153.882 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Salánki Tibor—Molnár István—dr. Lukács József—Jókuthy Zoltán—Pálfy Miklós—Joó Oszkár—Hermann Tibor—Erős István*: Eljárás szilícium vezérelt dióda prnp átmenet előállítására. 155.160 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dr. Ganszky Károly—Hadas János—Kafka Nándor—Marti Sándor*: Kapcsolási elrendezés túláramvédelemre. 153.798 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1967** *Kiss Miklós—Pápay László—Nemeskéry Géza*: Kapcsolási elrendezés tirisztoros áramirányítók vezérlésére. 160.423 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dr. Ganszky Károly—Kondor Tibor—Marti Sándor*: Félvezetős feszültségátalakító elrendezés egyenfeszültségnek váltakozófeszültséggé történő átalakítására. 157.585 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Leyrer Richárd—Szaplanczay Pál—dr. Muth Béla—Salánki László*: Eljárás epoxigyanta alapú szigetelőanyagok előállítására. 155.737 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Pádár István—Fábián Tibor*: Közvetlenmutatós elektronikus 1 kg-os Epstein-mérőkészülék. 156.097 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Külföldi szabadalmak:*

1.590.559 számú francia szabadalom,

1.227.773 számú angol szabadalom,

30.194 számú jugoszláv szabadalom,

68.935 számú NDK szabadalom,

66.409 számú lengyel szabadalom.

*Pádár István—Fábián Tibor—dr. Horváth János—Vécsey István*: Hall hatáson alapuló teljesítménymérő, különös tekintettel a vasvesztés mérésére történő alkalmazásokra. 156.344 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dr. Vitályos László—Boér Jenő—Böjthe László—Berend Ervin—Csaba Béla*: Üzemeltetésű impedancia szabályozására. 155.736 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Füzesi Endre—Kondor Tibor—Lencsés József*: Kapcsolási elrendezés egyenfeszültségnek szabályozott nagyságú váltakozófeszültséggé történő átalakítására. 155.008 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Külföldi szabadalmak:*

1.231.008 számú szovjet szabadalom,  
61.302 számú lengyel szabadalom,  
66.899 számú NDK szabadalom,  
248.278 számú osztrák szabadalom.

*Dr. Melis János—dr. Szabó Kálmán*: Feszültségátalakító és hőmérsékletszabályozó Peltier-hűtőelemekhez. 155.963 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1968** *Salánki Tibor—Molnár István—Jókuthy Zoltán—dr. Salacz Tamásné—Pálffy Miklós—Joó Oszkár—Hermann Tibor—Erős István—Sztrókey István*: Eljárás erősáramú szilícium alapanyagú diffúziós dióda pn átmenet előállítására. 158.216 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1969** *Bóday Ottó—Győri Tibor—dr. Néveri István—Vida Gábor*: Szakaszoló érintkezőrendszer. 160.421 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dr. Mocsáry József—Szel György—dr. Néveri István*: Kombinált kioldadási jelleggörbéjű olvadóbiztosító. 157.614 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Külföldi szabadalmak:*

823.241 számú olasz szabadalom,  
462.939 számú svájci szabadalom,  
71.803 számú NDK szabadalom.

*Dr. Ganszky Károly—Kafka Nándor*: Kapcsolási elrendezés összetett alakú nagymerekségű gyűjtőjel előállításához, több tirisztor gyűjtésére. 158.218 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Dr. Ganszky Károly—Marti Sándor—Füzesi Endre*: Kapcsolási elrendezés, különösen egyenfeszültségnek váltakozó feszültségre történő átalakítására szolgáló berendezés. VI-686 lajstromszámú magyar szabadalmi bejelentés.

*Külföldi bejelentések:*

NSZK, Ausztria

*Ballók Imre—Kiss Miklós—Nemeskéry Géza*: Kapcsolási elrendezés műveleti erősítőhöz. 158.357 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Csaba Béla—Mészáros Béla—dr. Vitályos László*: Kapcsolási elrendezés szinkron generátor feszültségének szabályozására és gerjesztőáramának korlátozására. 158.356 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Bogoly István—dr. Lőcsei Béla—dr. Lukács József—Martin Róbert—Hernádi Róbert*: Eljárás SiC alapanyagú villamos túlfeszültségvevő ellenállás előállítására és berendezés az ellenállás zsgorítására. 157.455 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Czigány Béla—dr. Gábor László—Németh István*: Működtető automatika fokozatkapcsolós energetikai berendezésekhez. 161.008 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1970** *Horváth Pál—Molnár István—Jedlovsky Pálné—Gadányi Péter—Török Tivadar—Dombai Ágnes—Bali László—Breitenbach Sándor*: Eljárás nagy tisztaságú szilícium előállítására. 160.612 lajstromszámú magyar szabadalom.

