

VKI
KÖZLEMÉNYEI
2

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET KÖZLEMÉNYEI

2

MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ, BUDAPEST

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

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET
KÖZLEMÉNYEI

2

KÖZZÉTESZI:

DR. URBANEK JÁNOS

c. egyetemi tanár

Kossuth-díjas, a műszaki tudományok doktora, a párizsi egyetem doktora,
az Intézet igazgatója

SZERKESZTETTE:

a Szerkesztő Bizottság

DR. GÁDOR LÁSZLÓ

okl. gépészmérnök,
a műszaki tudományok kandidátusa,
a Villamos Berendezések
Laboratórium vezetője

LEYRER RICHÁRD

okl. vegyészmérnök,
a Szigeteléstechikai Laboratórium
vezetője

DR. LUKÁCS JÓZSEF

Kossuth-díjas,
okl. gépészmérnök,
a műszaki tudományok doktora,
a Félvezető Laboratórium vezetője

DR. MOCSÁRY JÓZSEF

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

SULYOK JÓZSEF

okl. gépész- és villamosmérnök,
tudományos osztályvezető

TAR FERENC

okl. villamos- és gazdasági mérnök,
az Intézet főmérnöke

FELELŐS KIADÓ: AZ INTÉZET IGAZGATÓJA

A kiadási munkálatokat a Műszaki Könyvkiadó végezte
A kézirat lezárva: 1967 szeptember
Felelős szerkesztő: Székely Zoltánné okl. villamosmérnök
Műszaki szerkesztő: Harkai József
Azonosítási szám: 60 189
68-5830 — Szegedi Nyomda

A VKI helyzete és fejlődési irányai az új gazdasági mechanizmus első szakaszában

DR. URBANEK JÁNOS

A VKI Közleményei 2. számában ismét közreadunk egy sor dolgozatot, amely a VKI munkájáról való példaszerű beszámolásra alkalmas.

Úgy érzem, hogy — miként azt az 1. számban is tettem — ez alkalommal is célszerű lesz, ha az Intézet általános fejlődési viszonyairól és célkitűzéseiről egy rövid áttekintést adok annál is inkább, mert az itt közzétett dolgozatok — példaszerű voltuk miatt — nem tükrözik teljes mértékben az Intézet lehetőségeit és azoknak a szükséges nyomdai átfutási idő miatti késői megjelenése nem mutatja eléggé az azok megjelenésekor fennálló lehetőségeket, ill. témaköröket, amelyek keretében az Intézet megrendeléseket vállalhat.

Röviden: a jelen bevezető megírásakor fennálló *fejlesztési terveink e sorok megjelenésekor már élő lehetőségek lesznek*, ezért látszik érdemesnek az itt közzétett dolgozatoknak egy ilyen irányú kiegészítése.

A továbbiakban ezért — konkrétan — a következőkről kívánok néhány szót szólni:

1. Az új gazdasági mechanizmusra való áttérés előkészítése és eredményei intézeti vonatkozásban.

2. Azoknak az új gazdasági és kutatásirányítási jelentősebb szempontoknak az ismertetése, amelyek az új helyzetben az Intézet kutatási tevékenységét irányítják, ill. irányítani fogják.

3. Azoknak a közeljövőben igénybe vehető kutatási lehetőségeknek a rövid ismertetése, amelyek előkészítésén már most dolgozunk.

Az Intézet általános lehetőségeivel összefoglalóan ezúttal nem kívánok foglalkozni (ezt az 1. szám bevezetőjében már megtettem), ezért a 3. pont alatt csak azokra a lehetőségekre kívánom a figyelmet felhívni, amelyek a VKI Közlemények 1. számában közzétett összefoglalómhoz képest többletet jelentenek akár egyes szektorok erőteljesebb fejlesztése, akár új kutatási lehetőségek beállítása miatt.

Az Intézet eddigi munkásságáról majd a VKI Közleményei 3. száma fog ismét áttekintő és összefoglaló képet nyújtani, amelyben az Intézet húszéves tevékenységéről fogunk beszámolni.

1. Az új gazdasági mechanizmusra való áttérés

Az új gazdasági mechanizmus új alapokra helyezi a kutatóintézetek működését is, különösképpen az ipari kutatóintézetek vonatkozásában. A változás lényege az, hogy

- egyrésztől a kutatás tematikája közvetlenül az annak eredményeit felhasználók kutatási igényeihez igazodjék, ily módon realizálva azt, hogy a kutatás végeredményben a termelés egyik — és hozzátehetjük egyik legfontosabb —

tényezőjévé váljék, egyezően azzal a világszerte érvényesülő irányzattal, amelyről előző közleményünk előszavában megemlékeztem,

- másrésről ennek részben folyományaként az, hogy az ipari kutatóintézetnek pénzügyi gazdálkodás szempontjából önállóak és főként önellátók legyenek.

E követelményeknek megfelelően az ipari kutatóintézetek a jövőben döntően külső megrendelések alapján fognak dolgozni (ezt csupán néhány saját kezdeményezésű és saját kockázatra végzett kutatás egészíti majd ki). Ezek a megrendelések három csoportba lesznek oszthatók:

a) Közvetlenül vállalati fejlesztési célokat szolgáló kutatások. Ezek közvetlenül vállalati megrendelések alapján kerülnek kidolgozásra. E célkitűzések kezdetben a már eddigi gyakorlatnak megfelelően zömmel rövid lejáratúak lesznek, de mindinkább előtérbe fognak lépni a nagyobb távlatú komplex célkitűzések is.

b) Több vállalatot vagy az egész iparágat érintő, zömmel hosszabb lejáratú fejlesztési célkitűzések. Ezek minisztériumi megrendelések alapján kerülnek majd kidolgozásra.

c) Nagytávlatú, ill. országos jelentőségű célokat szolgáló kutatások. Ezek az OMFB megrendelése alapján kerülnek majd kidolgozásra.

A b) és c) típusú megrendelést igénylik azok a műszaki alapkutatások is, amelyek több aktuális (vállalati vagy minisztériumi) kutatási téma közös alapját képezik és azok fokozott elmélyítését és meggyorsítását célozzák.

E mechanizmus alapján az ipari kutatóintézetek eredményei automatikusan beépülnek az ipari termelés általános fejlesztését célzó folyamatba, és pedíg nemcsak műszakilag, de pénzügyi szempontból is.

Ennek előnyei is megmutatkoznak majd mind műszaki, mind pénzügyi szempontból.

- Műszaki szempontból gyakorlatilag megszűnik az ipari bevezetés ama eddigi alapvető nehézsége, amely a kutatás és a vállalati műszaki fejlesztés (végeredményben tehát a korszerű termelés) koordinátlansága; pontosabban annak a nem eléggé koordinált voltából adódtak.
- Pénzügyi szempontból a megállapodás realitását a kölcsönös érdekek figyelembevételével a piaci játékszabályok alapján végeredményben a gazdaságosság dönti el.

És itt mutatkozik meg a központi kutatóintézetek létezésének a nagy előnye. Ugyanis ezek nagy műszaki-tudományos potenciáljának a kihasználása olyan előnyökkel jár, amelyek a rizikó döntő részétől a megrendelőket tehermentesítik és azt legnagyobb részt a kutatóintézetekre hárítják át. A megrendelők ui. csak akkor fizetnek, ha a várt eredményt megkapták: a kutatás eredményességének a rizikója tehát teljesen a központi kutatóintézetet terheli.

A rizikó csak másodlagosan és akkor is csak paritásos alapon jön majd tekintetbe olyan megállapodások esetében, amikor a kutatóintézet nem fix áron végzi el a szükséges kutatási munkát, hanem a kutatási eredmény alapján a termelésben mutakozó (megállapodás alapján meghatározott évekre terjedő) haszonrészesedés alapján.

Ez esetben, bár a vállalat sohasem fizethet rá (legalábbis akkor, ha a témát helyesen választotta meg), a kutatóintézet azonban a fix ár és a haszonrészesedés csupán becsülhető nagyságrendje miatt az ily módon tulajdonképpen közösen vállalt rizikó alapján több, vagy kevesebb előnyhöz juthat, de esetleg még ráfizetés is érheti. Ez azonban a nagy számok törvényei miatt vállalható kockázatnak mutatkozik.

E szerződés módok kellő mértékű kifejlődése után a kutatóintézeteknek módjukban lesz saját kezdeményezésű kutatások beállítására is, amit mint „kész árut hozhatnak majd forgalomba”.

A megrendelés rendszer előnyeit a VKI már régebben is felismerte. Ez nagyban megkönnyíti a VKI számára az új mechanizmusra való áttérést.

Az Intézet megrendelési állománya az 1965—67-ig terjedő periódusban a következőképpen alakult:

1965-ben	46 %
1966-ban	52 %
1967-ben	65 %

A jövőben az eddigi „állami támogatás” helyébe a b) és c) alatti megrendelések lépnek, összes volumenük a jelenlegi helyzet ismeretében mintegy 20—30%-ra becsülhető. Az Intézetnek az 1967. évhez képest ily módon fennálló mintegy 10—15%-os differenciát további vállalati megrendelésekkel kell majd pótolnia, ami valószínűleg az év közben felmerülő „terven felüli” megrendelésekből lesz fedezhető.

Kétségtelen, hogy az Intézetnek a várható minisztériumi, ill. OMF megrendelések jelentette „irányított kutatás” mellett széleskörű helyzetismerete következtében magának is megmarad a kezdeményező, ill. irányító befolyása a fejlesztési célkitűzések tekintetében.

Ez a múltban is így volt, hiszen a vállalatoknak — legalábbis minden szektorukban — nincsen, és nem is lehet meg mindenkor az a széleskörű áttekintése a nemzetközi fejlődés irányairól, mint az e kérdésekkel mintegy hivatalból foglalkozó kutatóintézeteknek.

Az új gazdasági mechanizmus keretében az Intézet kutatásokkal kapcsolatos és azok bizonyos fajtáinak a realizálását jelentő ún. kísérleti gyártást is az eddiginél erőteljesebben fogja művelni

- egyrészt azért (amiért eddig is), hogy a gyáraknak átadott kutatási eredmény minél jobban megközelítse a már sorozatban gyártható kivittelt azáltal, hogy a VKI a laboratóriumi kutatási munkát egészen a prototípusig, bizonyos esetekben még a kissorozatgyártásokig is folytatja (esetleg még a szükséges célgépeket is elkészíti);
- másrészt azért is, hogy a kísérleti gyártást bizonyos mértékű saját gyártással egészítse ki olyan esetekben, amikor a mennyiség kicsi, tehát a gyárstermelés indokolatlan, ill. olyan esetekben, amikor az üzemi sorozatgyártásra való felkészülés valamilyen okból hosszú időt vesz igénybe és így szükség mutatkozik arra, hogy az Intézet az ipar igényeit addig is — ha csökkentett mértékben is —, de kielégítse (ez az eset áll fenn pl. majdnem minden új típusú félvezető elem esetében).

Egyszerűbben kifejezve: az Intézet a jövőben tisztán kutatási tevékenysége mellett a működési területeibe illő *termelésjellegű megrendeléseket is elfogad*. Ezek haszna kifelé az átmeneti, ill. speciális szükségletek kielégítése, az Intézet szempontjából pedig az, hogy jövedelemforrásait e révén is szélesíteni tudja.

2. A kutatásirányítás általános szempontjai

Milyen szempontok szabják meg a kutatóintézetek kutatásirányítási tevékenységét?

E szempontok nyilvánvalóan egyrésztől műszakiak, másrésztől — különös tekintettel az új gazdasági mechanizmusra — gazdaságiak.

A műszaki szempontok az új mechanizmus megindulásával kevésbé változnak a régebbihez képest, ha csak annyiban nem — amire az előzőkben már rámutattam —, hogy az iparban mutatkozó kutatási szükségletek irányító hatása automatikusabbá fog válni a jövőben.

Emellett azonban változatlanul a világszint figyeléséből kell kiindulni, és a hazai adottságok alapos ismeretében az éppen aktuális kezdeményezések lehetőségeit kell végeredményben kijelölni a gazdaságos fejlesztés alapvető szempontjainak az állandó figyelembevételével.

A döntő gazdasági szempontok nagy vonásokban a következők:

- a magyar népgazdaság mindenkori helyzetének a figyelembevétele a világ-gazdaságban. Ezen belül két alapvető szempontot kell mindig szem előtt tartani:
 - Magyarország ipari fejlődése döntően függ attól, hogy nyugati exportját mennyiben képes fejleszteni. E szempont fő követelménye a minőség állandó javítása és a világszint minél több ponton való elérése, sőt, lehetőség szerint, annak legalább néhány cikkben a túlhaladása;
 - a mindenkori nyersanyaghelyzet reális tekintetbe vétele, figyelemmel a hazai nyersanyaghelyzetre, ill., lehetőség szerint, bázisainak a kiszélesítése, valamint a baráti államokkal kötött nyersanyag-megállapodások mindenkori ismerete;
- a nemzetközi együttműködési lehetőségek figyelembevétele, ezen belül
 - a KGST kapcsolatok, ill. a két- és többoldalú közvetlen megállapodások racionális kihasználása és lehetőség szerinti továbbfejlesztése;
 - nyugati államoktól való licencia-átvételi, ill. az azokkal való kooperációs lehetőségek feltárása, mérlegelése és hasznosítása.

3. A VKI-nél a közeljövőben igénybevehető újabb kutatási, ill. megvalósítási lehetőségek.

A VKI-nél a közeljövőben igénybevehető újabb kutatási, ill. megvalósítási lehetőségek a VKI egyes laboratóriumaira konkretizálva a következőkben foglalhatók össze.

3.1 Szigeteléstechikai Laboratórium

Az új gazdasági mechanizmus bevezetése lehetővé teszi, hogy 1968-tól kezdve a Szigeteléstechikai Laboratórium egyes speciális szigetelőanyag-fajtákat saját maga állítson elő és forgalmazzon a villamosipari vállalatok részére. Ezzel megoldódik az az évek óta húzódó probléma, amely legtöbbször olyan formában jelentkezett, hogy az Intézet által kidolgozott új szigetelőanyagok gyártását, azok felhasználását gyártó-vállalat hiányában sokszor nem lehetett realizálni.

A szigetelőanyagok kísérleti üzemi gyártása az Intézet fejlesztési programjába jól beleillik, ui. a villamosipari felhasználók legtöbbször viszonylag kis mennyiségeket igényelnek a speciális szigetelőanyagokból, ezek nagyüzemi gyártása hazai körülmények között sok esetben nem is bizonyult kifizetődőnek és így azokat általában importból lehetett csak beszerezni.

A laboratórium feladatkörébe tartozik még a kísérleti félüzemi termelés mellett egyes, különleges szigetelőanyagvizsgáló berendezések előállításai is. Ezekből a vizsgálóberendezésekből viszont ugyancsak aránylag kis darabszámot igényel az ipar a megfelelő kutató és vizsgáló tevékenység lefolytatásához, így ezeknek a le-

gyártása is mindeddig problémát okozott. Célszerűnek mutatkozott tehát, hogy a laboratórium keretében az igényeknek megfelelően a felhasználók részére a vizsgálóberendezéseket is előállítsuk, ill. legyártsuk.

Fentiek alapján a Szigeteléstechikai Laboratóriumban a következő szigetelőanyagok kísérleti, ill. főlüzemi gyártását kezdtük meg, ill. fogjuk 1968-tól végezni:

- Az 1966—67. évben kikísérletezett, és a Ganz VM-ben, valamint az EVIG-ben kipróbált, villamos forgógépek forgórészeinek bandázsolására alkalmas üvegszálás bandázsszalag kísérleti gyártását 1967-ben megkezdjük. Ebben az évben kb. 50 efm-t gyártunk, míg 1968-ban a teljes szükséglet kielégítésére kb. 200 efm gyártására fogunk felfejlődni. Az anyag gyártása 10, 15, 20 mm szélességben B hőosztályú kivitelben történik.
- Műgyanta öntvények előállítása különféle célokra, elsősorban epoxi-, ill. poliésztergyanták felhasználásával eddig kisebb szériában folyt. Elsősorban tám- és átvezető szigetelőket, valamint speciális transzformátorok kiöntését végeztük különböző megrendelők részére. 1967-ben megkezdjük egy évi kb. 10 000 db támszigetelő előállítására alkalmas kísérleti üzem létesítését, ahol lehetőség nyílik nagy hidegállóságú (-50°C) és egyéb speciális transzformátorok, valamint más műgyanta öntvények sorozatban történő előállítására is.
- 1967-ben megindítottuk a B, F, H hőosztályú varniscső folyamatos gyártási kísérleteit. 1968-ban ezekből a típusokból már több száz méteres kísérleti mennyiséget fogunk tudni szállítani a megrendelőknek, 1969-től pedig a fenti hőosztályokkal a villamosipar szükségletét teljes mértékben fedezni kívánjuk.
- Szilikon-szilikáttal ragasztott fűtőmikape. 1967-ben kísérleti jelleggel 500 kg fűtőmikánitot fogunk gyártani kenyérpirítók és vasúti fűtőszállító betételemezeként. Ezen új, magas hőállóságú csillámpapír készítmény gyártását 1968-tól mindaddig folyamatosan kívánjuk végezni, míg a mennyiség kb. az évi 5 t-t el nem éri. A nagyüzemi termelést előreláthatóan a Villamos-szigetelő és Műanyaggyár fogja átvenni.
- Újtípusú melaminbázisú présanyag kísérleti gyártása. Az 1966. évben kidolgozott és kísérleti mennyiség keretében kb. 1,5 t volumenben legyártott azbeszt-töltésű présanyag főlüzemi gyártását 1968-ban folytatjuk, és 1969-től kezdve évi kb. 50 t-t fogunk tudni biztosítani elsősorban a készülék- és kapcsológyártás céljaira. Ugyanezzel párhuzamosan megkezdjük a legkorszerűbb, nagy folyóképességű epoxigyanta présor kutatását is.
- Megvalósítjuk azoknak a szigetelőanyagvizsgáló berendezéseknek a gyártását is, amelyeket 1966-ban, ill. 1967-ben fejlesztettünk ki. Elsősorban a kúszóáramállóság-vizsgáló berendezést kívánjuk megemlíteni, amely az 1967. évi BNV-n díjat nyert és amelyre vonatkozóan több megrendelést kaptunk. Az 1967-ben kifejlesztett DIN típusú ívállóságvizsgáló berendezés gyártását is megkezdjük, míg 1968-ban az ASTM típusú ívállóságvizsgáló berendezés gyártását fogjuk beindítani.
- A villamos kerámiákkal foglalkozó osztályunk keretében már 1966 óta egy kísérleti-főlüzemi termelőrészleg működik, a solymári kísérleti üzemünk, amely az osztály által kidolgozott különböző fröccskerámia típusok sorozatgyártását végzi a legkülönbözőbb villamosipari vállalatok, így a Telefongyár, Ganz VM, Ganz KK, EVIG stb. részére. Az itt előállított mennyi-

ségek az egyes típusokban elérik az évi kb. huszonöt-harmincezres darabszámot is. Ezen kísérleti üzemünk termékei közül megemlítendőek a vasúti biztosítóházak, különböző típusú ivóltókamrák és különböző ellenállástartó kerámia idomok.

A szigeteléstechikai Laboratórium részére 1967—68-ban fejlesztési célokra Pestújhelyen, a Cservenka Miklós úti telepünkön egy kb. 100 m hosszú, a kísérleti termelési feladatokat ellátását szolgáló kísérleti üzemet kívánunk létesíteni. Ebben a szárnyban lesz elhelyezve elsősorban a solymári kerámiaüzem, de itt lesz majd a présor- és műgyantakiöntő részleg is.

3.2 Villamos Berendezések Laboratórium

Az új gazdasági mechanizmus azáltal, hogy az Intézetet lényegében önfenntartóvá teszi, közvetlenül és közvetve e területen is befolyásolja a kutatómunka jellegét és tartalmát. A piac, a kutatómunka iránt mutatkozó kereslet igényeihez való alkalmazkodás gyorsaságot, sokrétűséget és rugalmasságot követel. Az Intézet — hacsak nem kap arra valamelyik központi gazdaságirányító szervtől megbízást — nem foglalkozhat évekig alap kutatás-jelleggel egy-egy új terület feltárással, hanem viszonylag rövid előkísérletekre támaszkodva kell, hogy felkeltse a termelő vállalatok érdeklődését vagy az onnan spontán felmerülő legváltozatosabb, sokszor váratlan és szokatlan kívánságoknak kell eleget tennie.

A Laboratórium tevékenységi és szolgáltatási körének tágításával igyekszik erre a helyzetre felkészülni. Szolgáltatási köre a kivitelezési és mérési lehetőségekkel bővül.

Sok rendelés elvállalását az nehezíti meg, hogy a kutatás eredményeként megszülető termék egy sor olyan részletet tartalmaz, amelynek gyártására az ipar még nincs felkészülve. Ilyenkor lényegesen meggyorsítja az eredmények realizálását a saját kísérleti üzem, amely részben vagy egészben előállítja az első darabokat.

A pestújhelyi székház és laboratórium megépítésével létrehozott próbaterem nemcsak a közvetlen kutatómunkát segíti elő, hanem lényeges vizsgálati és mérési lehetőségeivel a termelő vállalatoknak is rendelkezésére áll, akár a mi eredményeinkről, akár saját fejlesztésükből származó gyártmányok vizsgálatáról van szó.

A munkaterület súlypontja továbbra is az ipari elektronikán van, amelyek uralkodó eleme ma a tirisztor. Egymás után jönnek létre olyan kutatási eredmények, amelyek a korábban más eszközökkel, erősítőgépekkel, mágneses erősítőkkel, tirátroncsóvekkal megoldott feladatokat elegánsabban és korszerűbben tirisztorokkal oldják meg. Mint ahogyan a híradástechnika és gyengeáramú technika területén egy általános tranzisztorizálási törekvés állapítható meg, úgy beszélhetünk ma az erősáramú technika „tirisztorizálásáról” is.

A súlyponti témakör azonban egyre jobban szétterjed a határterületekre, bevonva a korábban nem alkalmazott eszközöket is. Így a MÁV részére készül „aláverőgép” szintező rendszer már nemcsak elektronikát, hanem infravörös optikát is tartalmaz. Alkalmazása valószínűleg egyéb területeken is gyümölcsöző lesz. Általános célnak tekintjük, hogy a szokásos villamos paraméterek — veszteség, áram, teljesítmény, frekvencia — mellett egyre inkább kiszélesítsük a szabályozási körbe vont jellemzők körét. (Kondicionálás, optikai adatok, térbeli méretek stb.) Megindult és erőteljesen bontakozik a számítógépek erősáramú alkalmazására irányuló kutatómunka is. Egyelőre a tervezést és számítást nagy termelékenységgű eszközként alkalmazzuk a számítógépre, de tervezzük ennek a felhasználási körnek a bővítését is.

3.3 Félvezető Laboratórium

Ipari kutatóintézetek és laboratóriumok tudományos ütőképessége lényegében két tényező függvénye: az iparilag megvalósítandó problémák megoldása alapvetően függ a tudományos dolgozók elméleti és kivitelező felkészültségétől, másrésztől alapvetően függ tárgyi feltételektől, azaz a fizikai és műszaki berendezettség színvójától, az Intézet felszereltségétől.

A Félvezető Laboratórium tekintetében, ha nem is teljes, de kielégítő feltételekről lehet beszélni mindkét vonalon.

Ennek megfelelően a Laboratórium képes

- elvi technológiai problémák megoldására (ötvözési, diffúziós, epitaxiális kérdések);
- továbbá konkrét új erősáramú félvezető elemek kifejlesztésére (pl. speciális diódák, tirisztorok, esetleg új elemek, mint pl. rotisztor);
- és végül az elemekből felépített és azokhoz szorosan kapcsolódó speciális készülékek konstruálására és kivitelezésére. (Pl. túlfeszültségvezető-típusok, félvezető elemekhez tartozó egyszerű szabályozási rendszerek és hűtőelemekhez tartozó különféle hűtőkészülékek.)

A továbbiakban az egyes témakörök bemutatásánál a fentiekben követett hármas tagozásban fogjuk vázolni a laboratórium kutatási kapacitását.

A nemlineáris ellenállásokkal foglalkozó osztály a jelenlegi fejlesztési irányoknak megfelelően képes kutatási és fejlesztési munkát végezni melegsajtólással, valamint keramikus — hidrogén-védőgázban előállított — nemlineáris ellenállásokon, varisztorokon. Túlfeszültségvezető-készülékek konstrukciója terén közel húszéves gyakorlattal rendelkezünk, 6 kV-tól 220 kV-ig terjedő berendezések területén. Tapasztalatunk van elektrotechnikai szilíciumkarbid előállításában és ezzel kapcsolatban elértük az európai szintnek megfelelő nemlinearitást. Ezen osztály keretében birtokunkban van egy 1000 atm-ig működtethető autokláv, amelynek belsejében 2400 °C-os hőmérsékleten vizsgálhatunk reakciókat, kristályosodási jelenségeket stb.

A félvezető technológiai és mérési osztályaink birtokában vannak a különböző p-n, p-n-p és p-n-p-n struktúrák létrehozásához szükséges elméleti és kísérleti felkészültségnek. Előállíthatunk különböző átmeneteket, ötvözési, diffúziós, epitaxiális technológiával, különböző tégyeles és lebegőzónás berendezések birtokában mikrokristályból germánium és szilícium egykristályokat tudunk készíteni „n”-re és „p”-re doppolt kivitelben és a világszínvonalnak megfelelő kisebbségi töltéshordozó élettartammal, valamint diszlokáció-sűrűséggel. Mérések tekintetében a nagyteljesítményű diódamérésektől — mint legegyszerűbb problémáktól — kezdve, vizsgálni tudjuk a tirisztorok paramétereit, beleértve a kapcsolási és kioltási idejét, belső hőellenállását, összes tranzienst viselkedését, általában a jelenlegi európai szinten mért minden jellemzőt.

A fentieknek megfelelően KEMA-szerűen kialakított mérési lehetőségek birtokában vállaljuk az előzőekben felsorolt erősáramú félvezető elemek méréseit, ill. mérési rendszereinek kidolgozását, bármilyen speciális paraméterre. A mérési rendszerek és lehetőségek kifejlesztést nyertek a germánium és szilícium egykristályok fizikai paramétereinek kiértékelésére is, beleértve a Hall-effektus révén történő kompenzációfok megállapítását is.

Mérés tekintetében vállaljuk új mérési berendezések (dinamikus és féldinamikus mérőberendezések) konstruálását és azok kivitelezését.

A termovillamos hűtőelemekkel és készülékekkel foglalkozó osztály vállalkozik irányított kristályhúzási technológiával, valamint szinterelési technológiával elő-

állított, kívánság szerinti termovillamos ötvözetek létrehozására. Ezekből tetszés szerinti alakban, feszültséggel és teljesítménnyel hűtőelemeket képes összeépíteni, jelenleg az elem két oldala között maximálisan elért 50 C°-os hőmérséklet-differenciával. A fenti elemek birtokában vállalkozik bármilyen kisteljesítményű speciális hűtőegység konstruálására és kivitelezésére, pl. autóhűtőszekrények, 6 V-os akkumulátor működtetéssel, mikroszkóphűtők, valamint vákuumcsapdák hűtőelemeinek szállítására.

A nemlineáris ellenállások osztályával kooperációban egy csoportunk széleskörű tapasztalatokkal rendelkezik túlfeszültség-levezetőkhöz alkalmazható sztatikus és mágneses szikraközök fejlesztésében, valamint ezek oltási képességének és visszaterő villamos szilárdságának IEC szabványok szerinti megállapításában. Ugyanezen csoport vállalkozik elektrodinamikus fémformálási eljárások kifejlesztésére, amelyek a legmodernebb fémmegmunkálási technológia, az un. „mikroszekundumos alakítási idejű” technológiák körébe tartoznak. A jelenleg is kutatott technológia alkalmas kisebb sorozatú speciális fémtárgyak megmunkálására és egyoldali bélyeggel történő alakítására.

A Laboratórium elméleti felkészültsége alapján vállalkozik megoldani különböző termovillamos és termomágneses jelenségek vizsgálatát és az ezzel kapcsolatos kísérletek elvégzését.

3.4 Villamos Készülék Laboratórium

A Villamos Készülék Laboratórium Villamos Készülék Osztálya a legutóbbi időben a közép- és magasfeszültségű berendezések túláram- és zárlatvédelmére alkalmas korszerű, igen nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók sorozatát dolgozta ki, a DIN 43 625 előírásai szerinti külső méretekkel és nagy rugóerejű kioldószerkezettel. A kidolgozott NNGfe-típusú közép- és magasfeszültségű biztosítók — korszerű, sűrű osztásban folyamatosan változó keresztmetszetű olvadószál-szerkezetük előnyös tulajdonságainak következtében — a teljes áramtartományra kiterjedően megbízható működést biztosítanak és az 1966. decemberében a CESI milánói zárlati laboratóriumában lefolytatott zárlati vizsgálatok tanúsága szerint megszakítóképeség szempontjából a hasonló célú, legjobb külföldi gyártmányoknál is jobbak és igen jó exportcikket képeznek.

A Villamos Készülék Osztály az utóbbi években a MNK és a NDK között létrejött kontaktorfejlesztési együttműködésből adódó kutatási témák megoldására, továbbá a hazai kismegszakító készülőipar távlati fejlesztési feladataihoz szükséges kutatási munkáinak elvégzésére jelentős mértékben megerősödött mind létszám, mint a kutatáshoz szükséges különleges eszközök és berendezések tekintetében. Az Osztály az utóbbi időben a kismegszakító kapcsolókészülékek néhány olyan alapvető problémáját tisztázta, amelyek nélkül korszerű kismegszakító készülőipar gyártása nem képzelhető el. Ezen problémák közül röviden csak néhányat említünk:

- a legkedvezőbb áramút kialakítása,
- a legkedvezőbb be- és kikapcsolási sebesség meghatározása,
- a bekapcsoláskor fellépő visszapattanás jelenségének részletes tanulmányozása,
- az áramköri paraméterek befolyása a készülékek működésére,
- az árammegszakítás módjainak tanulmányozása váltakozó- és egyenáramú áramkörökben.

A fenti alapproblémák tisztázásán túlmenően a Villamos Készülék Osztály konkrét készülékmegoldásokkal is foglalkozott, elsősorban a nagyteljesítményű

vizsgálóberendezéseink korszerű felszerelésének biztosítására. Itt említjük meg a Villamos Készülék Osztály által kidolgozott szinkron rákapcsoló készüléket, amely alkalmas arra, hogy a feszültség hullám bármely pontjában történő zárlati bekapcsolást lehetővé tegyen, igen nagy pontossággal. Ugyancsak a Villamos Készülék Osztály dolgozta ki azt az ellenállásos kivitelű 10 kV-os légnemű megszakítót, amely a zárlati laboratórium védőmegszakítójának feladatát látja el. Az ily módon kialakított megszakító káros túlfeszültségek veszélye nélkül, biztonságosan végzi el feladatát mind nagy zárlati áramok megszakításakor, mind az üresen járó zárlati transzformátor kis induktív áramának kikapcsolásakor.

A fentiekben túlmenően a Villamos Készülék Osztály igen sok olyan különleges mérő- és vizsgálóberendezést is kialakított, amelyek a korszerű villamos készülékek alapproblémáinak tisztázásán túlmenően a sorozatgyártás minőségi követelményeinek ellenőrzésére is szolgálnak.

A villamos készülékek és egyéb villamos berendezések zárlati igénybevételeinek vizsgálatára, kutatási, fejlesztési és típuspróbák elvégzésére a Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztálya az 1967. év második felében üzembe helyezte az Intézet kisfeszültségű, váltakozóáramú zárlati laboratóriumát. A zárlati berendezés alkalmas az egészen kis áramerősségű vizsgálatoktól kiindulva igen nagy, kb. 70 000 A_{eff} értékű zárlati áramokkal történő kisfeszültségű vizsgálatok elvégzésére.

Folyamatban van a korszerű, szilícium-egyenirányítókkal működő egyenáramú zárlati laboratóriumunk és a kisteljesítményű, középfeszültségű bővítményünk kialakítása is.

Vizsgálóberendezéseink üzembehelyezése után az Intézet Villamos Készülék Laboratóriuma nemcsak a kutatási vizsgálatok, de az erősáramú készülékgyártó iparág fejlesztési és típusvizsgálatai nagy részének kielégítésére alkalmas berendezéssel rendelkezik majd. Vizsgálóberendezéseink üzembehelyezésével az eddig külföldön végrehajtott vizsgálatok nagy része itthon végezhető el, ami nemcsak nagyértékű deviza-megtakarítást jelent, hanem azt is biztosítja, hogy a vizsgálatok kellő időre elkészüljenek, ami a gyors eredmények elérésének alapfeltétele. A hazai igények kielégítésén túlmenően lehetőség nyílik arra is, hogy a zárlati próbaberendezéseinkkel külföldről jelentkező vizsgálati igényeket is kielégítsünk. Természetesen berendezéseink üzembehelyezése után is szükség lesz mind a saját, mind a velünk kooperációban dolgozó VEIKI Nagyteljesítményű Laboratóriumának vizsgálati lehetőségeit meghaladó külföldi zárlati vizsgálati lehetőségek biztosítására is.

3.5 Egyéb területek

3.5.1 *Klimatizáció*

A KGM-mel karöltve igyekszünk a jelenlegi conacry-i korlátozott lehetőségeinket meghaladó kitéti lehetőségeket biztosító nedves trópusi kitéti állomás kérdését mielőbb kielégítően megoldani. Laboratóriumi klímavizsgáló berendezéseinket kiegészítjük, ami által az eddigieknél is felkészültebben tudjuk kielégíteni a laboratóriumi klímavizsgálati igényeket.

Nagy súlyt helyezünk a „trópusi tanácsadó szolgálatok” további fejlesztésére is.

3.5.2 *Mágneses vizsgálatok*

Az Intézet szállítani tud „közvetlen mutató elektronikus, 1 kg-os Epstein-mérőműszereket” (bemutatva az 1967. évi BNV-n).

A brüsszeli vásáron annak idején nagydíjat nyert, folyamatos vasvizsgáló berendezés továbbfejlesztéseként egy újabb, hasonló célú készülék kifejlesztését tervezzük, amely szalag alakú lemezek folyamatos vizsgálatára lesz alkalmas.

3.5.3 Villamos energia közvetlen előállítása

Kémiai energiának közvetlenül villamos energiává való átalakítására irányuló kutatásunk tárgya szénhidrogén-gáz üzemanyagú, nagyhőmérsékletű fűtőanyagcella létrehozása. A cél a világszerte folyó, hasonló irányú kutatás figyelemmel kísérése mellett, olyan rendszer kifejlesztése, aminek üzemanyaga hazai fosszilis tüzelőanyag termékeink közül nyerhető. E fő szempont figyelembevételével be szándékozunk kapcsolódni a cseppfolyós szénhidrogén üzemű, valamint a kis üzemhőmérsékletű fűtőanyagcellák kutatási területébe is. A témakör távlatai és a megoldandó feladatok súlya a kutatás irányának fokozottan megfontolt kiválasztását teszik szükségessé, viszont jól szervezett bel- és külföldi kooperáció mellett kutatási részeredmények is gyorsan és gazdaságosan hasznosíthatók.

SZIGETELÉSTECHNIKAI LABORATÓRIUM

I.

Villamosüzemű vasúti fűtőtestek fejlesztése és vizsgálata

DÁVID PÉTER—NÉMETH MIHÁLY

ÖSSZEFOGLALÁS

Az első közleményben ismertetett vizsgálatokat figyelembe véve, de már azokkal párhuzamosan, kidolgozásra került egy hő- és nedvességálló szigetelőlemez-típus. A kidolgozott szigetelőlemez minősítése: fűtőmikanit vagy annál tökéletesebb?

Szabványon túlmenő jó tulajdonságok.

Félüzemi gyártás, leküzdött nehézségek. Kiterjedt próbák szükségessége: valóságos üzemi próbák vasúti kocsikon és vasúti kocsi modellezésével egybekapcsolt félüzemi próbák és mérések. A klímaigénybevétel modellezése és hatása.

Mérési eredmények.

Sikeres üzemi próbák az 1965/66. évben. A kísérleti üzemeltetés további kiterjesztése. Munkaközösség életrehívása a vasúti fűtés kellő megoldására.

Fejlesztési kérdések.

ИСПЫТАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОБОГРЕВАТЕЛЕЙ Поездов

П. Давид—М. Немет

Резюме

С учетом и параллельно испытаниям, описанным в первом отчете, был разработан тепло- и влажно-устойчивый тип изоляционных пластин.

Оценка разработанной изоляционной пластины: по качеству соответствует миканиту, применяемому в технике отопления или лучше этого.

Высокое качество, превосходящее заданное в стандарте.

Производство в полупромышленном масштабе, преодоленные затруднения.

Необходимость в проведении обширных испытаний: действительные испытания в рабочих условиях, проводимые на железнодорожных вагонах, а также испытания и измерения полупромышленного масштаба, проводимые одновременно с моделированием железнодорожных вагонов. Модели воздействий климатических условий.

Результаты измерений.

Успешные испытания, проведенные в рабочих условиях в 1965/1966 гг. Дальнейшее расширение опытной эксплуатации. Создание трудового коллектива для соответствующего решения системы отопления поездов.

Вопросы по развитию.

ENTWICKLUNG UND UNTERSUCHUNG VON ELEKTRISCHEN EISENBAHN-HEIZKÖRPER

P. Dávid—M. Németh

Zusammenfassung

Unter Berücksichtigung der im ersten Bericht beschriebenen Untersuchungen, jedoch bereits parallel zu diesen, wurde eine Art von wärme- und feuchtigkeitsbeständiger Isolierplatte entwickelt.

Qualifikation der entwickelten Isolierplatte: Heizmikanit oder noch hochwertiger?
Die Normvorschriften übertreffende gute Eigenschaften.
Halbbetriebliche Fertigung, überwundene Schwierigkeiten:
Notwendigkeit ausgedehnter Proben: tatsächliche Betriebsversuche in Eisenbahnwaggons und mit dem Entwurf von Eisenbahnwaggons verbundene halbbetriebliche Proben und Messungen.
Auslegung und Auswirkungen der Klimabeanspruchung.
Messergebnisse.
Erfolgreiche Betriebsproben im Jahre 1965/66. Weitere Ausdehnung des Versuchsbetriebes. Schaffung einer Arbeitsgemeinschaft zur richtigen Lösung der Eisenbahnheizung.
Entwicklungsfragen.

DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF ELECTRICAL RAILWAY HEATERS

P. Dávid—M. Németh

Summary

By considering the investigations already described in the former publication but parallel to these works, a heat and moisture resistant type of insulating board was elaborated.

Qualification of the insulating board developed: heater micanite or even better?

Excellent properties were established, in excess of the requirements of the relevant standards.

Pilot-plant production, difficulties eliminated: Extensive tests are required: real service tests in railway carriages and pilot-scale tests and measurements connected with model railway carriages. Modelling and effect of climatic loads.

Measuring results.

Successful service tests in 1965/66. Further extension of the experimental operation. Organization of a working party for the suitable solution of railway heating.

Questions of development.

1. Bevezetés

A beszámoló — korábban megjelent — első részében főként a múltbeli meghibásodásokkal kapcsolatos vizsgálati jellegű tevékenységet ismertettük [1].

Jelen közlemény a téma fejlesztési vonatkozásait: egy új szigetelőlemez kidolgozását, valamint az ezzel összefüggő vizsgálati és próbaüzemi munkákat ismerteti, megmaradva azonban a jelenlegi, ún. mikanitos fűtőtestkonstrukció által kijelölt keretek között. (Intézetünkben ezenkívül még új típusú, korszerűbb *vasúti fűtőtestek* irányában is folyik tevékenység, ezzel azonban jelen beszámolónk nem foglalkozik.)

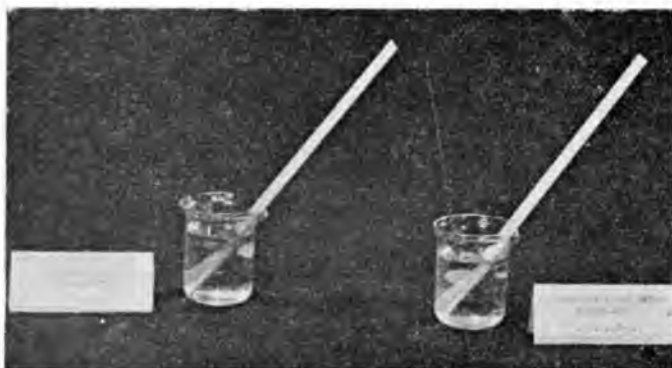
2. Új, hőálló szigetelőlemez (fűtőmikanit) kidolgozása

Az új, hőálló szigetelőlemez kidolgozására irányuló kísérleti munka az érdekelt vállalatok kívánságára indult meg 1963-ban. A MÁV-kályhák céljára már abban az időben kb. évi 12 t mikanitot importáltak, amely tény eléggé nyomós indok volt a téma hazai megoldásának alátámasztására.

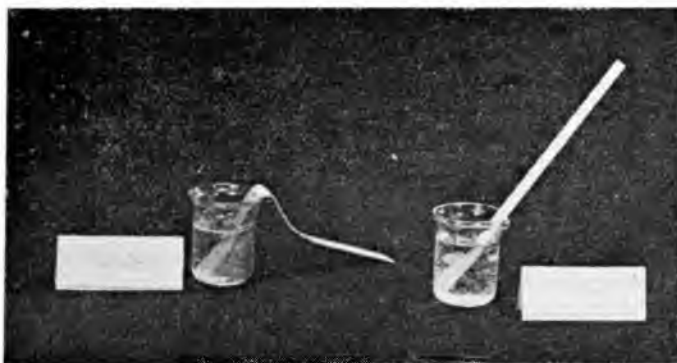
Ezért a VKI még 1963-ban kidolgozta csillámpapír-alapú fűtőmikanit-típusát. A munkálatok megindulásakor kitűzött cél az NDK-ból ismeretes *Heiznovomikanit* [2] reprodukálása volt. A kísérleti eredmények azonban ennél tovább vittek, és a kialakított új fajta, egymásra rétegezett szervesetlen és szilikon-kötőanyagú csillám-

papírlapokból készült szigetelőlemez technológiai és alkalmazhatósági szempontból előnyösebb, mint az eredetileg célul kitűzött Heiznovomikanit. Ezeket bizonyos összetételi változtatásnak, valamint másfajta technológiai koncepciónak köszönheti. A változtatások eredményeit röviden a következők foglalják össze:

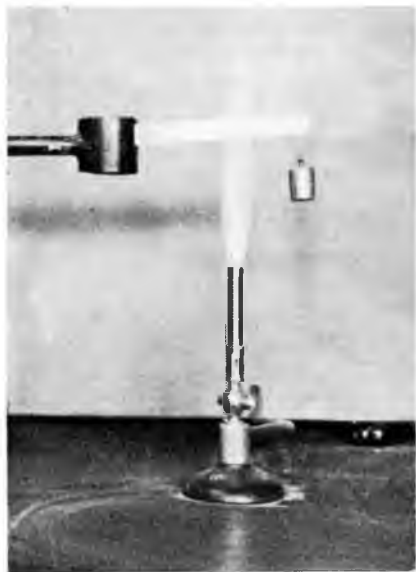
- a) A szigetelőlemez összetétele és felépítése a lemez préselését igen tág hőmérséklet-tartományban teszi lehetővé, amelynek alsó határa 150°C körül van, felső határa a technológiailag lehetséges mértéken belül tetszőleges. A gyakorlatban előfordult leggyakoribb préselési hőmérséklet $160 \dots 350^{\circ}\text{C}$.
- b) Az a) szerintiék következtében a szigetelőlemez gyártására hagyományos gőzüzemű etázsprések használhatók.
- c) Az a) és b) alattiak folytán alacsony préselési hőmérséklet választásával megőrizhető a mérsékelt üzemi hőmérsékletre (pl. a 200°C körül üzemelő MÁV-fűtőtestekhez) szánt szigetelőlemez kedvező nedvességállósága (1-1. és 1-2. ábra).



1-1. ábra. Külföldi eredetű, csillámpapír-alapú fűtőmikanit (baloldalt) és a VKI által kifejlesztett csillámpapír-alapú, hő- és nedvességálló szigetelőlemez (jobboldalt) a csapvízbe helyezés után 30 s-mal



1-2. ábra. Az 1-1. ábra anyagai és elrendezése, a csapvízbe helyezés után 3 min-mal. (Látható, hogy a külföldi fűtőmikanit még alaktartását is teljesen elvesztette.)



1-3. ábra. A VKI által kifejlesztett hőálló szigetelőlemezről kivágott csík (mérete kb. $120 \times 12 \times 1$ mm), egyik végén állványba fogva, másik végén 50 g-os súllyal megterhelve, gázlángban tartósan izzítva

- d) Az a) szerintiék lehetővé teszik nagy préselési hőmérsékletre választásával nagyobb üzemi hőmérséklet szánt szigetelőlemez gyártását (1-3. ábra).
- e) A szigetelőlemez előbbieik szerinti változtatható technológiája lehetővé teszi megmunkálási szempontok messzemenő figyelembe vételét. Pl. alacsony hőmérsékleten préselt lemezből, annak rugalmas, kevésbé rideg voltát kihasználva, formadarabok vághatók, stancolhatók, majd ezek hőkezelésével hőálló idomok alakíthatók ki. Az ily módon kialakított szigetelőlemez-idomok tehát — gyártásuk és felhasználásuk tekintetében — bizonyos mértékig a kerámiákhoz állnak közel (1-4. ábra).

A szigetelőlemez néhány jellemző adatát az 1-1. táblázat tartalmazza, összehasonlításban a már említett NDK eredetű Heiznovomikanittal.