*Bodnár György—Magyar Zoltán—dr. Néveri István*: Rövidzáros gyűrű és elrendezés kapcsolómágneshoz. 163.458 lajstromszámú magyar szabadalom.

**1971** *Füzesi Endre—dr. Ganszky Károly—Lencsés József—Marti Sándor*: Kapcsolási elrendezés, különösen egyenfeszültség állandó nagyságú váltakozófeszültséggé való átalakítására. VI-794 számú szabadalmi bejelentés.

*Kiss Miklós—Mlinkó Tamás*: Eljárás nagy pontosságú feszültség szabályozásra és elrendezés annak megvalósítására. VI-811 számú magyar szabadalmi bejelentés.

*Bohus Aurél—Marti Sándor—dr. Ganszky Károly*: Ütemkövető kapcsoló vasútbiztosítási áramkörhöz. VI-793 számú magyar szabadalmi bejelentés.

*Ballók Imre—Bencze János—Mlinkó Tamás—Kiss Miklós—Montvai József—Nemeskéry Géza—Weiner György:* Kapcsolási elrendezés félvezető áramirányítók túlterhelés elleni védelmére. VI-824 magyar szabadalmi bejelentés.

*Dr. Szabó Kálmán:* Szerkezet termovillamos hűtő, illetőleg fűtőkészülékek elemeinek pontos illesztésére.

*Külföldi szabadalom:*

7.114.034 számú francia szabadalom.

**1972** *Balogh István—Denk Rezső—dr. Lukács József—Molnár István—Pataki Eörs—Szlazsánszky Ferencné:* Szaggató áramkör kisfeszültségű egyenfeszültségforrás áramának megszakítására, különösképpen villamos kisautókhöz. VI-860 számú szabadalmi bejelentés.

*Külföldi bejelentések:*

Ausztria, Bulgária, Jugoszlávia, Olaszország:

*Füzesi Endre—Marti Sándor—dr. Ganszky Károly:* Kapcsolási elrendezés egyenfeszültségből szinuszos váltakozófeszültséget előállító hídkapcsolású inverterre. 163.810 lajstromszámú magyar szabadalom.

## Kitüntetések

BALKÓ ALBERT	Gépipar Kiváló Dolgozója	1958
BÁNYAI BÉLA	Gépipar Kiváló Dolgozója	1969
BENCZE JÁNOS	Munka Érdemrend bronz fokozata	1967
BEREND ERVIN	Akadémiai díj	1968
DR. BOGOLY ISTVÁN	Gépipar Kiváló Dolgozója	1959
	Munka Érdemrend bronz fokozata	1973
	<b>Kossuth-díj</b>	1952
BOHNER ENDRE	Nehézipar Kiváló Dolgozója	1960
BOKOR LÁSZLÓNÉ	Munka Érdemrend bronz fokozata	1965
BUDAI ELEMÉRNÉ	Gépipar Kiváló Dolgozója	1968
CSÁTHY KÁROLY	Szakma Ifjú Mestere ezüst fokozata	1964
F. MOLNÁR ÁGNES	Gépipar Kiváló Dolgozója	1971
FISCHER TIBOR	Kiváló Feltaláló bronz fokozata	1961
GADÁNYI PÉTER	Magyar Elektrotechnikai Egyesület Zipernowszky-díj	1971
DR. GANSZKY KÁROLY	Munka Érdemrend bronz fokozata	1953
	Gépipar Kiváló Dolgozója	1954
	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1964
	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1967
DR. GÁDOR LÁSZLÓ	Gépipar Kiváló Dolgozója	1960
HADAS JÁNOS	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1967
JANCSOVICS ISTVÁN	Gépipar Kiváló Dolgozója	1964
JÁMBOR KORNÉL	Gépipar Kiváló Dolgozója	1969
JOÓ OSZKÁR	Gépipar Kiváló Dolgozója	1959
	Kiváló Feltaláló ezüst fokozata	1963
	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1968
KAFKA NÁNDOR	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1967
KISS MIKLÓS	Gépipar Kiváló Dolgozója	1959
	Munka Érdemrend bronz fokozata	1967
	Magyar Elektrotechnikai Egyesület Nívó-díja	1964
	Gépipar Kiváló Dolgozója	1967
KONDOR TIBOR	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1964
KOPNICZKY SZANISZLÓ	Gépipar Kiváló Dolgozója	1967
LEYRER RICHÁRD	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1967
	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1969
	Munka Érdemrend ezüst fokozata	1972
LAKATOS GYÖRGY	Gépipar Kiváló Dolgozója	1959
	Magyar Elektrotechnikai Egyesület Nívó-díja	1964
	Gépipar Kiváló Dolgozója	1966
	Munka Érdemrend bronz fokozata	1967
LAUB BÉLA	Gépipar Kiváló Dolgozója	1972
LÁZÁR IMRE	Haza Szolgálatáért Érdemrend	1970
DR. LUKÁCS JÓZSEF	Gépipar Kiváló Dolgozója	1950
	<b>Kossuth-díj</b>	1952
	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1963
	Gépipar Kiváló Dolgozója	1965
	Gépipar Kiváló Dolgozója	1967
	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1968
	Magyar Elektrotechnikai Egyesület Zipernowszky-díja	1971
	Munka Érdemrend bronz fokozata	1969

H. DR. MAGYAR LAURA	Magyar Elektrotechnikai Egyesület Nívó-díja	1966
MAGYAR LÁSZLÓ	Gépipar Kiváló Dolgozója	1971
MARTI SÁNDOR	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1967
MEZEI PÁL	Magyar Népköztársasági Érdemérem bronz fokozata	1952
	Gépipar Kiváló Dolgozója	1973
MISZLIVETZ JÓZSEF	Gépipar Kiváló Dolgozója	1959
MLINKÓ TAMÁS	Gépipar Kiváló Dolgozója	1967
DR. MOCSÁRY JÓZSEF	Gépipar Kiváló Dolgozója	1963
	Magyar Elektrotechnikai Egyesület Déri-díja	1964
	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1965
	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1966
	Gépipar Kiváló Dolgozója	1967
	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1968
	Munka Érdemrend bronz fokozata	1971
	Kiváló feltaláló arany fokozata	1973
MOLNÁR ISTVÁN	Szocialista Munkáért Érdemérem	1962
	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1963
	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1968
	Magyar Elektrotechnikai Egyesület Zipernowszky-díja	1968
	Gépipar Kiváló Dolgozója	1967
MOKOS LAJOS	Gépipar Kiváló Dolgozója	1970
NEMESKÉRY GÉZA	Gépipar Kiváló Dolgozója	1965
DR. NÉVERI ISTVÁN	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1973
	Gépipar Kiváló Dolgozója	1966
NIKOLOVICS GYÖRGY	<b>Kossuth-díj</b>	1956
NINAUSZ ISTVÁN	Gépipar Kiváló Dolgozója	1969
OBER FERENC	Gépipar Kiváló Dolgozója	1970
PÉK JÓZSEF	Gépipar Kiváló Dolgozója	1972
PÁLFY MIKLÓS	Haza Szolgálatáért Érdemérem arany fokozata	1972
RAFFINGER ANDRÁS	Kiváló Feltaláló ezüst fokozata	1963
SALÁNKI TIBOR	Gépipar Kiváló Dolgozója	1967
	Kiváló Feltaláló arany fokozata	1968
SULYOK JÓZSEF	Gépipar Kiváló Dolgozója	1973
SZENTMÁRTONY ALADÁR	<b>Kossuth-díj</b>	1956
TAR FERENC	Gépipar Kiváló Dolgozója	1967
TÓTH ISTVÁN	Gépipar Kiváló Dolgozója	1967
TURÓS GYÖRGY	Gépipar Kiváló Dolgozója	1969
DR. ÜRBANEK JÁNOS	<b>Kossuth-díj</b>	1953
	Munka Érdemrend arany fokozata	1968
DR. VITÁLYOS LÁSZLÓ	Magyar Elektrotechnikai Egyesület Zipernowszky-díja	1952
	Munka Érdemrend bronz fokozata	1967
	Akadémiai díj	1968
Z. DR. WINDISCH KLÁRA	Magyar Népköztársasági Érdemérem ezüst fokozata	1953

## Akadémiai tudományos fokozatok

DR. BOGOLY ISTVÁN	Műszaki tudományok kandidátusa	1969
DR. GANSZKY KÁROLY	Műszaki tudományok kandidátusa	1965
DR. GÁDOR LÁSZLÓ	Műszaki tudományok kandidátusa	1961
DR. KOCSIS ALBERT	Kémiai tudományok kandidátusa	1961
DR. LÉNÁRD SÁNDOR	Műszaki tudományok kandidátusa	1952
DR. LUKÁCS JÓZSEF	Műszaki tudományok kandidátusa	1967
	Műszaki tudományok doktora	1973
	Akadémiai levelező tag	1962
DR. MOCSÁRY JÓZSEF	Műszaki tudományok kandidátusa	1963
DR. NÉVERI ISTVÁN	Műszaki tudományok kandidátusa	1954
DR. RUSZNYÁK ENDRE	Műszaki tudományok kandidátusa	1956
RÓSA JÁNOS	Műszaki tudományok kandidátusa	1952
DR. URBANEK JÁNOS	Műszaki tudományok doktora	1956
DR. VITÁLYOS LÁSZLÓ	Műszaki tudományok kandidátusa	1956