Mivel a szigetelőlemez kidolgozásakor a hazai csillámpapír-gyártás éppen szünetelt, az Intézet kénytelen volt a kísérleti munkákat első menetként a Csehszlovákiából importált Remika-papírral is elvégezni. Tekintettel azonban arra, hogy az eltérő gyártású csillámpapírok felületi tulajdonságai különböznek, az újrainduló hazai csillámpapírgyártásból származó Mikape alapanyagra viszont adaptálni kellett a korábban Remikára kidolgozott eredményeket. A csillámpapír gyártmányok minő-

ből importált Remika-papírral is elvégezni. Tekintettel azonban arra, hogy az eltérő gyártású csillámpapírok felületi tulajdonságai különböznek, az újrainduló hazai csillámpapírgyártásból származó Mikape alapanyagra viszont adaptálni kellett a korábban Remikára kidolgozott eredményeket. A csillámpapír gyártmányok minő-

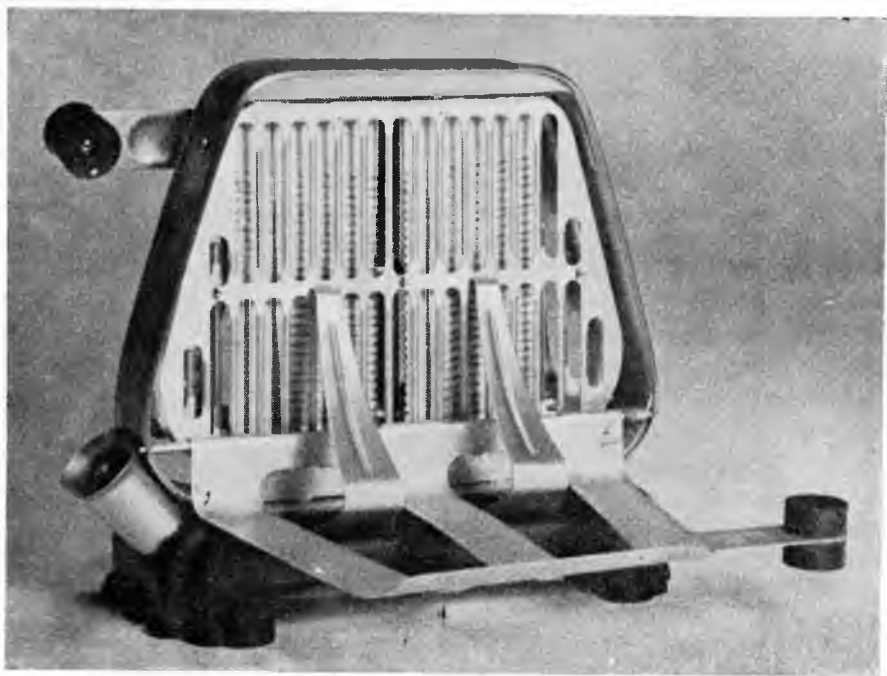
1-1. táblázat

A Heiznovomikanit és a VKI-féle mikanit szabványvizsgálata (MSZ 18 418—56)

Jellemző	Heiznovomikanit	VKI-mikanit
Vastagság, mm	0,918	1,12
Kötőanyagtartalom*, %	0,205	1,15
Fajsúly, p/cm ³	1,41	2,25
Feszültségpróba (1 min 12 kV/mm)	megfelelő	megfelelő

*Megjegyzendő, hogy a „kötőanyagtartalom” valójában izzítási veszteség

ségének ui. egyik legdöntőbb tényezője a csillámpapír alapanyag és a kötőanyag megfelelő kölcsönhatása. A csillámpapírt alkotó csillámrészecskék tetemes fajlagos felülete, valamint az előző közleményben [1] érintett felületi tulajdonságai alapján érthető, hogy ezt a — csillámpapír és a kötőanyag közötti — megfelelő kölcsönhatást



1-4. ábra. A VKI által kidolgozott hőálló szigetelőlemezről készült fűtőszálatartó kenyérpíróban. (A fűtőszál üzemi hőmérséklete az élénkvörös izzás tartományába esik, de ez nem csökkenti a szabadon álló fűtőszálatartó szilárdságát.)

minden egyes, más-más technológiával készülő csillámpapír-féleséghez illeszteni kell. A csillámpapírt gyártó Villamosszigetelő és Műanyaggyár kivánságára, az általa gyártott csillámpapírra is sikerült alkalmazni a hőálló szigetelőlemez előállításának módszerét.

2.1 A hőálló szigetelőlemez félüzemi gyártása

A csehszlovák Remika csillámpapírral végzett sikeres kísérletek nyomán, a VKI az 1964. évben félüzemi mennyiségben állította már elő a Remika papír alapú hőálló szigetelőlemezt. A félüzemi gyártáshoz a Ganz VM bocsátotta rendelkezésére berendezéseit.

A magyar Mikape csillámpapírral is sikeresen zárult kísérletek nyomán pedig a VKI már az 1965. évben félüzemi mennyiségben állította elő a Mikape csillámpapír alapú hőálló szigetelőlemezt. A félüzemi gyártás a Villamosszigetelő és Műanyaggyár kivánságára és berendezéseinek felhasználásával történt.

A félüzemi mennyiségben előállított hőálló szigetelőlemez-fajtáknak kísérleti vasúti fűtőtestekbe való beépítéséről továbbiak a 3. alatt találhatóak. Itt kell azonban kitérni arra, hogy a Remika és Mikape papír alapú — egyébként azonos összetételű — hőálló szigetelőlemezek összehasonlító üzemi próbája elsősorban annak felderítését szolgálja, hogy vajon észlelhető-e valamilyen korróziós jelenség és ha igen, melyik csillámpapír-féleséggel kapcsolatban.

2.2 A hőálló szigetelőlemez üzemi gyártásának előkészítése

Az 1966. év folyamán sikerült kidolgozni azt a technológiát, amelynek segítségével már üzemi szinten gyártható a hőálló szigetelőlemez. Az Intézet laboratóriumában kidolgozott üzemi technológia megvalósítására megépítettük azt az alaptervezést, amelynek bővítését és továbbfejlesztését a termék iránti kereslet — és nem utolsósorban az árkérdés — fogja meghatározni.

A vonatfűtés várható évi kb. 12 t-s szükségletére figyelemmel a fenti alaptervezés teljes kifejlesztésének tervei készen vannak, amelyeket a lehető legrugalmasabb módon állítottunk össze, lehetővé téve a gyártás menet közbeni, fokozatos fejlesztését.

Tekintettel azonban arra, hogy a hőálló szigetelőlemez — kisebb mennyiségben — más villamos hőkészülékben is alkalmazásra kerül, a termék kisüzemi gyártása már 1967-ben megkezdődött.

3. A hőálló szigetelőlemez próbája MÁV-kályhákban

Nem kétséges, hogy hosszú és szigorú vizsgálati időszak eredményes lezárására van szükség, amíg bármiféle változtatás, új anyag alkalmazása stb. polgárjogot kaphat a vonatfűtés területén. A MÁV kétévi kifogástalan próbaüzemet kíván meg ahhoz, hogy valamely új szigetelőlemez alkalmassága vagy más konstrukciós stb. újítás a vonatfűtés szempontjából elbírálnak legyen. Nyilvánvaló, hogy ilyen hosszán tartó próba számottevő anyagi és szervezési kapacitást köt le, a feladat tárcaközi vonatkozásai, a szigetelőlemez és a kályhák előállításában érdekelt vállalatok bekapcsolódása, valamint az ellenőrző intézet egyidejű illetékessége folytán. E kiterjedt — a továbbiakban részletezett — műszaki és szervezési munkához a népgazdaság eleinte kizárólag Intézetünkön keresztül előlegezte a szükséges keretet — és bizalmat —, míg újabban más érdekelt vállalatok is bekapcsolódtak a terhek vállalásába.

Ezért, a további munkák hathatósabbá tételére, a VKI 1965. elején összehívta a *MÁV-kályha Munkabizottságot*, amely rögzítette annak szükségességét, hogy az új-típusú szigetelőlemezről, amely már a Villamosszigetelő és Műanyaggyár által gyártott Mikape papírral készül, félüzemi mennyiség gyártandó és azt kísérleti MÁV-kályhákba szerelve ki kell próbálni. Rögzítette továbbá a bizottság azt is, hogy egyidejűleg, összehasonlítóképpen, Remika papír alapú hőálló szigetelőlemezzel, sel-lakos Mikape szigetelőlemezzel és koreai eredetű flogopit csillámból készült mika-nittal szerelt kályhákat is el kell helyezni a kísérletre szánt vasúti kocsikon.

A bizottság állásfoglalása alapján a Villamosszigetelő és Műanyaggyár vállalta a félüzemi gyártás költségeit, az Elekthermax V. a kb. 100 db 1500 V-os „E” típusú kályha elkészítését, a MÁV Dunakeszi Járműjavító Vállalat a kályhákknak kísérleti kocsikba történő felszerelését, a KPM MÁV I/7, c. Osztály, a Magyar Elektrotechnikai Ellenőrző Intézettel együttesen a kísérletek felügyeletét, ill. megfigyelését és kritikáját.

Míndezek alapján, a VKI elvégezte a félüzemi gyártást, és így az Elekthermax V.-nál 1965. nyarán elkészültek a kísérleti kályhák, amelyeket a MÁV a KPM Sz MÁV 2083—61 szabvány alapján haladéktalanul átvett. Kivétel csupán a koreai flogopit csillámból készült kereskedelminek tekintett mikanit volt, amely nem felelt meg a MÁV átvételi vizsgálatának és így a további kísérletekből kiesett.

3.1 Üzemi próba

A MÁV Dunakeszi Járműjavító V.-nál ily módon végülis háromfajta szigetelőlemezzel szerelt kísérleti kályha került felszerelésre; két BAH típusú kocsiba. A forgalomban szabályszerűen részt vevő kocsik megfelelő helyein figyelmeztető táblákat helyeztek el, amelyek minden esetleges meghibásodás azonnali jelentését írták elő a KPM felé. Az elmúlt két fűtési idényben a kísérleti kocsikon kályha-meghibásodást nem észleltek. Az 1965—66-os fűtési idény végével a kocsik már alaposabb vizsgálat alá is kerültek, amelynek eredményeképpen megállapítható volt a kísérleti kályhák mindegyikének szabályszerű üzemképessége. Folytatódott az üzemi próba az 1966/67-es fűtési idény beköszöntésével és még jelenleg is folyamatban van. Mind ez ideig meghibásodás nem volt.

3.2 Laboratóriumi tartampróbák

A tartampróbák létjogosultsága és célja

Bár az új, hőálló szigetelőlemez alkalmazhatóságára nézve a döntést a vasúti kocsikon végzett üzemi próba eredménye adja meg, mégis, már előre nyilvánvaló volt, hogy az üzemi próba eredménye csupán sommás „igen” vagy „nem” lehet.

A múltbeli meghibásodások elemzésénél is pl. nem egy esetben vitatni lehetett a meghibásodott kályhák szétszedése és utólagos vizsgálata során kialakult következtetéseket, mivel azok csupán utólagos következtetések voltak, pedig ha arra mód lett volna, a meghibásodásokat okozó folyamatokat mérésekkel nyomon követve az érdekeltek megmenekülhettek volna számos tévedéstől és vitától. Ezért, hogy az új hőálló szigetelőlemez elbírálásánál ne csupán az üzemi próba nyújtotta, kizárólag utólagos megállapításokra szorítkozzunk — figyelembe véve még azt is, hogy a kellő összehasonlítás végett egyidejűleg háromfajta szigetelésű kályha üzemi próbája folyik —, *javasoltuk kiegészítő vizsgálatok végzését is*. Ennek célja az előbb említett hiány pótlása, vagyis olyan mérések elvégzése, amelyeket a vasúti kocsikban üzemelő kályhákban nem lehet elvégezni, pedig lényegesek az esetlegesen lejátszódó folyamatok kellő értelmezése vagy értelmezhetősége szempontjából.

A tartampróbák jellege

Ebből a szükségszerűségből fakadt a laboratóriumi tartampróbák jellege is: a vasúti-kocsiban a fűtőkályhákra ható körülmények lehető hű modellezése közben a kályhát tartósan üzemeltetni és közben olyan jellemzőket mérni, amelyek alapján esetleges, a szigetelésben lejátszódó folyamatok felderíthetők, nyomon követhetők és értelmezhetők legyenek. Ezt az álláspontunkat a MÁV-kályha Munkabizottság elfogadta, és elhatározta a kocsikon folyó üzemi próbák ilyen kiegészítését ugyanazon kályhatípusokkal egyidejűleg végzett és megfelelő mérésekkel ellátott laboratóriumi tartampróba által.

Ezért a bizottság a következőket írta elő: A laboratóriumi tartampróba a fűtési idény egész idejét felöleli, mivel a kocsikon folyó üzemi próbával párhuzamosan végzendő.

A laboratóriumi tartampróba jellege *nem gyorsított vizsgálat, hanem üzemszerű viszonyok közötti mérés*, ezért gondoskodni kell az üzemi viszonyok lehetőleg hű modellezéséről.

Az üzemszerű vizsgálatnak „E” típusú kályhákra kell alávetni, mépedig háromféle szigetelőlemez-típussal szerelt, fajtánként 5—5 db kályhát.

A szigetelőlemez-típusok: NSZK eredetű, hagyományos felépítésű, jól bevált fűtőmikanit (összehasonlítóként); Mikape lemez (a Villamosszigetelő és Műanyaggyár által gyártott sellak-kötőanyagú, csillámpapírból készült kommutátormikanit) és szilikát—szilikon-kötőanyagú, csillámpapírból készült fűtőmikanit (a VKI kísérleti terméke).

A vizsgálaton részt vevő fenti kályhák szigetelések szerinti jellemzését az 1-2. táblázat mutatja be.

1-2. táblázat

A laboratóriumi tartampróbákon részt vevő „E” típusú MÁV-kályhák szigetelőlemez-típusai

Megjelölés	Elnevezés	Gyártja	Minősítés	Kötőanyag	Csillám-alapanyag	Kályhák száma db
„0”	NSZK eredetű	Minnesota Mining and Manufact. Co.	Fűtőmikanit	Műgyanta	Hasított csillám	5
„2”	Mikape lemez	Villamosszigetelő és Műanyaggyár	Kommutátormikanit	Sellak	Csillámpapír	5
„4”	Szilikát—szilikonos fűtőmikanit	Villamosipari Kutató Intézet	Fűtőmikanit	Kovasav + szilikon	Csillámpapír	5

Megjegyzés: A „0” jelű, összehasonlító szigetelőlemez eredetileg koreai flogopit csillámból készült mikanit lett volna, de az átvételi előírásoknak meg nem felelő volta miatt mégis az NSZK eredetű fűtőmikanitot kellett összehasonlítóként alkalmazni.

Igénybevételi jellemzők

Feszültségigénybevétel: a névleges, 1500 V fűtőfeszültség, pozitív irányú ingadozásokkal, úgy, hogy egyes napszakokban (a hálózati ingadozásoktól függően) 1600... 1650 V a fűtőfeszültség.

Hőmérsékleti igénybevétel: fűtőtest-hőmérséklet kb. 230 °C (állandósult állapotban).

Klímaigénybevétel: környezeti hőmérséklet kb. 30 °C, amelyet nem a fűtés kiesés bekapcsolásával, hanem hideg levegő időnkénti gyors beszívásával tartunk fenn. (A „szellőztetés” vezérlését kontakthőmérő végzi.) Páratartalom: 50...80% relatív légnedvesség között ingadozik. A fenti „szellőztetés” a vasúti kocsikban szokásos hirtelen hőmérsékleti és páratartalombeli változást modellezi. (Pl. ajtók és ablakok nyitogatása.)

Üzemidő: ciklusos, a közös térben levő kályhák fele üzemel egyidejűleg, tehát egyik nap az egyik fele (A csoport), másik nap a másik fele (B csoport) üzemel, míg a harmadik nap üzemszünet van, majd az A csoport üzeme következik megint stb.

Míndezek alapján, az igénybevétel összefoglaló jellemzéseként megállapítható, hogy valamely kályha szempontjából háromféle igénybevételi periódus létezik:

saját kályhacsoportjának fűtése, amelynek során az igénybevétel jellege:

- termikus (fokozott),
- villamos,
- klimatikus;

a másik kályhacsoport fűtése, amelynek során az igénybevétel jellege:
klimatikus (fokozott),
termikus (mérsékelt);
üzemszünet, melynek során az igénybevétel jellege: klimatikus (mérsékelt).

Mérendő jellemzők, értékek

Mérendő (regisztrálandó) adatok a kályhákon:

fűtőfeszültség,
fűtőáram (kályhánként),
szivárgási áram (kályhánként),
hőmérséklet (a fűtőtest felületén mérve, típusonként, ill. az elhelyezés szerint).

Mérendő (regisztrálandó) adatok a környezetben:

hőmérséklet,
relatív légnedvesség.

Mérendő (regisztrálandó) továbbá: az idő.

Elhelyezés, a vizsgáloberendezés kialakítása

A fenti igénybevétel, valamint a mérések megvalósítására rendelkezésre álló, két szomszédos, falazott cella egyikében létesült a vasútüzemi viszonyokat lehetőleg modellező különleges klímakamra. Itt vannak elhelyezve a vizsgálandó kályhák, a túlfűtés-védelmet vezérlő kontakthőmérő, a klíma-viszonyokat szabályozó ventilátor, az ezt vezérlő kontakthőmérő és kontakthigrométer (a levegő nedvességtartamát regisztráló műszer), valamint a kamra falába beépített ampermérők, a szivárgási áram méréséhez szükséges szakaszolók, mérőhely és csatlakozás a szivárgási áram méréséhez használt műszer számára (1-5. ábra).

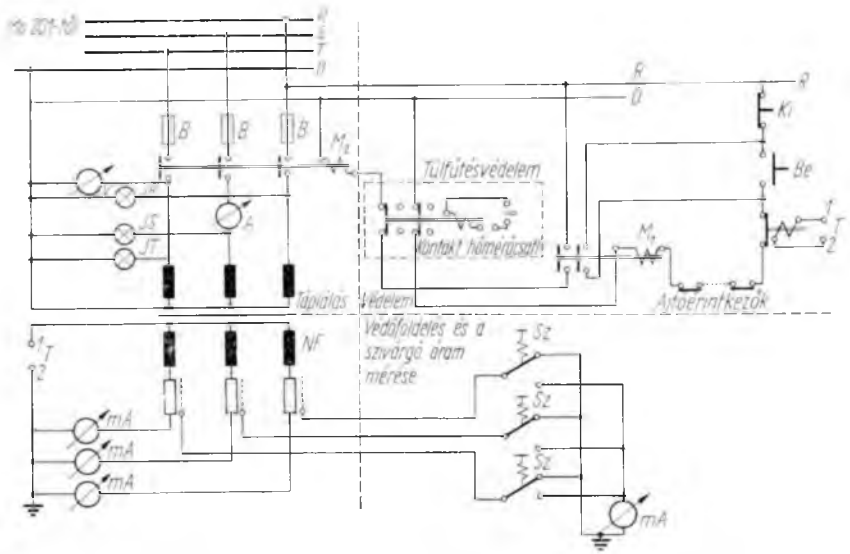
A másik cellában kerültek elhelyezésre az üzemeltetéshez szükséges kapcsoló- és védőberendezések, mérőműszerek a hálózat adatainak ismeretéhez és a fűtőtestek hőmérsékletének regisztrálásához, továbbá itt kapott helyet a hálózati feszültség átalakítására szolgáló 10 kVA, 380/1500 V-os transzformátor (1-6. ábra). A klímakamrában a kályhák az 1-7. ábra szerinti módon, polcokon vannak elhelyezve, az egyenletes térbeli elosztás lehetőség szerinti teljesítése végett minden polcon van minden kályhatípusból legalább egy.

A klímakamra vasútüzemi viszonyait elsősorban a hőmérséklet-szabályozás módja jelenti. 30 °C körüli hőmérséklet elérésekor — a fűtés változatlan fenntartása mellett — higanyos kontakthőmérő vezérlésével egy nagyteljesítményű ventilátor mindaddig szívja a kamra meleg levegőjét, míg az alulról, a szabadból beáramló friss — a külső időjárás megszabta hőmérsékletű — hideg levegő le nem hűti a légtérrel a kívánt hőmérsékletre. Ez a megoldás a vasúti kocsikon szokásos ablak- és

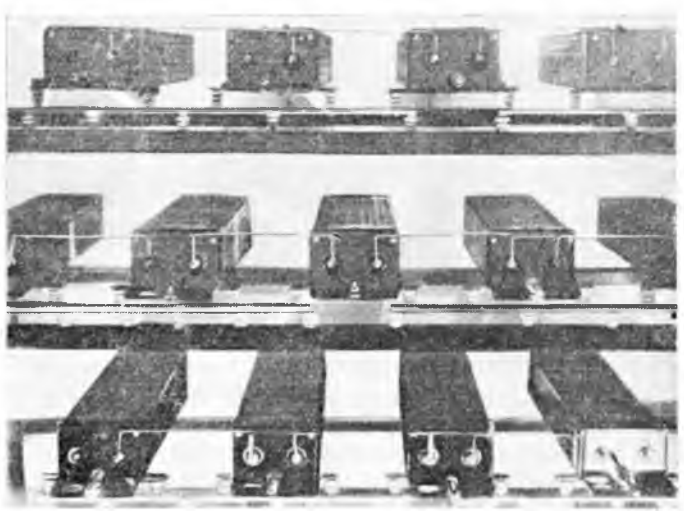


1-5. ábra. A tartampróbák végzésére szolgáló klímakamra homlokfala

ajtónyitogatás megfelelően hű másának bizonyult. A külső hideg levegő beáramlása-
kor erős lecsapódások észlelhetők, különösen a légáram útjának jobban kített, alsó
polcokon levő kályhákon, ill. azok közvetlen közelében. Ez a tény a rozsdásodás jel-



1-6. ábra. A MÁV-kályha vizsgálóberendezésének kapcsolási vázlata



1-7. ábra. A vizsgálandó kályhák elhelyezése klímakamrában

legéből és polcok szerinti eloszlásából is jól rekonstruálható. A ventilátor esetleges
meghibásodásából eredő — meg nem engedett — hőmérsékletemelkedésnél egy
60°C-ra beállított második higanyos kontakthőmérő a berendezést a hálózatról
lekapcsolja.

A klímakamra légnedvesség-tartalmát alulról történő gőzbeűvátás biztosítja, amelynek mértéke a hőmérséklet-szabályozó elszívó ventilátor teljesítményéhez van illesztve. A berendezés esetleges hirtelen lekapcsolása esetén átmeneti, meg nem engedett páratartalom-növekedés léphet fel. Ennek kiküszöbölésére az elszívó ventilátort vezérlő kontakthőmérő a nedvességmérővel is összeköttetésben áll és 80% rel. légnedvesség esetén a kamrát a páratartalom jelentős csökkenéséig folyamatosan szellőzteti.

A vizsgálóberendezés mindkét kamrájába csak ajtón keresztül lehet bejutni, amelyek az előírásos reteszeléssel és biztonsági kapcsolással vannak ellátva. A klímakamra ajtaja egyúttal ablak, így az a közvetlen megfigyelést is lehetővé teszi.

Mérések, mérési eredmények

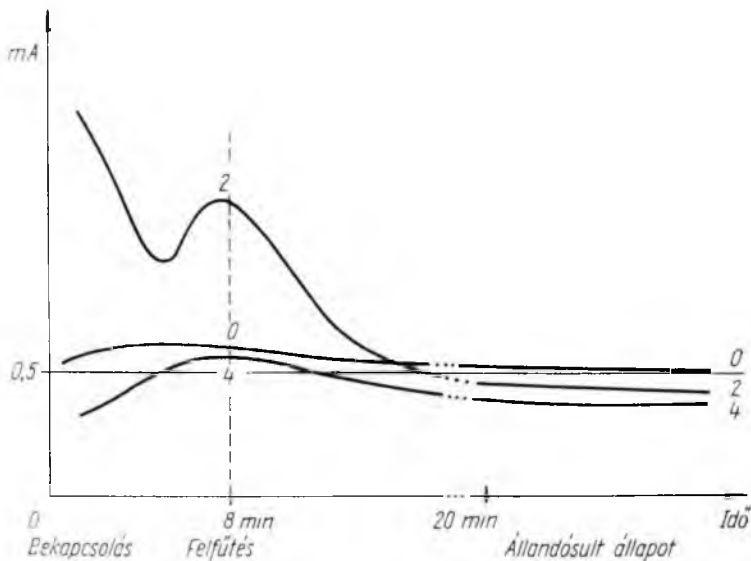
A jelen ismertetésben részletezett laboratóriumi tartamvizsgálat voltaképpen a MÁV-kályhák félüzemi működtetése, amely félüzemet a valóságos üzemtől csupán a fűtött helyiség méretei, az egyes jellemzők mérhetősége és a fűtés célja választja el, míg a szokásos nedves-meleg igénybevétellel egybekötött tisztán laboratóriumi vizsgálatoktól egész sereg, az üzemben ható tényező figyelembevétele és modellezése különbözteti el.