## Egyetemi doktori fokozatok

DR. BOGOLY ISTVÁN	Budapesti Műszaki Egyetem	1969
DR. GANSZKY KÁROLY	Budapesti Műszaki Egyetem	1965
DR. GÁDOR LÁSZLÓ	Budapesti Műszaki Egyetem	1961
DR. GRUBER PÉTER	Veszprémi Vegyipari Egyetem	1969
DR. KOCSIS ALBERT	Veszprémi Vegyipari Egyetem	1962
DR. LÉNÁRD SÁNDOR	Budapesti Műszaki Egyetem	
DR. LUKÁCS JÓZSEF	Budapesti Műszaki Egyetem	1949
H. DR. MAGYAR LAURA	Budapesti Tudományegyetem	1943
DR. MISZLIVETZ JÓZSEF	Budapesti Műszaki Egyetem	1973
DR. MOCSÁRY JÓZSEF	Budapesti Műszaki Egyetem	1963
DR. NAGY LÁSZLÓ	Budapesti Műszaki Egyetem	1973
DR. NÉVERI ISTVÁN	Budapesti Műszaki Egyetem	1963
DR. RUSZNYÁK ENDRE	Budapesti Műszaki Egyetem	1954
DR. SALÁNKI TIBOR	Budapesti Műszaki Egyetem	1973
DR. SÁRKÁNY ENDRE	Budapesti Tudományegyetem	
DR. SIMÓ TAMÁS	Budapesti Műszaki Egyetem	1967
DR. URBANEK JÁNOS	Parizs — Sorbonne	1930
DR. VITÁLYOS LÁSZLÓ	Budapesti Műszaki Egyetem	
Z. DR. WINDISCH KLÁRA	Budapesti Tudományegyetem	1944

# Tartalomjegyzék

<b>Dr. Heiczman János:</b> A 25 éves Villamosipari Kutató Intézet köszöntése .....	5
<b>Dr. Lukács József:</b> A 25 éves Villamosipari Kutató Intézet tevékenysége és eredményei .....	7

## Szigeteléstechnikai Főosztály

1. A VKI Szigeteléstechnikai Főosztályának 25 éves munkássága (Leyrer R.) .....	21
2. Villamos szigetelőréteg kialakítására alkalmas elektroforetikus felvihető lakkrendszerek tulajdonságai és alkalmazásuk (Z. dr. Windisch K. – Pados F.-né) .....	33
3. Villamos forgógépekben alkalmazott szigetelési rendszerek öregedésének, ill. élettartamának meghatározása (Dr. Miszlivetz J.) .....	43
4. Tokozott villamos berendezések mikroklímája nedves-meleg környezet esetén (Sulyok J.) .....	55
5. Vizsgálati módszer a vastagság menti kötőanyagelosztás meghatározására prepregekben (H. dr. Magyar L. – Vízér M.) .....	73
6. Külsőtéri öntőgyanta-rendszerek alkalmazási és technológiai sajátosságainak kutatása (Leyrer R. – Szaplóczay P. – Pika I.) .....	85
7. Epoxigyanta alapú villamosipari sajtolóanyagok fejlesztése és alkalmazástechnológiai problémái (Dr. Fazekas G.-né – Talpai J.) .....	103

## Villamos Berendezés Főosztály

8. A VKI Villamos Berendezés Főosztályának 25 éves munkássága (Kiss M.) .....	121
9. Dunai Vasmű Meleghengerműve előnyújtósori 6230 kW-os vízszintes főhajtásának szabályozása (Ballók I. – Mlinkó T. – Weiner Gy.) .....	135
10. A villamos hajtások terén végzett kutatómunka eredményei a VKI-ben, a további fejlődés várható irányai (Bencze J.) .....	151
11. Tetszőleges időbeli lefolyású jelek hosszú integrálási időre vonatkozó effektív értékének mérése (Bíró L.) .....	159
12. Készülékek villamos elosztóhálózatok feszültségtartására és ellenőrzésére (Németh I.) .....	169
13. BD 130 pénztárgép-adatgyűjtő rendszer (Bohus A. – Ivánszky B.) .....	181
14. Erőművek automatikájának szünetmentes áramellátása (Füzesi E. – dr. Nagy L.) .....	207
15. Hibrid táplálású, villamos hajtású autóbusz (Nagy P.) .....	219
16. Ipari elektronikus berendezések megbízhatósági kérdései (Lakatos Gy.) .....	233
17. Hőtehetetlen nemlineáris híd (Dr. Gádor L.) .....	245

## Villamos Technológiák Főosztály

18. A VKI Villamos Technológiák Főosztályának 25 éves munkássága (Molnár I.) .....	255
19. Lökésgerjesztő négyszög alakú áramhullámok előállítására (Dr. Bogoly I.) .....	273
20. Erősáramú felvezető eszközök fejlesztésének néhány kérdése (Pálffy M. – Böhönyei F.) .....	283
21. Ge-Si anyagú termovillamos generátorok készítésének néhány problémája (Török T. – Keleti J. – Rátkay Zs.) .....	295
22. Elektrodinamikus nyomásos öntés kutatása (Denk R. – Balogh I.) .....	313
23. Kis- és középteljesítményű villamos járművek fejlesztési kérdései (Balogh I. – Benedek M. – Pataki E.) .....	321
24. A villamos energia közvetlen előállítási módszereinek kutatása (Horváth P. – Ágh J. – Soóki Tóth G.) .....	339
25. Szilíciumbázisú napelemek és tulajdonságaik (Horváth P. – Jedlovzsky P.-né – Molnár I.) .....	353

### **Villamos Készülék Főosztály**

26. A VKI Villamos Készülék Főosztályának 25 éves munkássága (Dr. Néveri I.)	367
27. Áramkorlátozó biztosítókkal elért kutatási eredmények (Dr. Mocsáry J.)	381
28. Kisfeszültségű, váltakozóáramú kontaktorok néhány méretezési kérdése (Bóday O. – Polgár T.)	391
29. A plazmatechnika alkalmazása a fémmegmunkálásban (Pócsy F. – Tanos E.)	403
30. Nagy zárlati szilárdságú szakaszoló érintkezőrendszerének kidolgozása (Győry T.)	417
31. A rákapcsolási szög szerepe a háromfázisú villamos készülékek dinamikus igénybevételének kialakulásában (Csáthy K. – dr. Selmeczi V.)	427

### **Villamos Kerámiai és Hőtechnikai Főosztály**

32. $\beta$ -korund kerámia anyagú szilárd ionvezető összetétele (Dr. Gruber P.)	437
--	-----

### **Félvezető Elemek Technológiája Önálló Osztály**

33. Erősáramú vezérelhető félvezető elemek technológiai és konstrukciós kérdései (Salánki T.)	451
A VKI munkatársainak 25 éves publikációs és egyéb tevékenysége	463



## Содержание

Д-р <b>Ианош Хейцман</b> : С 25-и летием Научно-Исследовательского Института Электрической Промышленности .....	5
Д-р <b>Йожеф Лукач</b> : Деятельность и результаты 25-и летнего Научно-Исследовательского Института Электрической Промышленности .....	7

### Главотдел Изоляционной Техники

1. 25-летняя деятельность Главотдела Изоляционной Техники Научно-Исследовательского Института Электрической Промышленности (Р. Лейрер) .....	21
2. Особенности и возможности применения систем лаков, наносимых методом электрофореза, пригодных для изготовления электрических изолирующих слоев (З. д-р К. Виндиш—Ф-не Падош) .....	33
3. Определение старения и срока службы различных изолирующих систем, применяемых в электрических машинах (д-р Й. Мисливец) .....	43
4. Микроклимат в электрических устройствах, снабженных корпусами при влажном-теплом окружении (И. Шуйок) .....	55
5. Методика испытания распределения по толщине связывающего вещества в «препрегах». (Х. д-р Л. Мадьяр—М. Визер) .....	73
6. Исследование особенностей технологии и возможностей применения систем заливных смол для наружных установок. (Р. Лейрер—П. Саплонцаи—И. Пика) .....	85
7. Разработка и проблемы технологии применения прессматериалов электрической промышленности на базе эпоксидных смол. (Д-р Г-не Фазекаш—И. Талпаи) .....	103