Nyilvánvaló, hogy egy egész fűtési időpont felölél félüzemi időszak üzemi-mérési napló vezetését követeli meg, így az alábbiakban e napló beosztását követve ismeretjük a mérések menetét. Valamely (*A* vagy *B* jelű) fűtési periódus kezdetét a napi adatokon kívül óra- és percponossággal rögzítettük, valamint folytatólagosan számoztuk a periódusokat. A „bekapcsolás” pillanattól kezdve húsz percen keresztül percenként következtek a mérési időpontok, míg az első húsz perc letelte után óránként. Rögzítettük a fűtési periódusok kezdetén az egyes kályhák áramfelvételét is. A mérési időpontokban feljegyeztük az egyes kiválasztott kályhák felületi fűtőtest-hőmérsékletét, ill. regisztrálóműszerrel követtük a fűtőtest-hőmérséklet típusok szerinti alakulását. Feljegyeztük még a klímakamra légterének hőmérsékletét és páratartalmát is a mérési időpontokban. Mindezeket tulajdonképpen a szivárgásiáram-értékek alakulásának esetleg szükségessé váló magyarázása indokolta.

A szivárgási áram mérése egyrészt a fűtőtestek konstrukciója, másrészt a szigetelőlemezek klímaigénybevétele folytán különösen döntő értékelési módszerré vált. Amint arra már előző közleményünkben [1] — mérések alapján — rámutattunk, a jelenlegi fűtőtestkonstrukció a szigetelőlemezek felületének fokozott villamos igénybevételelenti, amely körülmény megnehezíti a különféle szigetelőlemezek szokásos módszerekkel történő összehasonlító értékelését, éppen a jelenlegi fűtőtestekben várható viselkedésük szempontjából.

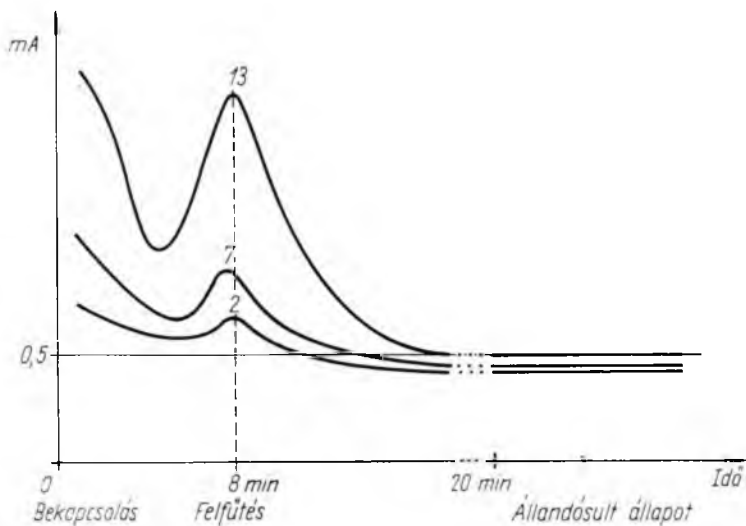
Kimutattuk ui., hogy pl. a DIN 53 482 előírás szerinti kúszóáram-szilárdsági vizsgálat nem adja vissza a különböző, esetünkben szereplő szigetelőlemezek valóságos és döntő különbségeit — és mindamellett igen drasztikus. Az e helyett megvalósított, és ilyen célra ajánlott vizsgálat — a felületi ellenállás mérésével — viszont teljes egyezést mutatott a gyakorlati tapasztalatokkal. Ezek alapján világos, hogy a szivárgási áram mérésére miért fordítottunk olyan sok gondot. A mérés szakaszoló segítségével történt, amelyek mindegyikének benyomásával egy-egy kályha burkolatát leválasztottuk a közös védőföldelésről és attól elkülönítve, a mérőműszeren keresztül földeltük (l. az 1-6. ábra kapcsolási vázlatát).

A szivárgási áram mérésével nyomon követhető volt az egyes szigetelőlemez-típusok szigetelési tulajdonságainak változása az üzemelés különböző fázisain keresztül. Az 1-8. ábrából látható, hogy a három szigetelőlemez-típus igen eltérően viselkedik a bekapcsolás utáni első húsz percben és különböző szivárgásiáram-értékek



1-8. ábra. MÁV-kályhák szivárgási árama a felfűtési idő függvényében három, különböző típusú szigetelőlemez esetén.

0 rakottesillám, NSZK fűtőmikanit; 2 sellakos Mikape lemez; 4 szilikát-szilikon-kötőanyagú VKI fűtőmikanit

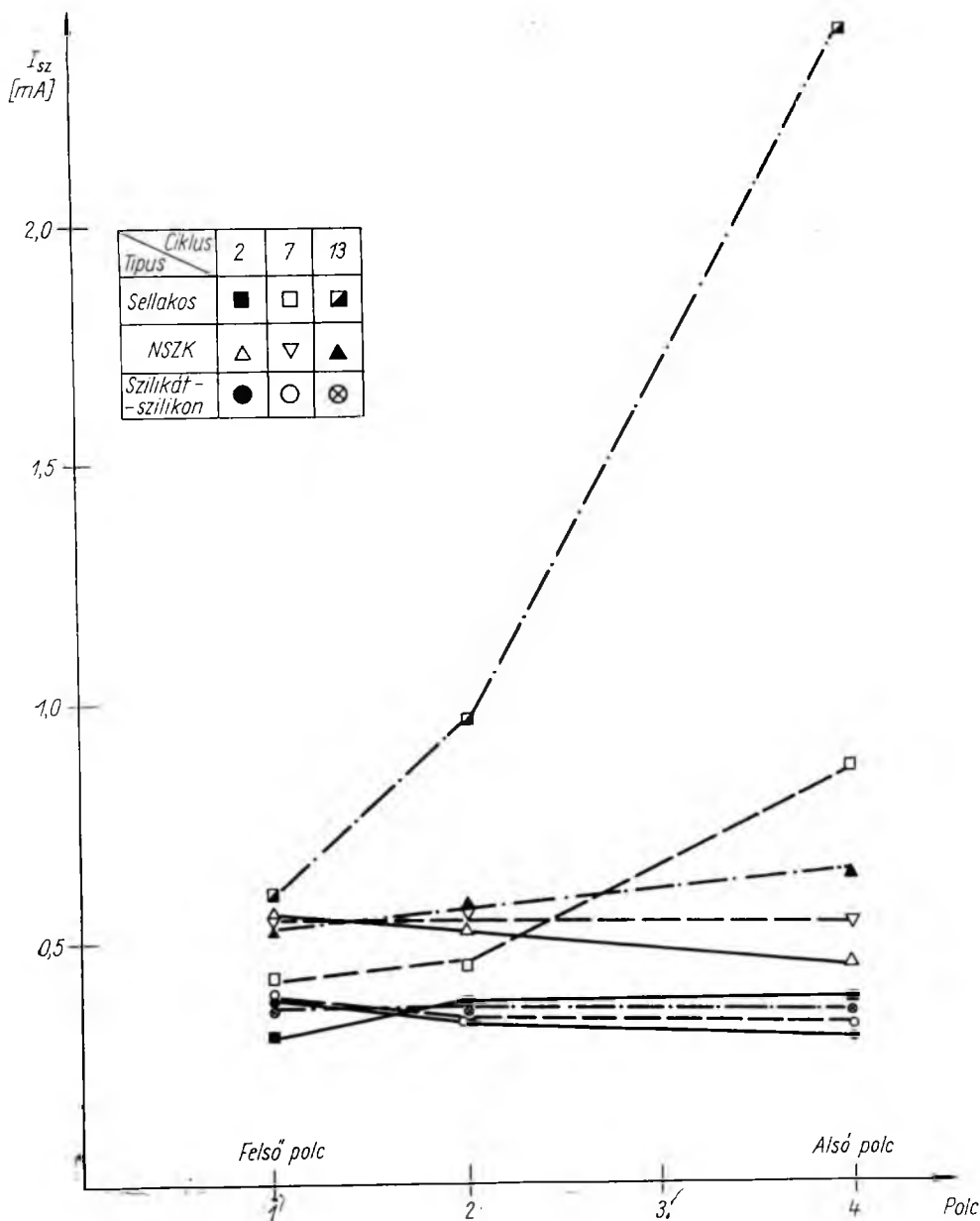


1-9. ábra. Sellakos Mikape szigetelésű MÁV-kályha szivárgási árama a felfűtési idő függvényében három, különböző ciklusszámra

alakulnak ki az állandósult állapotban is. A szilikát-szilikon-típusú fűtőmikanit mutatkozik a legjobbnak. Az is látható még az ábrából, hogy a szabványban [3] megengedett 0,5 mA szivárgásiáram-érték rendkívül szoros.

Mivel a sellakos Mikape lemezzel szigetelt fűtőttestek kérdése a múltban sok gondot okozott, különösképpen érdekes a felfűtés nyolcadik percében tapasztalt

maximum, amelyet az ilyen lemezzel szigetelt fűtőtestek jellemzőjeként lehet tekinteni. Az 1-9. ábra kizárólag sellakos Mikape lemezzel szigetelt fűtőtestekre vonatkozik. A három görbe rendre a 2., 7. és 13. ciklus méréseiből adódott. A görbék eltérései a sellakos Mikape lemez gyors romlását mutatják. Viszont a görbék egyezése, a fel-



1-10. ábra. MÁV-kályhák szivárgási áramának változása a térbeli elhelyezés szerint a bekapcsolás után 1 perccel

fűtés nyolcadik percében megjelenő maximum, nem lehet véletlen, hanem a szigetelőlemez anyagi tulajdonságainak és a fűtőtest konstrukciójának eredő hatása.

A Mikape lemez meglehetősen nedvszívó képessége és a fűtőtest konstrukciójának ismeretében joggal föltehető, hogy a bekapcsolás pillanatától kezdve a szigetelésből távozó víz a fűtőtestek — átmenetileg — hidegebb végein lecsapódik és helyi víztartalom-növekedést okoz, amely a nyolcadik percben szivárgásiáram-csúcsot hoz létre, majd a fűtőtest végeinek fokozatos felmelegedésével — a fűtés tartamára — végleg eltávozik, a szivárgásiáram-érték tetemes csökkenését vonva maga után. Érdekes tény, hogy állandósult üzemmelleg állapotban a szigetelőlemez kedvező szivárgásiáram-értékeket mutat.

A három szigetelőlemez-típus eltérő öregedési jellegét szemlélteti az 1-10. ábra. Amint már korábban mondtunk, az alsó polcokon erősebb volt a klímaigénybevétel, mint a felsőkön. Hőmérsékleti szempontból viszont fordított a helyzet. Az is nyilvánvaló, hogy a ciklusszám növekedésével egyirányú a szigetelés öregedése. E körülmények, valamint az ábra alapján kimondhatjuk, hogy a sellakos Mikape lemez (2) nedvességre a legérzékenyebb, és e tulajdonsága az öregedéssel rohamosan fokozódik. A szilikát—szilikonos fűtőmikanit (4) a hőmérsékleti igénybevételre érzékenyebb, mint a nedvesség hatására (egyikre sem túlzottan). Öregedése a feltüntetett 13 ciklus alatt minimális. Közbülső helyet foglal el az NSZK fűtőmikanit (0), amely már észrevehetőbb öregedést mutat, mialatt *jellege megfordul*: az inkább hőmérsékletérzékeny anyagból egyre inkább nedvességérzékeny anyag válik.

Kiegészíti ezeket a megállapításokat az 1-11. ábra, ahol *ugyanazon polcon* elhelyezett három, különböző típusú kályha szivárgásiáram-értékei láthatók az öregítési ciklusszám függvényében. Az ábra világosan megmutatja, hogy a szilikát—szilikon-kötanyagú fűtőmikanit igen lassan romlik, még az NSZK fűtőmikanithoz viszonyítva is; a sellakos Mikape lemez viszont rohamosan.

A MÁV-kályháknál még évekkel ezelőtt észlelt nagyszámú, fűtőszál-korrózióból eredő meghibásodás még nem teljesen felderített voltára figyelemmel, időnként megmértük még a kályhák ellenállását is. Ennek értéke azonban a fűtési idény tartama alatt gyakorlatilag nem változott, és így a fűtőszál-keresztmetszet csökkenését okozó korróziót „nem sikerült reprodukálni” a tartampróba alkalmával.

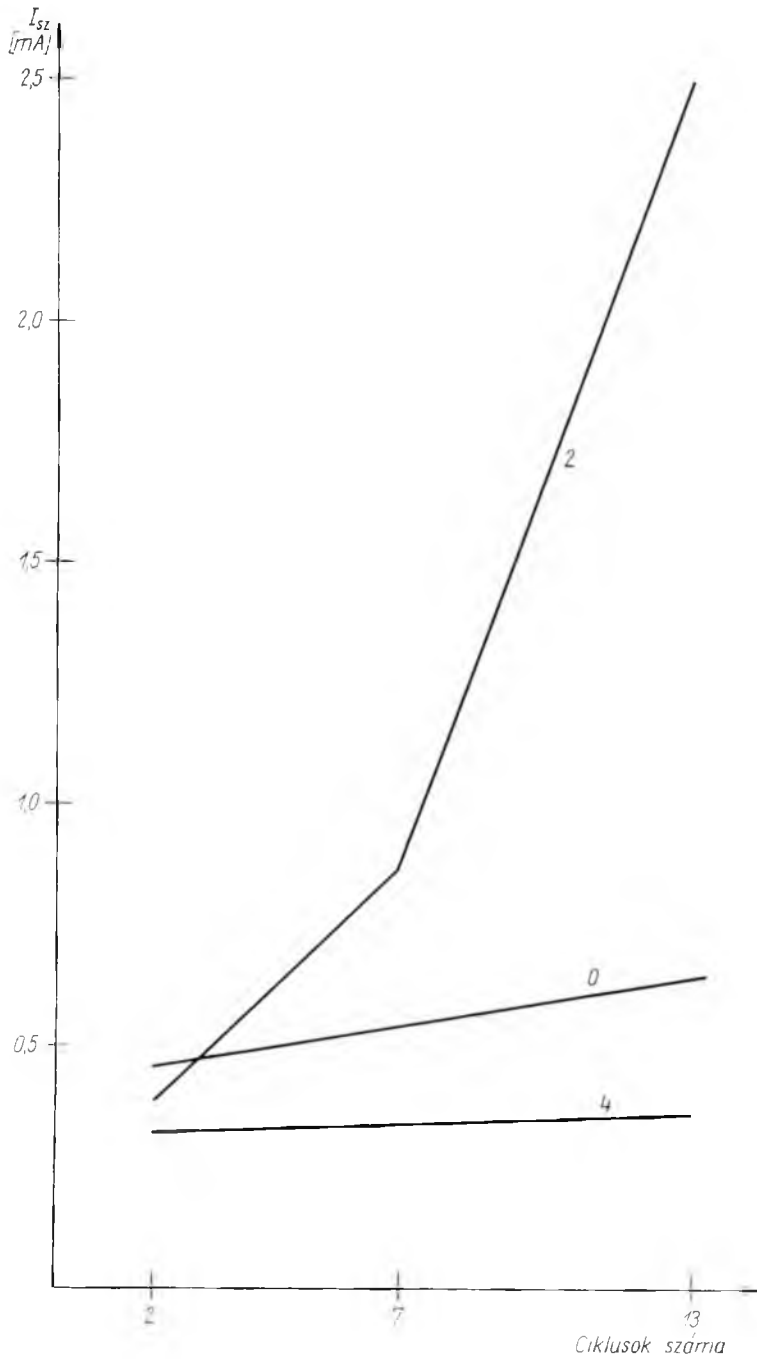
4. Összefoglaló értékelés

A villamosüzemű vasúti fűtőtestek terén kifejtett intézeti tevékenység nem korlátozódott a korábbi évek üzembiztonsági problémáinak vizsgálatára [1], hanem azon túlmenően, *fejlesztési* (technológiai és próbaüzemi) programot is hozott, a velejáró kiterjedt *szervezési* feladatokat egyidejű megoldása mellett.

Kb. egyévi — tehát aránylag rövid — laboratóriumi kutatómunka eredményeképpen a szigetelőanyag és a fűtőtest tárgyában érdekelt vállalatok megkeresésére *azonnal* a szilikát—szilikon-kötanyagú fűtőmikanit félüzemi gyártásának ajánlatával tudtunk felelni, amely félüzemi gyártást így az igény fölvetésétől számított néhány hónap alatt sikerrel el is végeztük.

A kifejlesztett szigetelőlemez előnyös összetétele és technológiája folytán a vasúti fűtőtestek körén kívül, más villamos hőkészülékekben is alkalmazható, és így gyártása — ha kisebb mennyiségben is — már megkezdődött.

A szigetelőlemez próbáját az Intézet a MÁV-kályha Munkabizottság összehívásával vezette be, amely bizottság keretében az érdekelt felek és az illetékes szervek meghatározzák a kipróbálás módját és folyamatosan figyelemmel kísérve a munkákat,



I-11. ábra. MÁV-kályhák szivárgási áramának változása a ciklusszám szerint a bekapcsolás után 1 perccel, a 4. (alsó) polcon lévő egységeknél:
 2 sellakos Mikape lemez; 0 rakott csillám, NSZK fűtőmikanit;
 4 szilikát – szilikon-kötőanyagú VKI fűtőmikanit

időről-időre kiértékelik az eredményeket. Ily módon az Intézet által szervezett bizottság a szigetelőlemez — más összehasonlítókkal együttesen — két évig tartó üzemi próbáját határozta el (két, kísérleti kályhával felszerelt vasúti személykocsiban), amely jelenleg áll eredményes lezárás alatt.

Az üzemi próbák nyers végeredményét előre lehetett látni (az összehasonlító kályhákhoz képest történő finomabb kiértékelés nem lehetséges) és ezért a bizottsággal egyetértésben mérésekkel egybekötött félüzemi, laboratóriumi tartampróbát kezdeményeztünk — párhuzamosan a vasúti kocsikon folyó próbaüzemmel.

A vasútüzemben ható igénybevételi tényezők lehető hű modellezése mellett a tartampróbák alatt lefolytatott mérések — elsősorban szivárgásiáram-mérések — lényeges különbségeket hívtak elő az összehasonlító kályhák és a kifejlesztett szigetelőlemezzel szerelt kísérleti kályhák között. *Ezek a különbségek nyilvánvalóan a vasúti kocsikon folyó próbaüzemben is léteznek, de jelentőségükhöz a kétéves időtartam sem volt elegendő; amely tény utólag teljes mértékben igazolja a félüzemi, mérésekkel egybekötött, laboratóriumi tartampróba létjogosultságát.*

E tartampróbákon a vasútüzemben jól bevált, NSZK-ból importált, klasszikus, rakottcsillám-felépítésű fűtőmikanithoz, ill. azzal szerelt kályhákhoz hasonlítottuk elsősorban a szilikát—szilikon-kötőanyagú fűtőmikanittal szigetelt kísérleti kályháinkat.

A sellakos Mikape lemezt — mint kommutátormikanitot — senki sem akarja ma már a vonatfűtésénél alkalmazni, a félüzemi tartampróbákon mégis indítottunk ilyen lemezzel szigetelt összehasonlító kályhákat is: a róluk kapott mérési eredmények érdekesek a múltba történő visszavetítés és a jövőben hasznosítható tanulságok miatt.

Az intenzív klímaigénybevétel melletti félüzemi laboratóriumi tartampróbák mérési eredményei azt mutatták, hogy *az általunk kifejlesztett szilikát—szilikon-kötőanyagú fűtőmikanit az 1500 V fűtőfeszültségű kályhákban üzembiztos, jó szigetelést ad, amely klímaigénybevétellel szemben, valamint öregedési tulajdonságai tekintetében kedvezőbb, mint az NSZK-ból importált fűtőmikanit.*

Végezetül ki kell emelni, hogy a vasútüzemi viszonyokat modellező vizsgálati módszerünk (az elgondolás és a berendezés) még nem fejezte be szerepét a jelen közleményben ismertetett körben, hanem megbecsült, további funkcióra számíthat fejlesztés, vagy minősítés alatt álló [1] új, korszerűbb vasúti fűtőtestek vizsgálatánál.

Irodalom

- [1] *Dávid P.*: Villamosüzemű vasúti fűtőtestek vizsgálata. VKI Közleményei 1.
- [2] *TGL 200—1625 Folienglimmer-Erzeugnisse* (NDK szabvány)
- [3] *KPM Sz—MAV 2083—61* Villamos fűtőkályhák (Háziszabvány)

2.

Villamos szigetelőanyagok termikus és kisüléskémiai öregedésének vizsgálata

DÁVID PÉTER

ÖSSZEFOGLALÁS

A termoanalitikai vizsgálati módszerek igen alkalmasnak bizonyultak a termikus öregedés során lejátszódó változások vizsgálatára. Az ilyen mérések gondolatmenetét általánosítva, az átvihető a szigetelőanyagok kisélesek hatására bekövetkező öregedésnek vizsgálatára is. Ez egy villamos szigetelésre alkalmazott PVC keverék példáján szemléletesen mutatható be.

ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТЕРМИЧЕСКОЕ И РАЗРЯДНО-ХИМИЧЕСКОЕ СТАРЕНИЕ

П. Давид

Резюме

Термоаналитические методы испытания оказались весьма подходящими для анализа изменений, протекающих в процессе термического старения. Обобщая мысли при таких измерениях, его можно применять и при испытании изоляционных материалов на старение под воздействием разряда. Это можно наглядно показать на примере ПВХ смеси, применяемой для целей электроизоляции.

PRÜFUNG DER THERMISCHEN ENTLADUNGS-CHEMISCHEN ALTERUNG VON ELEKTRISCHEN ISOLIERMATERIALIEN

P. David

Zusammenfassung

Die thermoanalytischen Prüfmethode eignen sich vorzüglich zur Prüfungen der im Laufe der thermischen Alterung sich abspielenden Änderungen. Wird der Gedankengang solcher Messungen verallgemeinert, so kann er auch zur Prüfung der unter der Wirkung der Entladungen auftretenden Alterung der Isolierstoffe angewendet werden. Dies wird anhand eines für elektrische Isolierzwecke geeigneten PVC-Gemisches anschaulich demonstriert.

EXAMINATION OF THE THERMAL AND DISCHARGE-CHEMICAL AGEING OF DIELECTRICS

P. David

Summary

The thermoanalytical investigation methods proved to be very suitable for the examination of the changes which occurred during the thermal ageing process. By generalizing the train of thoughts connected with such measurements, the method could also be applied to the examination of the ageing of dielectrics which occurs by the effect of electric discharges. This can be well demonstrated by the example of a PVC mixture used for electric insulation purposes.

1. Bevezetés

A villamos gépek és berendezések méreteinek és teljesítményének ellentétes irányú, de azonos célkitűzésből fakadó fejlesztése közben átalakult az üzemben ható igénybevételi tényezők listája: spektruma is. Ennek folytán egyre újabb és jobb anyagokat kell felhasználni villamos szigetelés céljára, mivel a berendezés élettartamát meghatározó legdöntőbb tényező amúgyis a szigetelés romlása.