### Главотдел Электрических Оборудований

8. 25-и летняя деятельность Главотдела Электрических Оборудований Научно-Исследовательского Института Электрической Промышленности (М. Кишш) .....	121
9. Проблемы регулирования системы Варда—Леонарда главного горизонтального привода с мощностью 6230 кВт блуминга цеха горячей прокатки Дунайского Металлургического Комбината (И. Баллок—Т. Млинко—Дь. Вейнер). .....	135
10. Итоги исследовательских работ, проведенных в области электрических приводов в Научно-Исследовательском Институте Электрической Промышленности, ожидаемое направление дальнейшего развития (И. Бенце) .....	151
11. Измерение действующего значения при относительно длительном времени интегрирования сигналов с произвольным прохождением по времени (Л. Биро) .....	159
12. Устройство для контроля поддержания величины напряжения электрических распределительных цепей (И. Немет) .....	169
13. Система сбора данных кассовых аппаратов типа БД 130 (А. Бохуш—Б. Ивански) ...	181
14. Непрерывное питание током автоматики электрических станций (Э. Фюзеши—д-р Л. Надь) .....	207
15. Автобус гибридного питания с электрическим приводом (П. Надь) .....	219
16. Вопросы надежности устройств промышленной электроники (Дь. Лакаатош) .....	233
17. Нелинейный мост с термической инерцией (Д-р Л. Гадор) .....	245

### Главогдел Электрических Технологий

18. 25-и летняя деятельность Главогдела Электрических Технологий Научно-Исследовательского Института Электрической Промышленности (И. Молнар) .....	255
19. Импульсный возбудитель прямоугольных волн тока (Д-р И. Богой) .....	273
20. Некоторые вопросы разработки сильноточных полупроводниковых приборов (М. Палфи—Ф. Бехёней) .....	283
21. Некоторые проблемы разработки термоэлектрических генераторов на базе германия-кремния (Т. Терек—И. Келети—Ж. Раткаи) .....	295
22. Исследование литья под электродинамическим давлением (Р. Денк—И. Балог) .....	313
23. Вопросы разработки электрических средств транспорта малой и средней мощности (И. Балог—М. Бенедек—Э. Патаки) .....	321
24. Исследование методов непосредственной выработки электрической энергии (П. Хорват—И. Аг—Г. Шооки-Тот) .....	339
25. Кремниевые солнечные батареи и их особенности (П. Хорват—П. Йедловски-не—И. Молнар) .....	353

### Главогдел Электрических Аппаратов

26. 25-и летняя деятельность Главогдела Электрических Аппаратов Научно-Исследовательского Института Электрической Промышленности (Д-р И. Невери) .....	367
27. Результаты исследований, достигнутые в области токоограничивающих предохранителей (Д-р И. Мочари) .....	381
28. Некоторые вопросы расчета контактов переменного тока низкого напряжения (О. Бодаи—Т. Полгар) .....	391
29. Применение плазменной техники при обработке металлов (Ф. Почи—Е. Танош) .....	403
30. Разработка системы контактов разъединителей с высокой прочностью короткого замыкания (Т. Дьери) .....	417
31. Роль угла подключения в формировании динамических нагрузок трехфазных электрических устройств (К. Чати—д-р В. Шелмеци) .....	427

### Главогдел Электрической керамики Теплотехники

32. Состав твердого ионного проводника из керамического $\beta$ -корунда (Д-р П. Грубер) ...	437
--	-----

### Технологический Отдел Полупроводниковых Элементов

33. Технологические и конструкционные вопросы сильноточных управляемых полупроводниковых приборов (Т. Шаланки) .....	451
25-и летняя публикационная и прочая деятельность сотрудников Научно-Исследовательского Института Электрической Промышленности .....	463

# Inhalt

<b>Dr. J. Heiczman:</b> Wir grüssen das 25-jährige Forschungsinstitut der Elektroindustrie .....	5
<b>Dr. J. Lukács:</b> Tätigkeit und Ergebnisse des 25-jährigen Forschungsinstituts der Elektroindustrie .....	7

## Isolationstechnische Hauptabteilung

1. 25-jährige Tätigkeit der Isolationstechnischen Hauptabteilung des Forschungsinstituts der Elektroindustrie (R. Leyrer) .....	21
2. Eigenschaften und Anwendung von Lacksystemen durch elektrophoretisches Auftragen für die Bildung elektrischer Isolierstoffüberzüge (Z. dr. K. Windisch – Frau F. Pados) .....	33
3. Bestimmung der Alterung und der Lebensdauer von in elektrischen rotierenden Maschinen verwendeten Isoliersystemen (Dr. J. Mislivetz) .....	43
4. Das Mikroklima von elektrischen Einrichtungen in gekapselter Ausführung in feuchtwarmer Umgebung (J. Sulyok) .....	55
5. Prüfmethode für die Bestimmung der Bindemittelverteilung entlang der Dicke in Prepregs (H. dr. L. Magyar – M. Vizér) .....	73
6. Forschung der technologischen Eigenschaften von Freiluft-Geissharzsystemen hinsichtlich der Technologie und der Anwendung (R. Leyrer – P. Szaplóczay – I. Pika) .....	85
7. Entwicklung und anwendungstechnologische Probleme von Formmassen der Elektroindustrie auf Epoxidharzbasis (Frau Dr. G. Fazekas – J. Talpai) .....	103