Az újabb és sok esetben jobb anyagokat a fizikai és kémiai kutatás, valamint az ipar nagyszámban kínálja: akár villamosipari célra szánt eredményként, akár valamely technológiai határterület (pl. űrkutatás, rakéatechnika) melléktermékeként. Az új és jobb anyagok egyben új szerkesztési és gyártási lehetőségeket jelentenek és ezért a konstruktőröket merészebb felépítésű villamos gépek és berendezések, kábelek kialakítására ösztönzik.

Ebben a kölcsönhatásban — konstrukció és anyag között — szabályozó szerep jut a fizikai és kémiai *vizsgálatnak*, amely minden ellenőrzés és minősítés alapja. Éppen ezért Intézetünkben már évek óta elmélyedt munka folyik a szigetelőanyagok és szigetelések hőokozta öregedésének kutatása terén, amely tevékenység eddigi eredményeinek, valamint a módszer részletes ismertetése korábbi közleményekben már megtörtént [1—4]. Tekintettel azonban jelen tanulmány célkitűzésére: *a termikus és a kisléskémiai öregedés vizsgálatának rövid összehasonlító bemutatására*, az alábbiak tömörített összefoglalásként ismertetik a hő okozta öregedés vizsgálatának eddigi eredményeit is.

2. Termikus öregedés

A szigetelések öregedésén — hallgatólagosan és elvileg hibásan — sokszor csupán a hő okozta, ún. termikus vagy hőöregedést értik. Mégis, az esetek jórészében ez az egyszerűsítés a valóság elég jó közelítését adja. A szigetelőanyagok felépítése még manapság is túlnyomóan a szerves kategóriába tartozik és ezért a hőmérséklet hatása a legdöntőbb igénybevételt jelenti. Ebből következik, hogy hőöregedés kötötte le eddig a legtöbb figyelmet. Ezért már régóta ismeretes tény, hogy a hőöregedés sebessége sok esetben a kémiai reakciókinetika alapján tárgyalható [5—8]. Az is tudott dolog, hogy számos esetben az öregedés több szimultán folyamat eredője, bár e folyamatok szétválasztására, vagy még inkább: külön-külön történő diszkussziójára nem volt lehetőség.

A termikus analízis és ezen belül annak egy hazánkban kifejlesztett ága, a *derivatográfia* [9] azonban kiváló eszköznek bizonyult az öregedési folyamatok szelektív *felderítésére*, valamint azok reakciókinetikai vizsgálatára.

Érdekes megjegyezni, hogy Intézetünk első idevágó közleményével szinte egy időben 1964-ben, az Egyesült Államokban *Randino* és *Andreotti* szintén a termikus analízis alapján, de más módszerrel ugyancsak kinetikus összefüggéseket kaptak szigetelőanyagok öregedésére vonatkozóan, anélkül azonban, hogy módszerükkel elérték volna a derivatográfia által megengedett nagyobb felbontóképességet: az egymás mellett lejátszódó öregedési folyamatok egyenkénti észlelésének és tanulmányozásának lehetőségét [15].

A derivatográf a vizsgált anyag választott felfűtési program szerinti hőbontását végzi el, miközben méri és regisztrálja a minta súlycsökkenését (*TG* görbe), a súlycsökkenés sebességét (*DTG* görbe), az entalpiaváltozást (*DTA* görbe) és a minta mindenkori hőmérsékletét.

A derivatográfia módszerével és az erre alapított műszerrel, a derivatográfia az Intézetben folyó munka eddigi eredményei a termikus öregedés terén az alábbiak:

a) Kialakult az egyes öregedési folyamatok közvetlen és egymás melletti megfigyelésének és értékelésének módszere.

b) Öregített minták sorozatvizsgálatával egyazon anyaghoz az öregedési részfolyamatok szerinti többféle öregedési sebességet lehet hozzárendelni.

c) Az öregedési részfolyamatok kinetikájával korrelációba hozhatók az anyag egyes gyakorlati jelentőségű tulajdonságváltozásai, vagyis az öregedés egyes jellemző megnyilvánulásainak kémiai-fizikai (anyagszerkezeti) okai deríthetők föl.

d) Az egyes öregedési részfolyamatok kinetikájának összevetésével és a jellemző hőmérsékletek figyelembevételével, sok esetben ún. abszolút: termikus élettartam definiálható valamely anyagra, anélkül, hogy a szokásos, önkényes kritériumokat kellene igénybevenni.

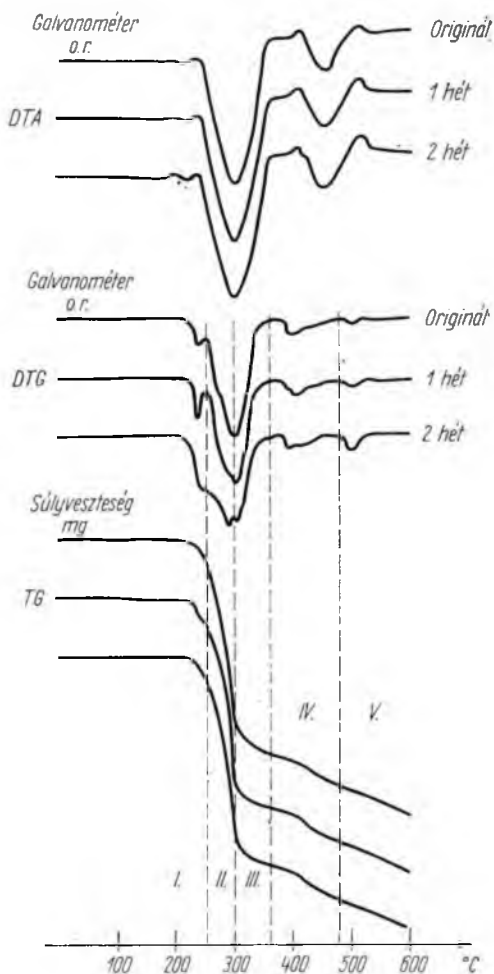
A hő okozta öregedés derivatográfiai vizsgálatára egy jellemző példa a villamos szigetelés céljára alkalmazott PVC termikus tulajdonságainak [1, 10, 11], öregedési mechanizmusának részfolyamatokra történő felbontása.

A 2-1. ábrán három derivatogram összesített képe látható: egy kábelszigetelésre alkalmazott PVC keverék eredeti állapotú, valamint a 100 °C-on, levegőn hőkezelt anyag 7, ill. 14 napig öregített mintájáról. Látható az ábrából, hogy a vizsgált PVC keverék hőbomlása a kiindulási állapotban 4, az öregített PVC-nél pedig 5 egymást követő, ill. részben átfedő bomláslépcsőben történik. (Föltehető, hogy az öregítetlen minta bomlásánál is létezik mind az öt folyamat, csupán az átfedések és a mennyiségi viszonyok nem engedik meg mind az öt észlelését.)

Az egyes bomláslépcsők felismerését és azonosítását elsősorban a DTG görbe teszi lehetővé, amely a súlycsökkenést jelző TG görbe idő szerinti deriváltja.

Az egyes bomláslépcsőkben távozó anyagmennyiségeket e két görbe egybevetése adja meg. A DTG görbe ui. — a fentiek szerint — extrémumokkal jelzi a TG görbe leglankásabban lefutó helyeit, amely inflexiók mindig egy éppen lezajló és egy éppen kezdődő folyamat eredő határpontját jelentik.

Miután a DTG görbével felismerhetőkké, a DTG és TG görbével pedig mennyisé-



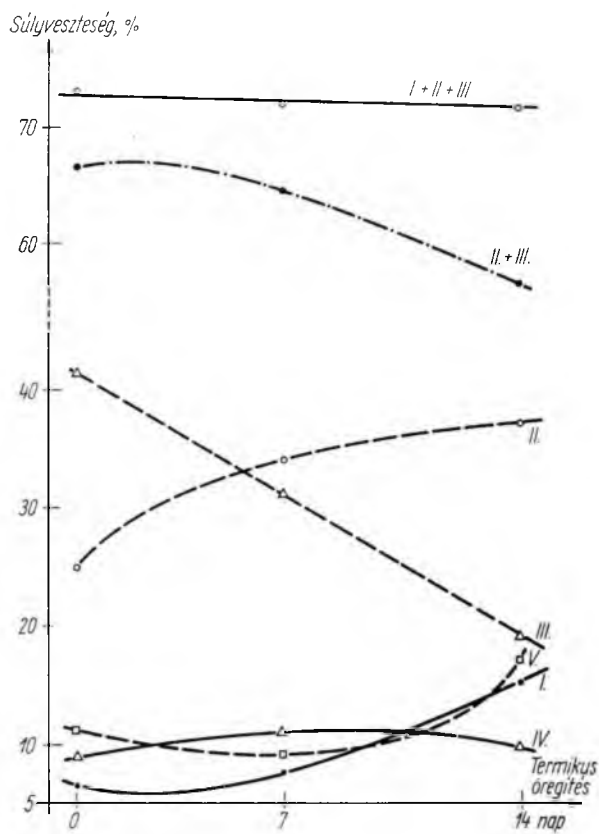
2-1. ábra

gileg kiértékelhetőkké váltak az egyes bomláslépcsők, a *DTA* görbével jellegük határozható meg: az, hogy exoterm, vagy endoterm folyamatról van szó, vagy esetleg súlyváltozással nem járó effektust jelez.

Mindezeket figyelembe véve, az ábrán látható PVC keverék bomláslépcsőiről — első közelítésben — a következők mondhatók: Az *I*-gyel jelölt folyamat, amely a *DTG* görbék szerint 230...240 °C körül mutat legnagyobb sebességet és 250 °C körül már a következő (*II*) folyamatnak ad helyet, az öregített mintáknál az öregítéssel egyre jobban kifejezésre jut, amely tendencia a folyamat *TG* görbe alapján történő kvantitatív értékelésénél különösen szembeötlő. Föltehető, hogy ez az *I* folyamat a stabilizátor működésével áll szoros kapcsolatban.

A következő és legjelentősebb hőmérséklet-tartomány 250...360 °C közé esik, amelyben két, egymást erősen átfedő folyamat játszódik le, úgyannyira, hogy csupán az öregített mintáknál észlelhető a két folyamat külön-külön. Minél hosszabb ideig öregedett a minta, annál inkább szétválik a két folyamat. E folyamatokat jelölje rendre *II* és *III*.

A fenti, 360 °C-ig lezajló *I*, *II* és *III* bomlásfolyamatokban — föltehetően — elsősorban, a PVC-ből hőhatásra lehasadó sósav és a lágyító távozik el. A vizsgált PVC keverék összetétele 62% PVC és 38% lágyító aránnyal jellemezhető, amelynek ismeretében 35,4% összes sósavtartalom adódik. Így a sósav és a lágyító együttesen 73,4%-át adják a szóban forgó PVC keveréknek, amely igen jó egyezésben van a kiindulási állapotú minta *I*, *II* és *III* jelű bomláslépcsőiben távozó összes anyagmennyiség értékével: 73%-kal.



2-2. ábra

Látható a 2-1. táblázatból, hogy ez az érték a 100 °C-on történt öregedéssel igen kis mértékben csökken, amely csökkenés az öregedés során lehasadt és eltávozott sósav és ugyancsak eltávozott lágyító együttes mennyisége.

A következő *IV* és *V* jelű két bomláslépcső adatai, jellemző hőmérséklete a 2-1. ábrából, ill. a 2-1. táblázatból kiolvashatók, és így mint az anyagnak a gyakorlatban kevésbé jelentős frakciói, itteni részletezésétől el lehet tekinteni.

Annál inkább kiemelendő tény, hogy az egyes bomláslépcsők eltérő módon fejlődnek az öregedés során. Ez a 2-2. ábra alapján látható be, igen szemléletes módon. Kitű-

2-1. táblázat

Termikusan öregített PVC (100 °C)

Részfolyamat		I		II		III		IV		V	
		%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C
Minta	Originál	6,5	20...250 240	25	250...280 260	41,5	280...360 295	9	360...470 415	11	470...600 510
		II + III = 66,5%									
		I + II + III = 73,0%									
	1 hét	7,5	20...235 230	34	235...280 280	31	280...360 290	11	360...480 415	9	480...600 505
		II + III = 64,5%									
		I + II + III = 72,0%									
	2 hét	15	20...255 230	37,5	255...300 285	19	300...365 310	9,5	365...475 415, 430	17	475...600 510
		II + III = 56,5%									
		I + II + III = 71,5%									

2-2. táblázat

Kisüléssel öregített PVC (11 kV)

Részfolyamat		I		II		III		IV		V			
		V/a		V/b									
Súlyvesztés; jellemző hőmérséklet		%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C
Minta	8 h	10	20...260 250	24	250...285 277	37,5	285...370 305	9,5	370...475 425	6	370...455 515	8	535...600 550
		II + III = 61,5%											
		I + II + III = 71,5%											
	20 h	12	20...265 250	30	265...290 280	30	250...370 310	8,5	370...475 430	7,5	475...540 520	8	540...600 550
		II + III = 60,0%											
		I + II + III = 72,0%											
	30 h	10	20...255 250	38,5	255...290 275	23,75	290...370 305	8,5	370...475 427	10	477...547 517	6	547...600 555
		II + III = 62,25%											
		I + II + III = 72,25%											
										a + b = 14%			
										a + b = 15,5%			
										a + b = 16%			

nik az ábrából, hogy míg az *I* és *II* bomláslépcsőben távozó viszonylagos anyagmennyiség — ellentétes hajlású, de — egyezően emelkedő tendenciát mutat az öregedés során, addig a *III* folyamat csökkenő és meglepően lineáris jellegű.

Anélkül, hogy jelen fejtegetés mélyebb és kémiai, fizikai analizisét kívánná a bomláslépcsőknek megoldani, csupán kvalitatíve és a feladatkitűzés körén belül megállapítható, hogy a termikus öregedésnek egyszerű súlycsökkenés-méréssel történő jellemzése (l. a 2-2. ábra *I + II + III* görbéjét) távolról sem tükrözné azokat a folyamatokat, amelyeket viszont — mintegy nagyobb felbontóképességgel — a derivatográfia módszere mutat meg.

A példaként felhozott PVC keverék 100 °C-on történő hőöregítése tehát látszólag csak igen kis mértékű súlyváltozással járó folyamat 20 és 360 °C között, valójában azonban a PVC — stabilizátor — lágyító-rendszer bonyolult összetételbeli és fizikai állapotbeli megváltozását jelenti, amelyet a 2-2. ábra *I, II* és *III* jelű görbéinek szelektív mérése és figyelembevétele mutat meg.

A derivatográfias öregedésvizsgálat ily módon részfolyamatonként állítja elő az öregedés képét és így egyazon anyaghoz — adott körülményeknél — több öregedési sebességet rendel hozzá.

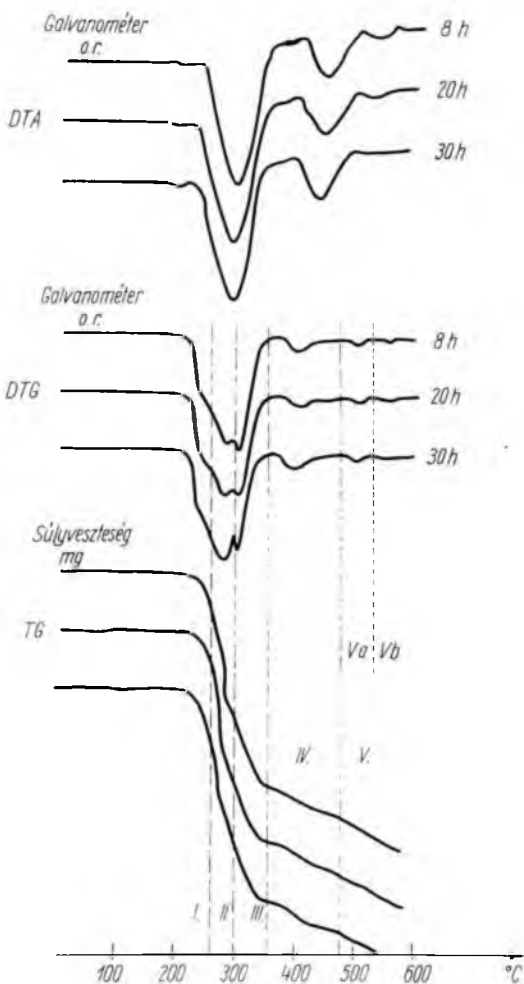
Mi sem kézenfekvőbb, mint ezt a tényt korrelációk keresésére felhasználni: egyfelől egyes anyagi tulajdonságok öregedés során történő változása, másfelől az egyes bomlás (rész)-folyamatok „öregedési tendenciája” között [4].

3. Kisüléskémiai öregedés

Mint ismeretes, nagyobb feszültségeknél a szigetelésben, ill. annak felületén kisülések lépnek fel és hosszabb vagy nagyobb intenzitás esetén az anyag kémiai és fizikai elváltozását okozzák [12, 13].

A kisülések ilyen hatásaival hazai viszonylatban Földiák és Pál foglalkozott [14] és a fent említett hatások körülírására jelen közlemény is az általuk bevezetett *kisüléskémia* elnevezést vette át.

Lehetőség látszott azonban az Intézetben kifejlesztett derivatográfias öregedésvizsgálati módszert a kisülések területére is kiterjeszteni, amely feltevés helyességének kísérleti igazolása a továbbiakban található; csupán az előzetes közlemény igényével.



2-3. ábra

A szóban forgó PVC keverék intenzív kisülések hatásának volt kitéve: az anyag egy-egy részlete 8, 20 és 30 órán keresztül. A kisülések a szokásos módon, üvegfelületek között, szellőzött elrendezésben történtek, 11 kV, 50 Hz hatására. Az üvegfelületek távolsága egymástól 3 mm volt.

A 2-3. ábrán összefoglalva látható a kisüléssel öregített PVC három különböző ideig kezelt mintájának derivatogramja. Látható, hogy szemben a termikusan öregített PVC-vel, a kisülések hatására öregedett PVC esetén az *I* folyamat kevésbé jelenik meg, míg a *II* és *III* szétválása határozottabban jelentkezik.

A 2-3. ábrán látható részfolyamatok jellemzése a 2-2. táblázatban található meg, amelynek a százalékos súlycsökkenésre vonatkozó adatait a 2-4. ábra teszi szemléltessé az öregítési idő függvényében.

Az ábrázolást a termikusan öregített PVC hasonló ábrájával összevetve, legelőször is szembetűnik, hogy a *III* folyamat mindkét öregítési fajtánál lineárisnak tekinthető. Ezen túlmenően, látható még, hogy a *II* folyamat is lineárisnak tekinthető a kisüléssel öregedés esetében, valamint, hogy az *V* folyamat felhasad két további (*Va* és *Vb*) részfolyamatra.

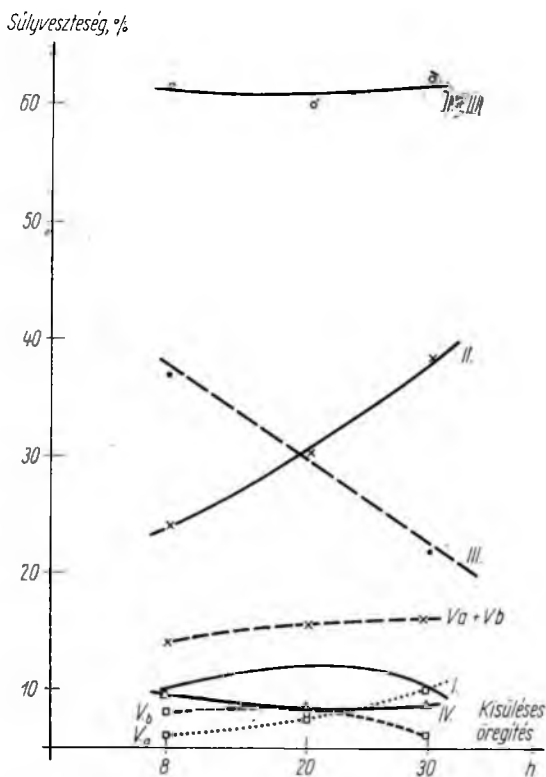
Látható tehát, hogy a kisülések hatásának kitétt anyag kémiai és fizikai elváltozásai a derivatográfia módszerével nagyobb felbontóképességgel vizsgálhatók: az egyes részfolyamatoknak az öregítés körülményei (pl. időtartam) szerinti alakulása alapján.

4. Összefoglalás

A derivatográfia módszerével, részfolyamatokra bontva hasonlítható tehát össze valamely szigetelőanyag, vagyis a példaként felhozott PVC keverék *termikus* és *kisüléskémiai* öregedése.

További vizsgálatok szükségesek még az egyes részfolyamatok kémiai analíziséhez, vagyis annak konkrét meghatározásához, hogy az egyes részfolyamatok milyen összetételbeli változást okoznak a mintában.

A 2-2. és 2-4. ábra közös jellemzője, vagyis a *III* jelű folyamat *linearitása* alapján a léptékek megválasztása úgy történt, hogy a *III* folyamatot (főltehetően a lágyító távozását) jellemző egyenes meredeksége a két ábrában azonos legyen. Ekkor a két



2-4. ábra

ábra időléptékeinek egybevetésével kitűnik, hogy a *III* folyamatra vonatkoztatva a kísérések hatására történő öregedésnél majdnem egy nagyságrenddel kevesebb idő szükséges azonos mértékű romláshoz, mint a 100 °C-on történt termikus öregedésnél, vagyis az adott kísérések hatására bekövetkezett öregedés sebessége kb. egy nagyságrenddel nagyobb.

A fentiek a derivatográfias öregedésvizsgálati módszer kiterjesztését mutatják be a kísérések hatásának példájával.

A téma még sok megoldandó részlete a jövő vizsgálatok feladata, de a követendő irányt már kitűzték az eddigi eredmények.

Irodalom

- [1] *Dávid P.*: A termikus analízis alkalmazása villamos szigetelőanyagok és szigetelések vizsgálatára. *Elektrotechnika*, **57**. (1964) 570—580. old.
- [2] *Liptay, G.* — *Dávid, P.* — *Erdey, L.*: Derivatographic Study of Electrical Insulators. *Periodica Polytechnica El.*, **9**. (1965) p. 259—267.
- [3] *Dávid, P. K.* — *Liptay, G.* — *Erdey, L.*: Derivatographic Study of Electrical Insulators and Insulating Materials. International Symposium on Thermal Analysis, London, (1965)
- [4] *Dávid, P. K.*: Derivatographische Untersuchungen von elektrischen Isolierstoffen. 12. Internationale Tagung der Elektrotechniker. Berlin, (1967)
- [5] *Németh E.*: Szigetelőanyagok öregedése. *Elektrotechnika*, **56**. (1963) 209—214. old.
- [6] *Montsinger, V. M.*: Loading Transformers by Temperature. *Trans. AIEE*. **49**. (1930) p. 776.
- [7] *Büssing, W.*: Beiträge zum Lebensdauergesetz elektrischer Maschinen. *Archiv. El.* **36**. (1942) p. 333.
- [8] *Dakin, T. W.*: Electrical Insulation Deterioration Treated as a Chemical Rate Phenomenon. *Trans. AIEE*. **67**. (1948) I. p. 113.
- [9] *Paulik, F.*: — *Paulik, J.* — *Erdey, L.*: Der Derivatograph I, II. *Z. Analyt. Chem.* **160**. (1958) p. 241, 321.
- [10] *Paulik, J.* — *Wolkóber, Z.* — *Paulik, F.* — *Erdey, L.*: Derivatographische Untersuchungen an PVC. *Plaste u. Kautschuk*, **13**. (1966) p. 336—339.
- [11] *Liptay, G.* — *Dávid, P.*: Application of the Derivatograph for Testing Electrical Insulators. Hungarian Scientific Instruments, (1966) No. 7. p. 7—14.
- [12] *Langlois-Berthelot, B.*: Comment utiliser la mesure des phénomènes d'ionisation pour connaître la fatigue des isolantes. *CIGRÉ 1952. Rep. No.* 132.
- [13] *Bouska, A.*: Die Beständigkeit von trockenen und feuchten Glimmerisolerstoffen in einem stark ionisierten Raum. *Elektrie*, (1966) No. 8. p. 326—328.
- [14] *Pál Z.*: Villamos kíséréskémiai kísérletek. MÁFKI Zárójelentés. Budapest, 1962. (További hivatkozásokkal.)
- [15] *Randino, J.P.* — *Andreotti, J.R.*: Differential Thermal Analysis as Applied to the Deterioration of Electrical Insulation. *Insulation* **10**. (1964) No 5. p. 24—32.

VILLAMOS
BERENDEZÉS
LABORATÓRIUM

3.

Áramkörök Z-jelleggörbájú impedanciákkal

DR. GÁDOR LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

A villamosság elméletének és gyakorlatának ma már egyre önállóbb fejezete a nemlineáris elemeket tartalmazó áramkörök sajátosságait és törvényszerűségeit összefoglaló nemlineáris elektrotechnika. A nemlineáris tagok szélsőséges tulajdonságú csoportja azok a passzív áramköri elemek, amelyek jellemző adatai között Z-jelleggörbékkel adhatjuk meg az összefüggést.

Tanulmányozásuk éppen extrém tulajdonságaik miatt olyan minőségi összefüggésekre világít rá, amelyek megkönnyítik a nemlineáris áramkörök kezelését.

ЦЕПИ С ИМПЕДАНСАМИ Z-ХАРАКТЕРИСТИКИ

Д-р. Л. Гадор

Резюме

Нелинейная электротехника, обобщающая свойства и закономерности цепей, собранных на нелинейных элементах, получает в настоящее время все более самостоятельное место в области теории и практики электричества. Группа нелинейных, склонных к крайностям, членов охватывает те элементы пассивной цепи, зависимость между характерными техническими данными которых задается Z-характеристиками.

Из-за экстремальных свойств этих элементов изучение их позволяет осветить такие качественные зависимости, которые в значительной мере облегчают процесс обслуживания нелинейных цепей.

STROMKREISE MIT IMPEDANZEN MIT Z-KENNLINIEN

Dr. L. Gádor

Zusammenfassung

Ein zur Zeit stets selbstständiger werdender Abschnitt der Theorie und Praxis der Elektrizitätslehre ist die nichtlineare Elektrotechnik, welche die Eigenheiten und Gesetzmäßigkeiten der nichtlinearen Elemente enthaltenden Stromkreise zusammenfasst. Eine extreme Eigenschaften aufweisende Gruppe der nichtlinearen Glieder bilden die passiven Schaltelemente, zwischen deren Kennwerten der Zusammenhang durch Z-Kennlinien angegeben werden kann.

Ihre Untersuchung weist eben zufolge ihrer extremen Eigenschaften auf jene qualitativen Zusammenhänge, die eine Handhabung der nichtlinearen Stromkreise erleichtern.

CIRCUITS WITH IMPEDANCES OF „Z” CHARACTERISTIC

Dr. L. Gádor

Summary

The nonlinear electrotechnics dealing with the specific properties of circuits including nonlinear elements and with the laws of such circuits has become in these days an increasingly independent chapter in the theory of electricity. A group possessively

extreme properties is formed within the nonlinear circuit elements by those passive circuit elements whose characteristic data can be brought into relationship by the characteristics „Z”.

Owing to these extreme properties, the study of these circuit elements brings into the limelight those qualitative relations which may facilitate the handling of the nonlinear circuits.

1. Bevezetés

Klasszikus tankönyveink a villamosság törvényeit úgy írják fel, hogy bennük az anyag- és rendszerállandók valóban állandók, az összefüggések pedig lineárisak. Ilyenek többek között az Ohm-törvény, az indukció törvényei, a Maxwell-egyenletek. Az ilyen módon leírt rendszerekben az összefüggések függetlenek a változók abszolút értékeitől és a környezeti hatásoktól, mint hőmérséklet, mechanikai igénybevétel stb., s a szuperpozíció elve érvényes rájuk. Az egyenletekben a rendszerállandók, mint R , L , C , és a villamos jelenségeknek teret adó közegek és anyagok állandói, mint σ , μ , ε , korlátozás nélkül állandóként szerepelnek.

Bár hamarosan tudottá vált, hogy az ilyenképpen idealizált rendszerekre felírt törvények érvényessége korlátozott, ezek a korlátok sokáig kívül estek a gyakorlati felhasználás tartományán és a lineáris elektrotechnika egyeduralgó tudománya lehetett a villamos gépek, berendezések és készülékek gyakorlatának.

A fejlődő technika azonban nemcsak a villamossági termékek választékát bővítette, hanem a felhasznált anyagok, az alkalmazott jelenségek és a mennyiségi jellemzők tartományainak nagyságrendekkel megnövelt mértéke tekintetében is új utakra lépett.

E bonyolultabb világban nem lehetett tovább szemet hunyni a nemlinearitás tényei előtt és fokozatosan ki kellett építeni a nemlineáris jelenségek kezelési módszereit, a közöttük megállapítható összefüggések rendszerét. Mint ahogy a relativisztikus fizika elméleti és kozmológiai érdekszférájából a kísérleti fizikusok mindennapi kenyérévé lépett elő, amióta a fénysebességet megközelítő sebességű részecskékkal végzik magfizikai kísérleteiket.

Jelen cikk a nemlineáris elektrotechnika tudományához a nemlineáris passzív áramköri elemek egy különleges csoportjának, a Z-jelleggörbéjű konduktív, induktív és kapacitív elemek váltakozóáramkörbeli viselkedésének a vizsgálatával kíván hozzájárulni.

A Z-jelleggörbe a nemlinearitás bizonyos szempontból szélsőséges megnyilvánulása, amely éppen szélsőségességénél fogva az ilyen típusú áramkörökre nézve jellemző megállapításokhoz vezethet. A gyakorlatban előforduló közbenső típusú nemlinearitások általában előállíthatók Z-jelleggörbéjű és lineáris elemek kombinációjaként. A Z-jelleggörbéjű elemek viselkedésének a tanulmányozása ez okból is hasznos lehet.

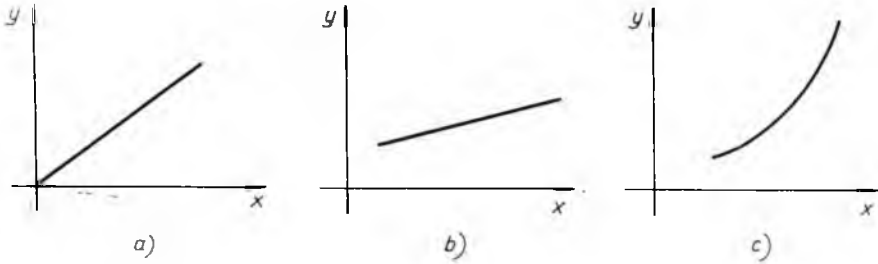
2. Meghatározások

Mielőtt a tárgyalás érdemi részébe mennénk, előljáróban meg kell állapodnunk néhány meghatározásban, fogalomban, elnevezésben és jelölésben, felhasználva és általánosítva egy hasonló tárgyú cikkben [2] már korábban megadottakat.

Árányos tagnak nevezzük azt az áramköri elemet, amelynek a mértékadó jellemzői közötti összefüggést a kezdőponton áthaladó egyenes írja le (3-1a ábra).

Ilyen az összefüggés az ohmos ellenállás kapcsolófeszültsége és a rajta átfolyó áram között, vagy a légréses fojtótekerics árama és fluxusa között.

Lineáris tagnak nevezzük azt az áramköri elemet, amelynek mértékadó jellemzői közt lineáris az összefüggés, de az egyenes nem tartalmazza a kezdőpontot (3-1b ábra). Ilyen pl. a szelvényenirányító könyökön túli szakaszán az áram és feszültség összefüggése, vagy a telítődő fojtótekerics telítési szakaszán az áram—feszültség, illetve fluxus—áram összefüggés.



3-1. ábra

Nemlineáris tagnak nevezzük azt az áramköri elemet, amelynek mértékadó jellemzői között nemlineáris összefüggés áll fenn (3-1c ábra). Ilyen az izzólámpa árama és feszültsége közti összefüggés, ilyen jellegű görbéje van a vasmagos fojtótekericsnek a kezdeti arányosnak és a telítési lineárisnak tekinthető szakaszoktól eltekintve.

Rezisztor az a passzív áramköri elem, amelynek kapcsolási áram és feszültség mindig csak egy irányban léphet fel, a felvett villamos teljesítményt valamilyen energia alakjában disszipálja. Áramköri viselkedését meghatározza ellenállása, illetve vezetőképessége.

A rezisztor sztatikus ellenállása:

$$R = \frac{u}{i}, \tag{1}$$

dinamikus ellenállása:

$$R_d = \frac{du}{di}, \tag{2}$$

sztatikus vezetőképessége:

$$G = \frac{i}{u}, \tag{3}$$

dinamikus vezetőképessége:

$$G_d = \frac{di}{du}, \tag{4}$$

ahol u a feszültség, i az áram pillanatnyi értéke.

Fojtó az a passzív áramköri elem, amelyben a rajta áthaladó áram hatására mágnes tér alakul ki. Sarkain felléphet feszültség, miközben áram nem folyik rajta és viszont. Ha áram és feszültség egyszerre jelenik meg, azok iránya lehet egyező vagy ellentétes. Egyező irányok esetén a felvett teljesítmény teljes egészében mágneses energiává alakul át. A fojtó áramköri viselkedését meghatározza önindukciója.

A fojtó sztatikus önindukciója:

$$L = \frac{i}{\psi}, \quad (5)$$

dinamikus önindukciója:

$$L_d = \frac{di}{d\psi}, \quad (6)$$

ahol ψ a gerjesztő áramkörrel kapcsolódó teljes fluxus (átmágnesezés).

Kondenzátor az a passzív áramköri elem, amelynek a sarkain fellépő feszültség töltésfelhalmozódással jár együtt. Sarkain felléphet feszültség, miközben áram nem folyik rajta és viszont, áram és feszültség iránya lehet egyező vagy ellentétes, akár csak a fojtónál. Egyező irányok esetén a felvett teljesítmény teljes egészében villamos energiává alakul át.

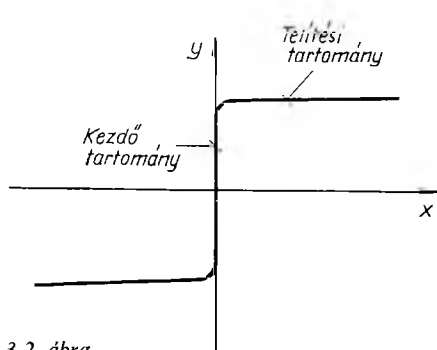
A kondenzátor áramköri viselkedését meghatározza annak kapacitása. A kondenzátor sztatikus kapacitása:

$$C = \frac{q}{u}, \quad (7)$$

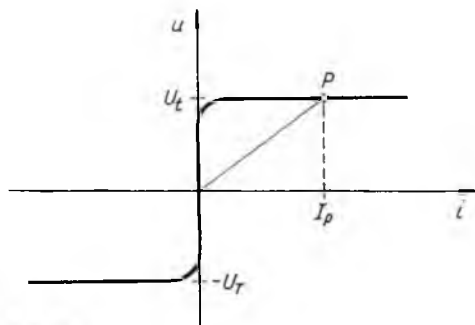
dinamikus kapacitása:

$$C_d = \frac{dq}{du}, \quad (8)$$

ahol q a kondenzátor fegyverzetén felhalmozódó töltés pillanatnyi értéke.



3-2. ábra



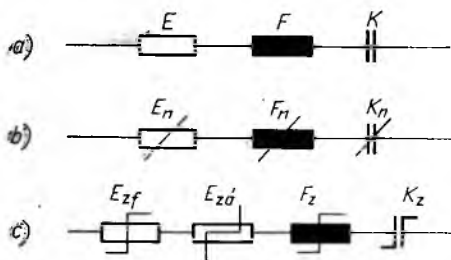
3-3. ábra

Eddigi meghatározásainkban kerültük az induktív, illetve kapacitív *ellenállás* kifejezést, amely a hagyományos elektrotechnikában azzal a fizikai képpel kapcsolódott, amely szerint az áramköri elemek induktív vagy kapacitív sajátosságainál fogva adott váltakozófeszültség mellett kisebb vagy nagyobb mértékben bocsátják át az áramot. A Z-elemek a periódus egy részében teljesen nyithatnak, más részében teljesen zárhatnak, így a hagyományos kép félvezető. Legfeljebb valamiféle statisztikus értelmezést fogadhatunk el, ha a Z-elemet is tartalmazó áramkör egészére vizsgáljuk az áram és feszültség középértékét.

A 3-2. ábra mutatja a tipikus összefüggést a Z-jelleggörbéjű áramköri elem x és y jellemzője között. A jelleggörbe *kezdő tartományára* $x=0$, a fentebb elmondott meghatározások értelmében a jelleggörbének ez a szakasza arányos. Ebből következik, hogy ebben a tartományban a sztatikus és dinamikus jellemző értéke azonos, mégpedig a jellemző definíciójától függően zérus vagy végtelen. Pl. a feszültségkor-

lázó rezisztor (3-3. ábra) sztatikus és dinamikus ellenállása egyaránt végtelen, sztatikus és dinamikus vezetőképessége egyaránt zérus.

A telítési tartomány lineáris, függvénye az $y = (\text{sg } x) \text{ const}$ alakban adható meg. A telítés jellegzetes nemlineáris tulajdonság. Ebben a tartományban a sztatikus



3-4. ábra

jellemző értéke pontról pontra változik, a dinamikus jellemző értéke pedig állandó, mégpedig a jellemző definíciójától függően zérus vagy végtelen. Példaként az előbb említett feszültségkorlátozó rezisztornál maradvá, annak sztatikus ellenállása és vezetőképessége a pontról pontra változó $R = U_i/I$, illetve $G = I/U_i$, míg dinamikus ellenállása mindenütt zérus, illetve dinamikus vezetőképessége mindenütt végtelen.

A Z-jelleggörbe tehát nem folytonos, de matematikailag egyszerűen és jól kezelhető szakaszokból áll.

A vizsgálatokat tehetetlenség- és hiszterézismentes elemekre korlátozzuk. Feltételezzük továbbá, hogy a nemlinearitás nem hőmérsékletfüggő, hanem eredete valami más fizikai jelenség, mint pl. záróréteg, a töltéshordozók térorösségfüggő generálása.

Míg az első korlát a frekvenciafüggést zárja ki, az utóbbi feltételezés magába zárja azt a követelményt, hogy a vizsgált elem jelleggörbéje sem környezeti hatások, sem az üzemi körülmények folytán nem változik. Végül feltételezzük a jelleggörbe szimmetriáját, vagyis a vizsgált áramköri elem viselkedése az áram és a feszültség irányától független, egyenirányító hatás nem lép fel.

A kapcsolási vázlatokban a 3-4a ábra szerinti hagyományos jelölések ábrázolják az arányos rezisztort (E), fojtót (F), ill. kondenzátort (K), a b ábra áthúzott szimbólumai a nemlineáris elemeket jelzik, míg a c ábra tört vonalú áthúzásai a Z-jelleggörbéjű elemeket. A hagyományos R, L, C betűket fenntartjuk maguknak a jellemzőknek, az ellenállásnak, az önindukciónak és a kapacitásnak a jelölésére. A lineáris elektrotechnika művelőinek könnyebb a dolguk: nem baj, ha a fojtót és annak az induktivitását egyaránt L -vel jelölik, hiszen a fojtó induktivitása állandó érték. A Z-jelleggörbéjű impedanciáknál ellenben van külön sztatikus induktivitás, külön dinamikus, s még hozzá mindkettő pontról pontra változhat is.

3. Feszültségkorlátozó Z-rezisztor

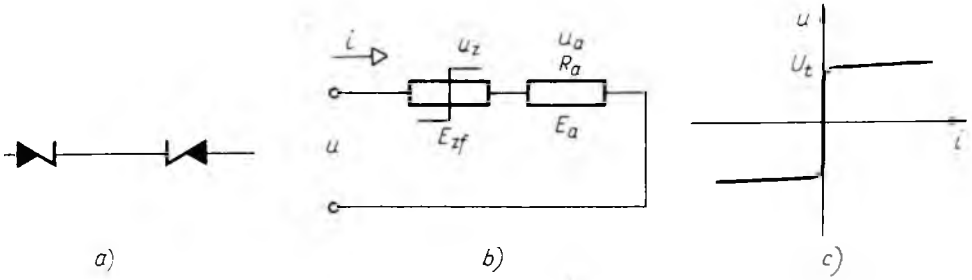
Feszültségkorlátozó Z-rezisztort kapunk az ideális jelleggörbét jól megközelítő jellemzőkkel pl. két szembekapcsolt Zener-diódából (3-5a ábra). A szembekapcsolás biztosítja a szimmetriát, az áram bármelyik irányban csak az U_i telítési feszültség, esetünkben a Zener-feszültség túllépésekor indul meg.

Az E_a korlátozó rezisztor, illetve R_a korlátozó ellenállás — általában a hasznos fogyasztó — biztosítja, hogy ilyenkor az áram ne érjen el az áramkört veszélyeztető túlzottan nagy értékeket.

A táplálás váltakozófeszültség:

$$u = U \sin \omega t. \quad (9)$$

Mindaddig, amíg az u feszültség el nem éri az U_i telítési feszültség értékét, az



3-5. ábra

áramkörben áram nem folyik, az egész külső feszültséget E_z veszi magára (3-6. ábra), $u_z = u$, $u_a = 0$.

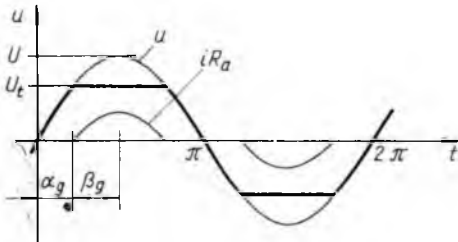
Az $\alpha_g < \omega t < (\pi - \alpha_g)$ szakaszban E_z dinamikus ellenállása gyakorlatilag zérus:

$$R_{zd} = \frac{du_z}{di} = 0, \quad (10)$$

az U_t fölötti feszültséget E_a veszi magára és az áram ennek megfelelően

$$i = \frac{u - U_t}{R_a}. \quad (11)$$

Mindaddig, amíg $U \equiv U_t$, E_z úgy viselkedik, mint egy nyitott kapcsoló, minden feszültséget magára vesz és az áramkörben áram nem folyik.



3-6. ábra

Ha $U > U_t$, akkor egy ideig ugyancsak nem folyik áram, de megindul a periódusnak abban a fázisában, amikor u eléri U_t értékét, vagyis az $\omega t = \alpha_g$ összefüggésnek megfelelő időpontban, és megszűnik $\omega t = \pi - \alpha_g$ időpontban. Tehát

$$U \sin \alpha_g = U_t, \quad (12)$$

$$\alpha_g = \arcsin \frac{U_t}{U}. \quad (13)$$

Összefoglalva tehát:

$$u_a = 0, \quad u_z = u, \quad i_a = i_z = 0, \quad \text{ha } 0 < \omega t < \alpha_g, \quad \text{ill. } (\pi - \alpha_g) < \omega t < \pi;$$

$$u_a = u - U_t, \quad u_z = U_t, \quad i_a = i_z = \frac{u - U_t}{R_a}, \quad \text{ha } \alpha_g < \omega t < (\pi - \alpha_g). \quad (14)$$

Számítsuk ki az R_a terhelő ellenálláson a feszültségesés lineáris középértékét.

$$U_{ak} = R_a I_k = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha_g}^{\pi/2} (u - U_t) d\omega t, \quad (15)$$

$$U_{ak} = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha_g}^{\pi/2} U \sin \alpha d\omega t - \frac{2}{\pi} \int_{\alpha_g}^{\pi/2} U_t d\omega t, \quad (16)$$

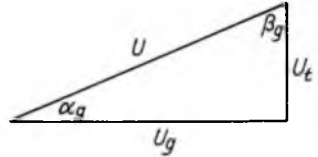
$$U_k = \frac{2}{\pi} \left[U \cos \alpha_g - U_t \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_g \right) \right], \quad (17)$$

$$U_k = \frac{2}{\pi} (U_g - U_t \beta_g), \quad (18)$$

ahol

$$U_g = U \cos \alpha_g \quad \text{és} \quad \beta_g = \frac{\pi}{2} - \alpha_g \quad (3-7. \text{ ábra}).$$

Mind a feszültségkorlátozó Z-rezisztor árama és feszültsége, mind a terhelő ellenállásé páratlan függvény, vagyis alapharmonikus a külső u feszültséggel fázisban van. Ennek így kell lennie, mert az áramkör csak konduktív elemeket tartalmaz, a nemlineáris tag zárása és nyitása a feszültség pillanatnyi értékétől függ, ezért a feszültség és áram alakulását leíró görbék a perióduson belül szimmetrikusan helyezkednek el.



3-7. ábra

Az áramkörben elfogyasztott teljesítményt megkapjuk, ha a hálózati feszültséget az átfolyó áramnak — a hálózati feszültséggel fázisban levő — alapharmonikusával szorozzuk. Az áram alapharmonikusának az amplitúdója:

$$I_1 = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} i(t) \sin \omega t \, d\omega t, \quad (19)$$

$$I_1 = \frac{4}{R_a \pi} \int_0^{\pi/2} u_z \sin \omega t \, d\omega t, \quad (20)$$

$$I_1 = \frac{4}{R_a \pi} \int_0^{\pi/2} (U \sin \omega t - U_t) \sin \omega t \, d\omega t, \quad (21)$$

$$I_1 = \frac{2}{R_a \pi} (U \beta_g - U_t \cos \alpha_g). \quad (22)$$

A kör által felvett összes teljesítmény:

$$N_\delta = \frac{U I_1}{2} = \frac{U}{2} \frac{2}{R_a \pi} (U \beta_g - U_t \cos \alpha_g), \quad (23)$$

$$N_\delta = \frac{U^2}{2 R_a} \frac{2 \beta_g}{\pi} - \frac{U_g U_t}{R_a \pi}. \quad (24)$$

Ebből az E_z ellenállás

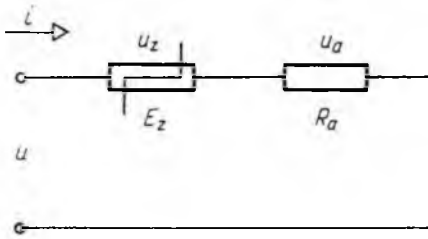
$$N_z = \frac{2}{R_a \pi} \int_0^{\pi/2} U_t (U \sin \omega t - U_t) \, d\omega t = \frac{U_t U_{ak}}{R_a} = U_t I_{zk} \quad (25)$$

teljesítményt disszipál, a többi az R_a terhelő ellenálláson használatos fel. Itt $I_{zk} = U_{ak}/R_a$ a Z-rezisztoron átfolyó áram közepes értéke.