## Hauptabteilung für elektrische Einrichtungen

8. 25-jährige Tätigkeit der Hauptabteilung für elektrische Einrichtungen des Forschungsinstituts der Elektroindustrie (M. Kiss) .....	121
9. Regelungsprobleme eines 6230 kW Ward – Leonard Hauptantriebes des Warmwalzwerks im „Donau“-Eisenhüttenwerk (I. Ballók – T. Mlinkó – Gy. Weiner) .....	135
10. Ergebnisse der Forschung der elektrischen Antriebe im Forschungsinstitut der Elektroindustrie, Tendenzen der Weiterentwicklung (J. Benze) .....	151
11. Die Messung der Effektivwerte von Grössen mit beliebigem zeitlichem Ablauf bei langer Integrationszeit (L. Biró) .....	159
12. Geräte für die Spannungskonstanthaltung und die Kontrolle der elektrischen Verteilernetze (I. Németh) .....	169
13. Datenerfassungssystem für Registrierkassen der Type BD 130 (A. Bohus – B. Ivánszky) .....	181
14. Unterbrechunglose Stromversorgung von Kraftwerk-Automatiken (E. Füzesi – dr. L. Nagy) .....	207
15. Hybrid gespeister Omnibus mit elektrischem Antrieb (P. Nagy) .....	219
16. Zuverlässigkeitsfragen der industriellen elektronischen Einrichtungen (Gy. Lakatos) .....	233
17. Wärmeströme nichtlineare Brückenschaltung (Dr. L. Gádor) .....	245

## Hauptabteilung für elektrische Technologien

18. 25-jährige Tätigkeit der Hauptabteilung für elektrische Technologien des Forschungsinstituts der Elektroindustrie (I. Molnár) .....	255
19. Stossgenerator für die Erzeugung rechteckförmiger Stromwellen (Dr. J. Bogoly) .....	273
20. Einige technologische Probleme der Entwicklung von Halbleiterbauelementen für die Starkstromtechnik (M. Pálfy – F. Böhönyei) .....	283
21. Einige Probleme über die Fertigung von thermoelektrischen Generatoren auf Ge-Si Basis (T. Török – J. Keleti – Zs. Rátkay) .....	295

22. Forschung des elektrodynamischen Druckgusses (R. Denk – I. Balogh) . . . . .	313
23. Entwicklungsfragen von elektrischen Fahrzeugen kleiner und mittlerer Leistung (I. Balogh – M. Benedek – E. Pataky) . . . . .	321
24. Forschung von direkten Erzeugungsmethoden der elektrischen Energie (P. Horváth – J. Ágh – G. Soóki-Tóth) . . . . .	339
25. Solarzellen auf Siliziumbasis und ihre Eigenschaften (P. Horváth – I. Molnár – Frau P. Jedlovsky) . . . . .	353

**Hauptabteilung für Schaltgeräte**

26. 25-jährige Tätigkeit der Hauptabteilung für Schaltgeräte des Forschungsinstituts der Elektroindustrie (Dr. I. Néveri) . . . . .	367
27. Forschungsergebnisse von strombegrenzenden Sicherungen (Dr. J. Mocsáry) . . . . .	381
28. Einige Bemessungsfragen der Niederspannungs-Wechselstromschütze (O. Bóday – T. Polgár) . . . . .	391
29. Anwendung der Plasmatechnik in der Metallbearbeitung (F. Pócsy – E. Tanos) . . . . .	403
30. Entwicklung eines Trennschalter-Kontaktsystems mit grosser Kurzschlussfestigkeit (T. Györy) . . . . .	417
31. Wirkung des Draufschaftwinkels auf den Verlauf der dynamischen Beanspruchung von elektrischen Dreiphasengeräten (K. Csáthy – dr. V. Selmeczi) . . . . .	427

**Hauptabteilung für Elektrokera­mie und Wärmetechnik**

32. Zusammensetzung des festen Ionleiters aus $\beta$ -Korund-Keramik-Material (Dr. P. Gruber) . . . . .	437
--	-----

**Abteilung für Halbleiterelementen Technologie**

33. Fragen von Technologie und Konstruktion der steuerbaren Halbleiterbauelemente für die Starkstromtechnik (T. Salánki) . . . . .	451
25-jährige Publikations- und andere Tätigkeit der Mitarbeiter im Forschungsinstitut der Elektroindustrie . . . . .	463