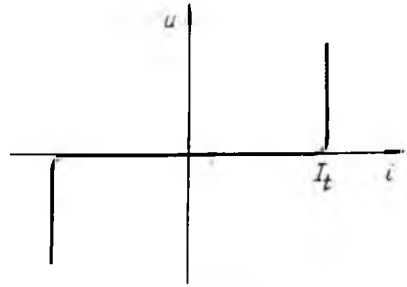
4. Áramkorlátozó Z-rezisztor

Áramkorlátozó Z-rezisztorok váltakozóáramra műkapcsolásokkal állíthatók elő. Idealizált jelleggörbéjük a 3-8b ábra szerinti.

Az I_t telítési áram eléréséig ellenállás nélkül bocsátják át az áramot, amelynek értékét ebben a tartományban az R_a terhelő ellenállás szabja meg. A tápláló feszültség, mint az előző pontban is, $u = U \sin \omega t$.



a)

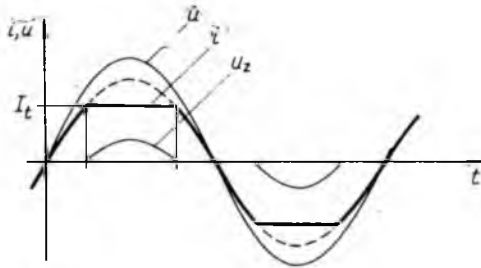


b)

3-8. ábra

Mindaddig, amíg az áramkörben folyó áram el nem éri az I_t telítési áramot, E_z úgy viselkedik, mintha jelen sem lenne az áramkörben, az egész feszültséget R_a veszi magára (3-9. ábra), $u_a = u$, $u_z = 0$.

Az $\alpha_g < \omega t < (\pi - \alpha_g)$ szakaszban E_z dinamikus vezetőképessége gyakorlatilag zérus:



3-9. ábra

$$G_{zd} = \frac{di}{du_z} = 0, \quad (26)$$

az $I_t R_a$ fölötti feszültséget E_z veszi magára, az áram ugyanekkor $i = I_t = \text{const.}$

Mindaddig, amíg $\frac{U}{R_a} \leq I_t$, E_z úgy

viselkedik, mint egy zárt kapcsoló, a teljes feszültséget a fogyasztó veszi magára, az áramkörben az R_a megsabta áram folyik.

Ha $\frac{U}{R_a} > I_t$, akkor a periódus egy részében ugyancsak szabadon folyik az áram, de amikor az $\omega t = \alpha_g$ összefüggésnek megfelelő időpontban eléri I_t értékét, tovább nem nő, hanem ezen az értéken stabilizálódik. Ugyanígy stabilizálódik a fogyasztón az $I_t R_a$ feszültség, az ezen felüli $u - I_t R_a$ feszültséget az $\alpha_g < \omega t < (\pi - \alpha_g)$ tartományban E_z veszi magára.

Összefoglalva tehát

$$u_a = u, \quad u_z = 0, \quad i_a = i_z = u/R_a, \quad \text{ha } 0 < \omega t < \alpha_g, \quad \text{ill. } (\pi - \alpha_g) < \omega t < \pi;$$

$$u_a = I_t R_a, \quad u_z = u - I_t R_a, \quad i_a = i_z = I_t, \quad \text{ha } \alpha_g < \omega t < (\pi - \alpha_g). \quad (27)$$

A közepes értékeket és a teljesítményeket hasonló módon számíthatjuk, mint a feszültségkorlátozó rezisztor esetében.

Közepes feszültség a Z-rezisztoron:

$$U_{zk} = \frac{2}{\pi} (U_g - I_t R_a \beta_g). \quad (28)$$

Közepes feszültség a terhelő ellenálláson

$$U_{ak} = U_k - U_{zk}, \quad (29)$$

ahol $U_k = 2U/\pi$ a hálózati feszültség középértéke.

Az áramkör által felvett összes teljesítmény:

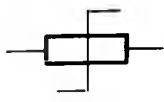
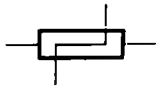
$$N_{\bar{o}} = \frac{U^2}{2R_a} \frac{2\alpha_g}{\pi} + \frac{U_g I_t}{\pi}. \quad (30)$$

Ebből a Z-rezisztor

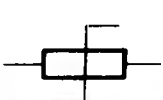
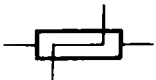
$$N_z = I_t U_{zk} \quad (31)$$

teljesítményt disszipál, a többi az R_a terhelő ellenálláson használódik fel.

Foglaljuk össze táblázatban a feszültségkorlátozó és áramkorlátozó rezisztorra kapott eredményeket.

		
U_{ak}	$\frac{2}{\pi} (U_g - U_t \beta_g)$	$U_k - U_{zk}$
U_{zk}	$U_k - U_{ak}$	$\frac{2}{\pi} (U_g - I_t R_a \beta_g)$
N_a	$N_{\bar{o}} - N_z$	$N_{\bar{o}} - N_z$
N_z	$I_t U_{zk}$	$I_t U_{zk}$
$N_{\bar{o}}$	$\frac{U^2}{2R_a} \frac{2\beta_g}{\pi} - \frac{U_g U_t}{R_a \pi}$	$\frac{U^2}{2R_a} \frac{2\alpha_g}{\pi} + \frac{U_g I_t}{\pi}$

Ugyanezek az értékek, ha $U_t \cong U$, ill. $I_t \cong \frac{U}{R_a}$, $\alpha_g = \frac{\pi}{2}$, $\beta_g = 0$, $U_g = 0$:

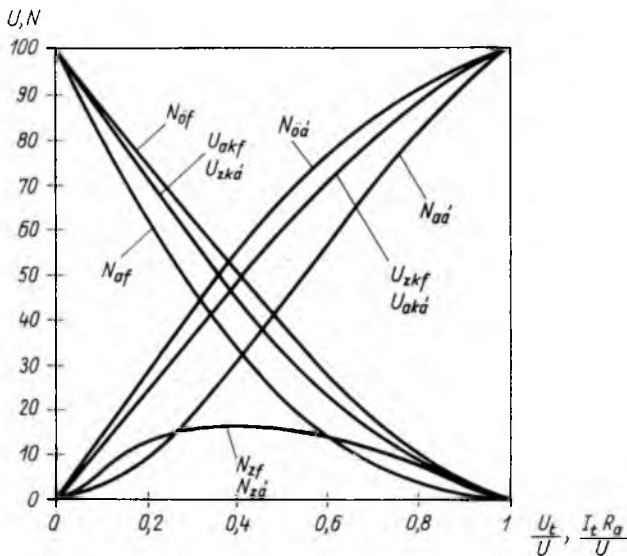
		
U_{ak}	0	U_k
U_{zk}	U_k	0
N_a	0	$N_{\bar{o}}$
N_z	0	0
$N_{\bar{o}}$	0	$\frac{U^2}{2R_a}$

A két rezisztor egymásnak duálja. A telítési tartomány alatt E_{zf} nyitott kapcsolóként működik, minden feszültséget magára vesz, E_{za} zárt kapcsolóként viselkedik, minden feszültséget R_a vesz fel. Az első esetben tehát nincs egyáltalán áram és teljesítmény, a második esetben az áramkör úgy viselkedik, mintha R_a -t egyszerűen rákötöttük volna a hálózatra.

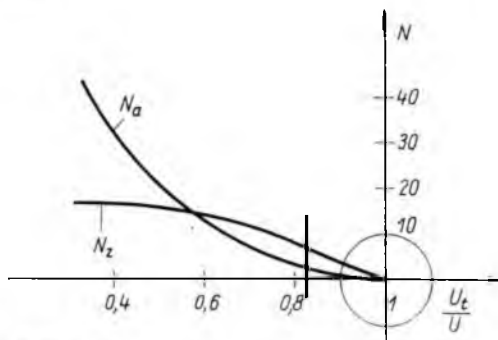
A 3-10. ábra a közbenső értékekre is áttekintést ad a feszültségek és teljesítmények alakulásáról. Az abszcissa rögzített U mellett növeli U_t , ill. $I_t R_a$ értékét, az ordinátán U , ill. N van felmérve, 100-nak tüntetve fel az állandó hálózati feszültség U_k középtértékét, ill. a maximális disszipált teljesítményt.

A Z-elemen szélső esetben vagy áram, vagy feszültség nincs, így a felvett N_z teljesítmény is zérus, legnagyobb értékét középtájon éri el.

A VKI-ben kifejlesztett ATSZ-3 típusú feszültségszabályozó automatika lépcsős feszültségszabályozó transzformátorok önműködő vezérlésére szolgál. A hibajel Ferraris-tárcsás integráló szervet működtet. A lépcsők stabil beállása holtáv



3-10. ábra



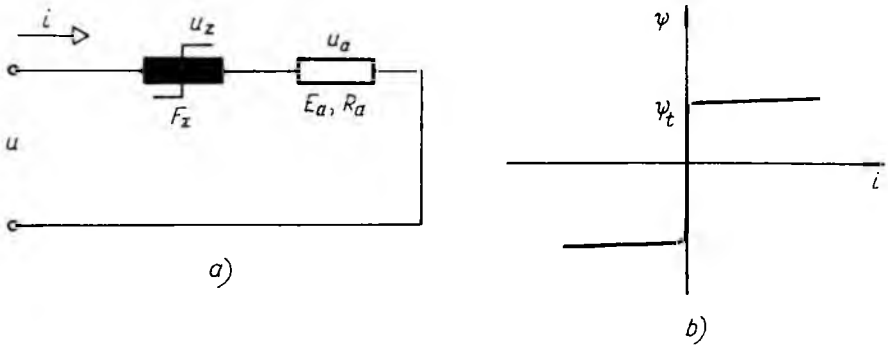
3-11. ábra

alkalmazását követeli meg, s ezt Zener-diódákkal létrehozott Z-rezisztorral oldottuk meg. A 3-11. ábrán bekarikázott terület az a tartomány, ahol a vezérlő feszültség kidugja fejét az U_i által korlátozott holtzávból. Amint látjuk, a működtetésre felhasznált N_a rendkívül laposan indul és ezen a környéken a korlátozó rezisztorban diszzipált N_z jóval nagyobb, mint a hasznos N_a . Ez bizonytalanra teszi az integráló szerv indulását, ezért gyakorlatilag úgy jártunk el, hogy egy független mágneses nyomatók-korlátozóval az indulás helyét kissé eltoltuk N_a meredekebb szakaszára és ezzel biztosítottuk a határozott indulást.

Még egy tanulság: a teljesítményszintek a korlátozás hatásfokát rendkívül kedvezőtlené teszik, ezért csak a hasznos teljesítmény erősítésével jutunk ésszerű megoldáshoz. Illetőleg ha erősítésre úgyszólván szükség van, a korlátozást a kisteljesítményű fokozatban célszerű alkalmazni.

5. Z-fojtó

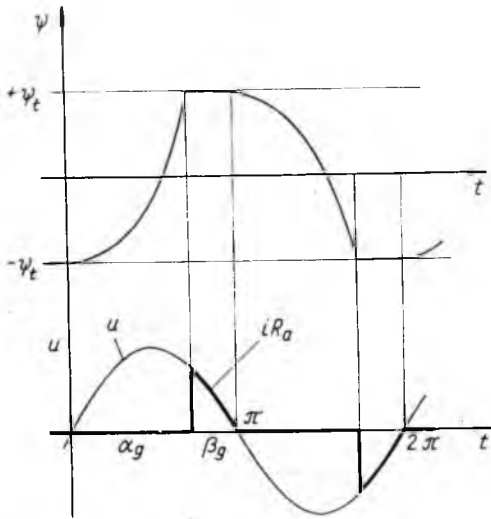
A nagy kezdő permeabilitású különleges mágneses ötvözetekkel készült fojtóteker-csek elég jól megközelítik az 3-12b ábra Z-jelleggörbéjét. A hiszterézist tárgyalásunkban figyelmen kívül hagyjuk. A fojtó vasmagja tehát egy B_i indukcióig, ill. Φ_i fluxusig, ill. Ψ_i átmágnesezésig gyakorlatilag elhanyagolható gerjesztőárammal mágnesezhető, ezen felül viszont a gerjesztőáram növelése már nem növeli a mágnesezettséget, a fojtó telítésbe került.



3-12. ábra

A dinamikus permeabilitás tehát Ψ_i eléréséig végtelen, azon túl zérus. A sztatikus és dinamikus önindukció a kezdő tartományban végtelen, a dinamikus önindukció a telítési tartományban zérus.

Amíg a 3-12a ábra szerinti kapcsolásban az átmágnesezés $-\Psi_i$ -től $+\Psi_i$ -ig változik, a fojtó sarkain az indukált feszültség éppen akkora, hogy egyensúlyt tart a teljes $u = U \sin \omega t$ külső feszültséggel. Ekkor tehát a fojtó sarkain $u = \frac{d\Psi}{dt}$ és az áramkörben $i = 0$. A viszonyokat az egész periódusra a 3-13. ábra mutatja. Az átmágnesezés átváltása α_g időpontban fejeződik be, ettől kezdve az áram szabadon folyik az áramkörben, értékét csak az R_a terhelő ellenállás korlátozza. Az átmágnesezés



3-13. ábra

vagy az áram eléri a Z-elem megfelelő jellemzőjének a telítési értékét. Fojtó esetében a telítődést a (32) integrálösszefüggés definiálja, az összefüggés bal oldalán megjelenő feszültségterület nemcsak U -tól, hanem a periódus nagyságától, vagyis a frekvenciától is függő módon szabja meg az α_g gyújtási szöveget. Számításainkban tehát eszerint kell eljárni.

Amíg $0 < \omega t < \alpha_g$, a teljes feszültséget a fojtó veszi magára, a körben áram nem folyik. A fojtóra jutó feszültség középértéke

$$U_{zk} = \frac{\omega}{\pi} \int_0^{\alpha_g} u \, dt. \quad (34)$$

Mint hogy a (32) összefüggés értelmében az integrál értéke $2\Psi_t$,

$$U_{zk} = \frac{2}{\pi} \omega \Psi_t, \quad (35)$$

$$U_{ak} = U_k - U_{zk} = \frac{2}{\pi} (U - \omega \Psi_t). \quad (36)$$

Meg kell jegyezni, hogy a Z-fojtóval előállított és a 3-13. ábrán bemutatott áram-, illetve feszültségalakok az elektrotechnikus előtt napjainkban jól ismertek, ugyanilyeneket produkál az α_g fázisban begyújtott tirisztor.

Amíg tehát $0 < \omega t < \alpha_g$, a fojtó zár, α_g pillanatban nyit, az $\alpha_g < \omega t < \pi$ tartományban az áramerősséget csak az R_a fogyasztó korlátozza. Ebben a szakaszban a fojtón $u_z = 0$, tehát teljesítményt nem vesz fel, a körben felhasznált minden teljesít-

tartamára a feszültségterület:

$$\int_0^{\alpha_g} u \, dt = 2\Psi_t. \quad (32)$$

Összefoglalva tehát:

amíg $0 < \omega t < \alpha_g$,

addig $u_a = 0$, $u_z = u = \frac{d\Psi}{dt}$, $i = 0$; (33)

amíg $\alpha_g < \omega t < \pi$,

addig $u_a = u$, $u_z = 0$, $i = \frac{u}{R_a}$.

Számítsuk ki ismét a korábbiakhoz hasonlóan az egyes elemek sarkain fellépő feszültségek középértékeit.

Eddig ωt szerint integrálhattunk, mert a jelenségek frekvenciafüggetlenek.

A telítés jelensége minden alkalommal fellép, valahányszor a feszültség

mény az R_a fogyasztón jelentkeznek, $N_z=0$, $N_\delta=N_a$. Számítsuk ki ennek a teljesítménynek a nagyságát.

$$N_a = \frac{\omega}{\pi} \int_{\alpha_g/\omega}^{\pi/\omega} \frac{u^2}{R_a} dt = \frac{\omega U^2}{R_a \pi} \int_{\alpha_g/\omega}^{\pi/\omega} \sin^2 \omega t dt, \quad (37)$$

$$N_a = \frac{U^2}{2R_a} \frac{\beta_g}{\pi} - \frac{U^2}{2R_a \pi} \sin \alpha_g \cos \alpha_g. \quad (38)$$

$$\cos \alpha_g = \frac{U - 2\omega\Psi_t}{U} = \frac{\pi}{2} \frac{U_{ak} - U_{zk}}{U}, \quad (39)$$

$$\sin \alpha_g = \frac{2\sqrt{\omega\Psi_t(U - \omega\Psi_t)}}{U} = \frac{\pi}{2} \frac{2\sqrt{U_{ak} - U_{zk}}}{U}. \quad (40)$$

$\cos \alpha_g$ és $\sin \alpha_g$ értékét (38)-ba helyettesítve

$$N_a = \frac{U^2}{2R_a} \frac{\beta_g}{\pi} - \frac{1}{R_a \pi} (U - 2\omega\Psi_t) \sqrt{\omega\Psi_t(U - \omega\Psi_t)}, \quad (41)$$

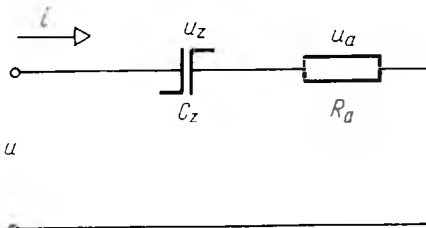
vagy

$$N_a = \frac{U^2}{2R_a} \frac{\beta_g}{\pi} - \frac{\pi}{4R_a} (U_{ak} - U_{zk}) \sqrt{U_{ak} U_{zk}}. \quad (42)$$

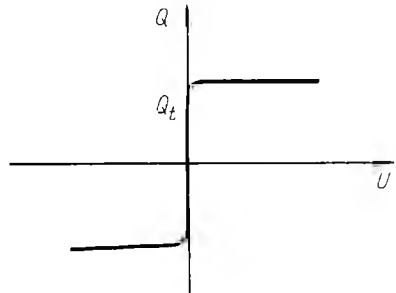
6. Z-kondenzátor

Teljesség kedvéért megvizsgáljuk a Z-jelleggörbájú kondenzátor viselkedését is, bár a közönségesen használt eszközök között ma ilyen nem találunk. Nemlineáris kondenzátorok azonban ma is vannak, egyes félvezető elemek zárórétegei záróirányban változó kapacitású kondenzátorként viselkednek és az ezekből képezett antiparallel pár megközelíti a Z-kondenzátort. Ugyancsak nemlineáris kondenzátorokat eredményeznek a ferroelektromos dielektrikumok, de ezek jelentős hiszterézist mutatnak.

Vizsgálatainkat a 3-14. ábrának megfelelő ideális Z-kondenzátoron végezzük el. Ez az elem csak egy meghatározott Q_t töltésmennyiséget tud felhalmozni.



a)



b)

3-14. ábra

Amíg a Q_t telítési töltés föl nem halmozódott a kondenzátorban, az zárt kapcsolóként viselkedik és akadálytalanul át bocsátja az áramot, amelynek nagyságát az u feszültség és az R_a terhelő ellenállás szabja meg. A telítés bekövetkeztével a kondenzátor megszakítja az áramkört, nyitott kapcsolóként viselkedik.

Tehát

$$\begin{aligned} \text{amíg } 0 < \omega t < \alpha_g, \text{ addig } u_a = u, \quad u_z = 0, \quad i = u/R_a; \\ \text{amíg } \alpha_g < \omega t < \pi, \text{ addig } u_a = 0, \quad u_z = u, \quad i = 0. \end{aligned} \quad (43)$$

Az áram átfolyásának ideje alatt $i = \frac{dQ}{dt}$, a telítési töltésre felírható:

$$\int_0^{\alpha_g/\omega} i \, dt = 2Q_t. \quad (44)$$

Az áram értékét (44)-be behelyettesítve:

$$\frac{U}{R_a} \int_0^{\alpha_g/\omega} \sin \omega t \, dt = 2Q_t, \quad (45)$$

$$\frac{U}{R_a} (1 - \cos \alpha_g) = 2\omega Q_t. \quad (46)$$

Számítsuk ki az egyes elemeken fellépő feszültség-közéértékeket.

$$U_{ak} = \frac{\omega}{\pi} \int_0^{\alpha_g/\omega} u \, dt = \frac{\omega R_a}{\pi} \int_0^{\alpha_g/\omega} i \, dt, \quad (47)$$

$$U_{ak} = \frac{2}{\pi} R_a \omega Q_t, \quad (48)$$

$$U_{zk} = \frac{2}{\pi} (U - R_a \omega Q_t). \quad (49)$$

Amikor a kondenzátoron a feszültség megjelenik, az áram megszakad, így a kondenzátor teljesítményt nem vesz fel, a zérus feszültségen felhalmozott Q_t töltés nem képvisel energiát. Így $N_z = 0$, $N_o = N_a$. Számítsuk ki ezt a teljesítményt.

$$N_a = \frac{\omega}{\pi} \int_0^{\alpha_g/\omega} \frac{u^2}{R_a} \, dt, \quad (50)$$

$$N_a = \frac{u^2}{2R_a} \frac{\alpha_g}{\pi} - \frac{U^2}{2R_a \pi} \sin \alpha_g \cos \alpha_g. \quad (51)$$

$$\cos \alpha_g = \frac{U - 2R_a \omega Q_t}{U}, \quad (52)$$

$$\sin \alpha_g = \frac{2\sqrt{R_a \omega Q_t (U - R_a \omega Q_t)}}{U}. \quad (53)$$

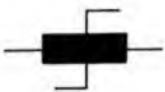

cos α_g és sin α_g értékét (51)-be helyettesítve

$$N_a = \frac{U^2}{2R_a} \frac{\alpha_g}{\pi} - \frac{1}{R_a \pi} (U - 2R_a \omega Q_t) \sqrt{R_a \omega Q_t (U - R_a \omega Q_t)}, \quad (54)$$

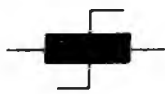

vagy a középfeszültségek felhasználásával

$$N_a = \frac{U^2}{2R_a} \frac{\alpha_g}{\pi} + \frac{\pi}{4R_a} (U_{ak} - U_{zk}) \sqrt{U_{ak} U_{zk}}. \quad (55)$$

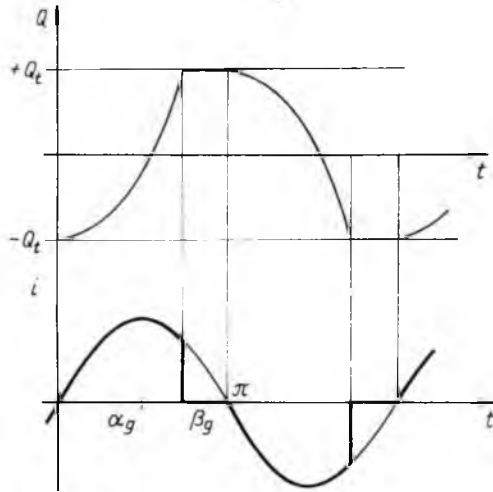
Foglaljuk össze táblázatban a Z-reaktanciákra kapott eredményeket:

		
U_{ak}	$\frac{2}{\pi} (U - \omega \Psi_t)$	$\frac{2}{\pi} R_a \omega Q_t$
U_{zk}	$\frac{2}{\pi} \omega \Psi_t$	$\frac{2}{\pi} (U - R_a \omega Q_t)$
N_a	$\frac{U^2}{2R_a} \frac{\beta_g}{\pi} - \frac{\pi}{4R_a} (U_{ak} - U_{zk}) \sqrt{U_{ak} U_{zk}}$	$\frac{U^2}{2R_a} \frac{\alpha_g}{\pi} + \frac{\pi}{4R_a} (U_{ak} - U_{zk}) \sqrt{U_{ak} U_{zk}}$
N_z	0	0
N_δ	N_a	N_a

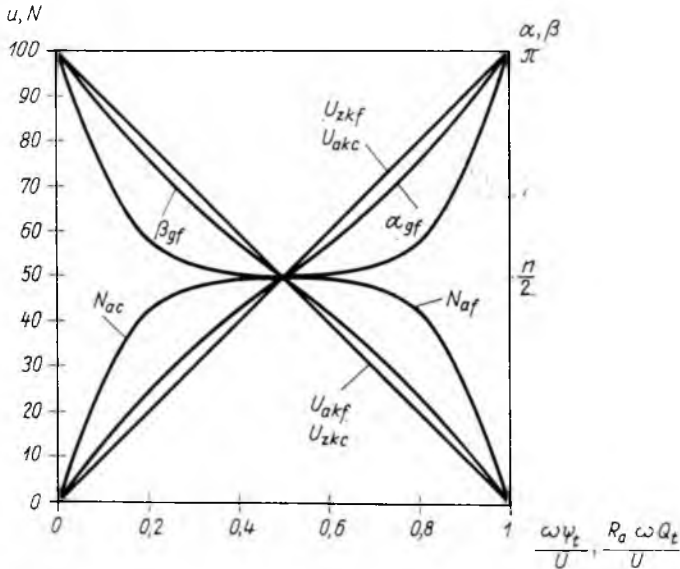
Ugyanezek az értékek, ha $2\Psi_t > \int_0^{\pi/\omega} u dt$, ill. $2Q_t > \int_0^{\pi/\omega} i dt$ és $\beta_g = 0$. Ilyenkor a fojtó végig nyitott, a kondenzátor végig zárt kapcsolóként viselkedik.