# Contents

<b>Dr. J. Heiczman:</b> Our congratulations to the 25-year-old Research Institute of the Electrical Industry .....	5
<b>Dr. J. Lukács:</b> Activity and results of the 25-year-old Research Institute of the Electrical Industry .....	7

## Department of Insulation Technique

1. 25-year-old activity of the Department of Insulation Technique of the Research Institute of the Electrical Industry (R. Leyrer) .....	21
2. Properties and uses of lacquer systems suitable for the electrophoretic deposition of electrical insulating coatings (Z. dr. K. Windisch–Mrs. F. Pados) .....	33
3. Determination of ageing and service life of insulation systems applied in electric rotary machines (Dr. J. Míszlivetz) .....	43
4. Microclimate of encapsulated electrical equipment under damp heat ambient conditions (J. Sulyok) .....	55
5. A test method for the determination of binderdistribution along the thickness of prepregs (H. dr. L. Magyar–M. Vizér) .....	73
6. Research of technological properties of out-door casting-resin systems and their applications (R. Leyrer–P. Szaplóczay–I. Pika) .....	85
7. Development and application technology of epoxy-resin-based moulding materials used in electrical industry (Mrs. G. Fazekas–J. Talpai) .....	103

## Department of Electrical Equipments

8. 25-year-old activity of the Department of Electrical Equipments of the Research Institute of the Electrical Industry (M. Kiss) .....	121
9. Regulation problems of the Ward–Leonard system applied to the 6230 kW main breaking-mill drive of the Hot-Rolling Mill at the Dunai Vasmű (Danubian Iron Works) (I. Ballók–T. Mlinkó–Gy. Weiner) .....	135
10. Results of research work on electric drives performed in the Research Institute of the Electrical Industry and prospective trends of further development (J. Bencze) .....	151
11. Measurement of r.m.s. values of arbitrary-wave-form signals over prolonged integration intervals (L. Bíró) .....	159
12. Apparatus developed for regulating and controlling the voltage of electric distribution networks (I. Németh) .....	169
13. BD 130 cash-register data-logging system (A. Bohus–B. Ivánszky) .....	181
14. No-break power supply of automatic control systems in power stations (E. Füzési–dr. L. Nagy) .....	207
15. Hybrid supplied electric drive bus (P. Nagy) .....	219
16. Reliability aspects of industrial electronic equipments (Gy. Lakatos) .....	233
17. Non-linear bridge of high thermal inertia (Dr. L. Gádor) .....	245

## Department of Electrical Technologies

18. 25-year-old activity of the Department of Electrical Technologies of the Research Institute of the Electrical Industry (I. Molnár) .....	255
19. Impulse generator for producing long-duration current waves (Dr. I. Bogoly) .....	273

20. Some technological aspects of the development of power semiconductor devices (M. Pálffy – F. Böhönyei) .....	283
21. Some problems in the production of thermoelectric generators based on Ge-Si alloys (T. Török – I. Keleti – Zs. Rátkai) .....	295
22. Research of electrodynamic pressure casting (R. Denk – I. Balogh) .....	313
23. Development of low and medium-power electric vehicles (I. Balogh – M. Benedek – E. Pataki) .....	321
24. Research of the methods of direct production of electric energy (P. Horváth – J. Ágh – G. Soóki-Tóth) .....	339
25. Silicon-based solar cells and their properties (P. Horváth – Mrs. P. Jedlovszky – I. Molnár) .....	353

#### **Switchgear Department**

26. 25-year-old activity of the Switchgear Department of the Research Institute of the Electrical Industry (Dr. I. Néveri) .....	367
27. Results achieved in the research of current-limiting fuses (Dr. J. Mocsáry) .....	381
28. Some aspects of dimensioning low-voltage a.c. contactors (O. Bóday – T. Polgár) .....	391
29. Application of plasma techniques in metalworking processes (F. Pócsy – E. Tanos) .....	403
30. Development of an isolator contact system of high short-circuit strength (T. Győry) .....	417
31. The role of switching angle in the development of electromechanical stresses in three-phase electric apparatus (K. Csáthy – dr. V. Selmeczi) .....	427

#### **Department of Electrical Ceramics and Heat Technique**

32. Solid ion conductor composed of $\beta$ -corundum ceramic material (Dr. P. Gruber) .....	437
--	-----

#### **Semiconductor Technology Department**

33. Technological and constructional problems of controllable power semiconductor elements (T. Salánki) .....	451
25-year-old publications and other activities of the research workers of the Research Institute of the Electrical Industry .....	463