		
U_{ak}	0	$\frac{2}{\pi} U$
U_{zk}	$\frac{2}{\pi} U$	0
N_a	0	$\frac{U^2}{2R_a}$
N_z	0	0
N_δ	0	$\frac{U^2}{2R_a}$

A 3-16. ábra bemutatja mind a fojtó, mind a kondenzátor esetében U_a , U_z , α_g , β_g és N_a alakulását. A két Z-reaktancia egymásnak duálja. A fojtó mindaddig, amíg a telítést el nem éri, megszakítja az áramkört, utána zár, a kondenzátor fordítva: a telítés eléréseig átbocsátja az áramot, utána nyitott kapcsolóként viselkedik, megszakítja az áramkört.



3-15. ábra



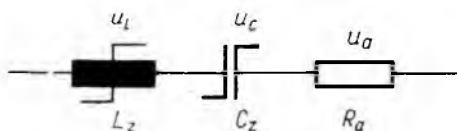
3-16. ábra

7. Rezonancia

Bár az eddigiekből már eléggé megismertük a Z-elemek rendhagyó viselkedését, a rezonancia vizsgálatánál is megkíséreljük, hogy a hagyományos meghatározásokból induljunk ki és az ismert jelenségekhez kapcsoljuk az újakat.

Lineáris reaktív elemekkel felépített áramkör rezonáns állapotára jellemző az áram vagy feszültség szélső értéke — maximum vagy minimum —, és a fáziseltolódás megszűnése. A rezonancia két jellegzetes esete a soros és a párhuzamos rezonancia, előbbi a nyitó, utóbbi a záró rezonáns kapcsolás.

Zárókapcsolás egyetlen Z-fojtóval megvalósítható abban az



3-17. ábra

$$\omega \cong \frac{U}{\Psi_1} \quad (56)$$

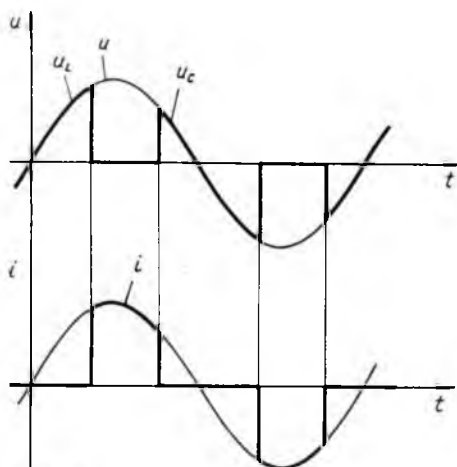
frekvenciatartományban, amelyben a fojtó az egész feszültségterületet magára veszi, amikor is $U_{ak} = 0$. Ez tehát nem egy meghatározott frekvenciánál, hanem egy frekvenciatartományban következik be.

Ugyanígy megvalósítható a nyitókapcsolás egyetlen Z-kondenzátorral az

$$\omega \cong \frac{U}{R_a Q_t} \quad (57)$$

frekvenciatartományban.

Z-reaktanciákat a 3-17. ábra szerint sorbakapcsolva a periódus első részében L_z veszi magára a feszültséget. Ezt követően az áram szabadon folyik mindaddig, amíg a kondenzátor fel nem töltődik, attól kezdve ismét zár (3-18. ábra).



3-18. ábra

Ezzel a kapcsolással megvalósítható az alapharmonikus fáziskülönbségének a megszüntetése, ha az áramvezető szakaszt szimmetrikusan középre helyezzük. Ekkor

$$\frac{2}{\pi} \omega \Psi_1 = \frac{2}{\pi} (U - R_a \omega Q_t - \omega \Psi_1), \quad (58)$$

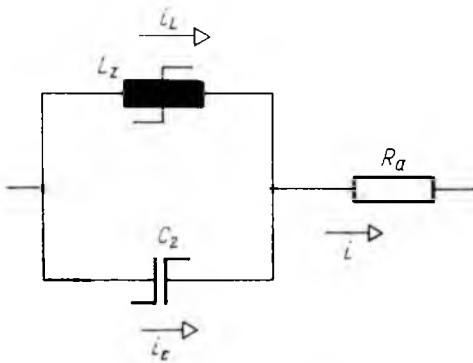
amiből

$$\omega = \frac{U}{2\Psi_1 + R_a Q_t} \quad (59)$$

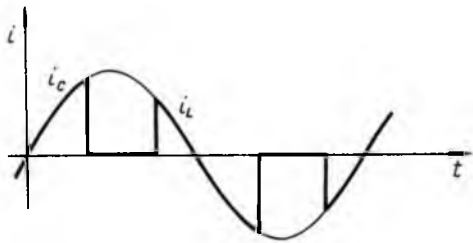
Ez az állapot szélsőértékkel általában nem jár együtt. Szélsőértékhez akkor jutunk, ha az áramvezetési szakasz szélességét zérusig csökkentjük. Ez akkor következik be, ha $Q_t = 0$, vagyis a kondenzátor már nem is kondenzátor, hanem egyszerűen az áramkör megszakítása. Más szóval ez annyit jelent, hogy soros kapcsolású Z-reaktanciákkal az (59) feltétel betartása mellett áram és feszültség alapharmonikusai

fázisba hozhatók — ezt nevezhetjük rezonanciának —, de a zárást jelentő szélsőérték nem valósítható meg.

Z-reaktanciákat párhuzamosan kapcsolva a félperiódus elején a kondenzátoron folyik áram, a végén a fojtón (3-19. és 3-20. ábra). A szimmetria feltétele a



3-19. ábra



3-20. ábra

illeszkedő Q_1 és Ψ_1 értékekkel dolgozunk. Míg C és Q_1 arányosan kapcsolódnak, L és Ψ_1 reciprok módon függenek egymástól és így $\omega \Psi_1$ és Q_1 mellett egyaránt szorzóként jelenik meg.

$$\frac{2}{\pi} \omega \Psi_1 = \frac{2}{\pi} (U - R_a \omega Q_1) \quad (60)$$

egyenlőség, amiből

$$\omega = \frac{U}{\Psi_1 + R_a Q_1} \quad (61)$$

Itt kaphatunk szélsőértéket akkor, ha az áramvezetés folytonos: mire a kondenzátor feltöltődik, a fojtó éppen elkezdi vezetni. Ennek feltétele, hogy

$$\frac{2}{\pi} (U - \omega \Psi_1) + \frac{2}{\pi} R_a \omega Q_1 = \frac{2}{\pi} U, \quad (62)$$

amiből

$$R_a Q_1 = \Psi_1. \quad (63)$$

Ilyenkor R_a észre sem veszi, hogy van valami előtte, teljes áteresztő kapcsolást nyerünk. A (63) feltételegyenlet a megszkott rezonanciafeltételektől eltérően ω -tól független kikötés. Ennek formálisan az az oka, hogy a hagyományosan felhasznált paraméterektől eltérően C és L helyett mi a fizikai szemlélethez jobban

Irodalom

- [1] Philippow, E.: Nichtlineare Elektrotechnik. Leipzig, 1963. Akad. Verlagsges. Geest Sz Portig K.—G.
- [2] Gádor L.: Nemlineáris hidak terhelhetősége. Elektrotechnika, 49. (1956) 320—331. old.

4.

Elektrolíziseket tápláló egyenirányító berendezések

DR. GANSZKY KÁROLY—MARTI SÁNDOR

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elektrolízisek a nagy energiafogyasztók közé tartoznak. Áramellátásuk biztosításához az átalakító berendezések teljesítményét a hatásfok és a beruházási mutatók javítása céljából célszerű növelni, aminek viszont az egyenirányító készülékek vonalán különböző tényezők, pl. az egyes elemek tulajdonságai, a hűtésből, szerelésből adódó rendellenességek stb. határt szabnak.

A cikk az egyenirányító készülék típusjelzésének növelésével kapcsolatos határproblémákat foglalja össze az egyenirányító technika mai nemzetközi állásának tükrében. Ezen túlmenően foglalkozik az elektrolízis egyenirányítókhöz tartozó egyes kérdésekkel, pl. a feszültségváltoztatással és áramszabályozással, továbbá konstrukciós irányzatokkal is.

ВЫПРЯМИТЕЛИ, ПИТАЮЩИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЫ

Д-р. К. Гански—Ш. Марти

Резюме

Электролизеры входят в группу крупных энергопотребителей. Для питания их током, в целях улучшения коэффициента полезного действия и эффективности капиталовложений, целесообразно повысить мощность преобразователей, что, однако, ограничивается различными факторами по линии выпрямителей, как, например, свойствами отдельных элементов, ненормальностями охлаждения и т. д.

Статья обобщает связанные с повышением типовой мощности выпрямителей проблемы, в соответствии с существующим международным положением выпрямительной техники. Кроме того, рассматриваются отдельные вопросы по выпрямителям, питающим электролизеры, как, например, вопросы изменения напряжения и регулирования тока, а также различные конструкционные решения.

GLEICHRICHTERANLAGEN ZUR SPEISUNG VON ELEKTROLYSEN

Dr. K. Ganszky — S. Marti

Zusammenfassung

Die Elektrolysen gehören zu den grossen Energieverbrauchern. Zur Sicherung ihrer Stromversorgung ist es zweckmässig die Leistung der Umformeranlagen zwecks Verbesserung des Wirkungsgrades und der Investitionskennzahlen zu erhöhen, wobei jedoch diesem Bestreben durch verschiedene Faktoren an der Linie der Gleichrichteranlagen, wie z. B. die Eigenschaften der einzelnen Elemente, die Kühlung, die montagebedingten Unregelmässigkeiten usw. Grenzen gesetzt werden.

Die Arbeit fasst die mit der Erhöhung der Typenleistung von Gleichrichteranlagen verbundenen Grenzprobleme im Spiegel des derzeitigen internationalen Standes der Gleichrichtertechnik zusammen. Darüber hinaus beschäftigt sie sich auch mit einzelnen im Zusammenhang mit Gleichrichteranlagen für Elektrolysen auftretenden Fragen, wie z. B. der Spannungsänderung, der Stromregelung sowie auch mit den einzelnen Entwurfstendenzen.

RECTIFIER EQUIPMENTS FEEDING ELECTROLYTIC PROCESSES

Dr. K. Ganszky — S. Marti

Summary

Electrolytic processes are heavy consumers of power. To provide the current supply for such processes, it is advisable to increase the output power of the feeding converters in order to improve the efficiency and the investment indices. This tendency is, however, limited by different factors connected with rectifier devices, e. g. the properties of the different elements, cooling and irregularities due to the assembly work, etc.

This paper sums up the boundary problems connected with the increase of the type power of rectifier devices, based on the present level of rectifier techniques. Moreover, the authors also deal with certain questions related to rectifiers applied in electrolysis, plants e. g. the problems of voltage variation and current regulation and finally with the trends in the design.

1. Bevezetés

Az elektrokémiai üzemek, különösen az alumínium, cink, klór és hidrogén előállítására szolgáló elektrolizáló berendezések a villamos energia kimondottan nagy felhasználói közé tartoznak. Ezek az eljárások egyenáram felhasználásán alapulnak és a vegyipari berendezések jellegéből kifolyólag 50...800 V feszültséget és 3...200 kA áramerősséget igényelnek.

A teljesítményadatokból azonnal látható, hogy a hatásfok döntő szerepet játszik. Ennek fontosságát tovább növeli az is, hogy az elektrokémiai eljárások során állandó üzemben, állandó teljesítménnyel dolgoznak, ezért az energiában szegényebb országokban, mint Magyarországon is, ahol a villamos energia ára magas, néhány százalék hatásfokjavulás mellett az egyenáramot előállító berendezés néhány év alatt amortizálódik.

A berendezésektől megkívánják, hogy az egyenáramú villamos energiát megfelelő minőségben szállítsák. Ez azt jelenti, hogy gyors működésű, nagypontosságú automatikus áramszabályozóra van szükség, amely az üzem követelményeinek megfelelően beállított áramerősséget $\pm 1\%$ pontossággal a fogyasztó és az energia-betáplálás változásaitól függetlenül állandó értéken tartja.

A tűzfolyós elektrolíziseknél (pl. alumínium) az áram állandósága feltétlenül szükséges ahhoz, hogy az elektrolizáló kádak termikus egyensúlyát és optimális hatásfokát biztosítani lehessen. Nagyjelentőségű mind a nedves (pl. klór), mind a tűzfolyós elektrolíziseknél az áramerősség állandósága gazdasági szempontból. A maximális áramerősséget az eljáráshoz alkalmazott kádak, vagy cellák felépítése korlátozza és maximális termelést csak a határadatok kihasználásával lehet elérni. Ha az áram nem állandó, a közepes értékét az ingadozás mértékének megfelelően alacsonyabbra kell beállítani, tehát a termelés csökkenni fog. Mivel a termékek értéke magas, néhány százalék termeléskiesés jelentős veszteséget okoz.

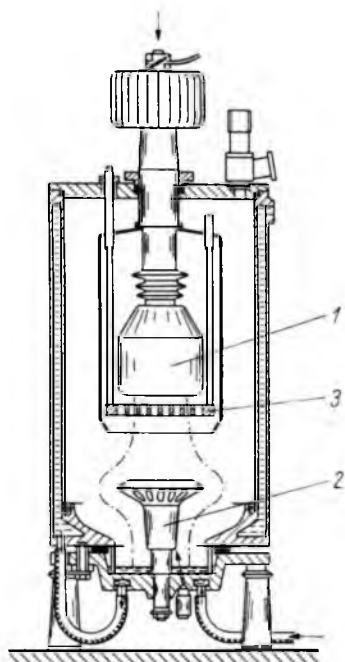
A felhasználók, de elsősorban az energiaelosztó rendszerek megkívánják, hogy a berendezés teljesítménytényezője közel 1 legyen, továbbá a váltakozóáramú hálózatban minél kevesebb felharmonikus áramot hozzon létre. Mindkét feltétel kielégítésére nagy ütemszámú (12...36 ütemű) kapcsolást és az áramszabályozáshoz lehetőleg a transzformátor üzem közbeni fokozatátkapcsolását kell alkalmazni.

Igen nagyok a berendezés üzembiztonságával szemben támasztott követelmények. Míg nedves elektrolízisnél az áramerősség csökkenése csak termeléskiesést

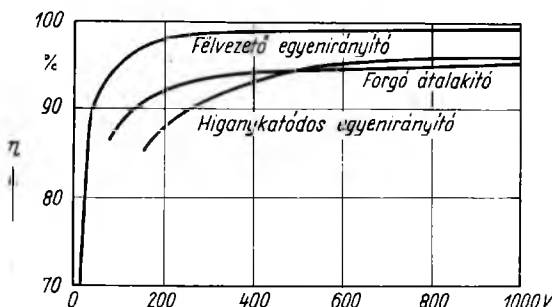
jelent, tüzfolyós elektrolíziseknél néhány órás teljesítménycsökkenés a kádak termikus egyensúlyát megbontja, ami a termelés gazdaságossági mutatóit hosszú hetekre lerontja; 5 órás energiakiésés a kádak teljes befagyásához vezet. Az ezzel járó költségek az egyenirányító berendezés értékével összemérhetők [1]. Az üzembiztonság fokozására megfelelő tartalékok beépítése szükséges.

Az elektrolízist tápláló egyenirányító berendezések fejlődése napjainkig több lépcsőn ment keresztül [2]. Az egyenáramú gép közvetlenül vízturbinával kapcsolva — a teljes energiaátalakítási folyamatot tekintve — rendkívül jó hatásfokával tűnik ki, szabályozási tulajdonságai is jók.

Ott, ahol a villamos energiát nem lehet az előállítás helyén felhasználni, a többszöri energiaátalakítás veszteségei következtében a motor-generátor gépcsoportok, az egyarmaturás átalakítók hatásfoka ma már alatta marad a korszerűbb átalakítóknak.



4-1. ábra. Egyanódos excitron metszete
1 anód; 2 gerjesztőanód; 3 rác



4-2. ábra

Az elsősorban a Brown-Boveri által propagált higanykatódos egyenirányítók a forgógépeket erről a területről teljesen kiszorították. A higanykatódos egyenirányítóknál elmarad a szénkefék és a kommutátorok állandó kezelése, amely jól képzett személyzetet és nagy üzemi költséget jelent. Egyszerűsödik az üzemvitel is a súlyos kihatású kommutátorkörtűz lehetőségének kizárása következtében. Bár a hűtés és a vákuum tartása állandó felügyeletet igényel, maga az egyenirányító mozgó alkatrész nélkül, zajtalanul működik. A rácsvezérlés lehetősége részben megoldja a szabályozást is. A záróképesség időszakos elvesztése, amely visszagyújtáshoz vezet, bár kellemetlen, de megfelelő katódgyorskapcsolókkal veszélytelenül tehető. A 4-1. ábrán egy egyanódos, szivattyús egyenirányító metszete látható. Az anód (1) középponti elhelyezése hatásos hűtést biztosít, a gombaformájú gerjesztő anód (2), amely a katód felületét állandóan égő ívvel fenntartja, biztos üzem eredményez (excitron-elv). Az Allis Chalmers (USA) cég által egyanódos egységekből felépített berendezést, amely öt, egyenként 120 kA 500...900 V teljesítményű egységből áll (Kitimat, Kanada) már nem haladták túl, 1960-ban lejárt a higanykatódos egyenirányítók időszaka. Előnyös tulajdonságait túlszárnyalták a félvezető egyenirányítók, amelyek rövid idő alatt teljes mértékben átalakították az egyenirányítás technikáját. A 4-2. ábra az üzemi feszültség függvényében ábrázolja a forgógép, a higanykatódos és félvezető egyenirányító átalakítási

hatásfokát. Látható, hogy éppen az elektrolízisek feszültségtartományban a félvezető egyenirányító jelentősen felette áll versenytársainak.

A következőkben a szilícium-egyenirányítóberendezések fejlődését tekintjük át külföldi közlemények, gyári ajánlatok és referencialisták alapján. Vizsgálat alá vesszük a félvezető elemekből felépített egyenirányító egységek és berendezések kialakításának kérdéseit. Ismeretes, hogy egy villamos berendezés hatásfoka a típusjelzőmenny növelésével javul, ezért elsősorban ennek a határfeltételeit fogjuk elemezni.

2. Félvezető teljesítménydiódák fejlődése

A félvezető technika első lépését a tranzisztoreffektus felfedezése jelentette. A tranzisztor alapjának, a p-n átmenetnek előbb húzással, majd diffúzióval vagy ötvözéssel történő gazdaságos előállítására rövidesen lehetővé tette erősáramú célokra alkalmas teljesítménydiódák gyártását is. A germániumdiódák az erősáramú technikában alacsony határhőmérsékletük és kis zárófeszültségük miatt jelentős mértékben nem terjedtek el. Az ötvözési technikával előállított szilícium teljesítménydiódák kifejlesztésében a Siemens és a Westinghouse cégek jártak az élen. A jelenleg gyártott diódák nagy része egyszerű, ötvözött p-n átmenettel rendelkezik, de jelentős részben alkalmaznak ötvözött p-s-n struktúrát és diffúziós eljárást is.

A jelenleg világszerte nagy mennyiségben gyártott szilícium teljesítménydiódák tartós határárama, amely a diódák egyfázisú egyutas kapcsolatban, ellenállásterheléssel megadott határárama — néhány el nem terjedt „rekord” elemet nem számítva —, 100 °C bázistönk-hőmérsékletnél 200...250 A. A gyakorlati felhasználásnál figyelembe kell venni azt is, hogy az egyenirányító réteg megengedett legnagyobb hőmérsékletét még a túlterhelések és zárlatok során fellépő áramtranziensek hatására sem szabad túllépni, tehát az üzem során „hőfoktartalékot” kell e célból biztosítani. Ennek következménye, hogy a diódákat állandósult üzemben a határáramnál kisebb árammal üzemeltetik, amennyiben a 100 °C bázistönk-hőmérséklet is fennáll.

A diódák fejlesztésével kapcsolatos tevékenységek az elmúlt időszakban főként három irányban folytak. Mivel az erősáramú áramirányító berendezésekben folyó áramok egy dióda áramát lényegesen meghaladják, tehát a diódák párhuzamos kapcsolása szükségesszerű, biztosítani kellett, hogy ezek lényegtelen áramosztási hibával tudjanak párhuzamosan működni. A kérdés megoldása a diódák nyitóirányú jelleggörbéjének egyöntetűségében rejlik, és ezt a homogén paraméterű félvezető alapanyagok felhasználása biztosította is. A fejlesztési munka további célja a diódák zárófeszültségének minél nagyobb értékre való növelése volt, hogy ezáltal az üzemi zárófeszültség és a különböző feszültséglökések elviselésére minél kevesebb diódát kelljen sorbakapcsolni. E tevékenység hatására — igaz ugyan, hogy ma még csak válogatással — 2000 V körüli maximális csúszárófeszültségű elemek is rendelkezésre állnak. A harmadik, és a felhasználás szempontjából igen lényeges tevékenység eredményeképpen a diódák belső hőellenállását a mechanikai felépítés javításával sikerült csökkenteni, aminek következményeképpen a diódák terhelhetősége az ütés- és rázásállóság fokozása mellett is nőtt.

3. Egyenirányító készülék hűtése

A gyakorlatban a diódát nem lehet 100 °C bázistönk-hőmérsékletnél a határáramig igénybevenni, mert az egyenirányító készülékek üzemében a felhasználási helytől függően mindig felléphetnek kisebb-nagyobb terhelési lökések, esetleg zárlatok.

A diódában fejlődő veszteségi hő úgy kell elvezetni, hogy a p-n réteg üzemi hőmérséklete az üzemi feltételekből megszabott értéket ne lépesse túl:

$$R_{thi} + R_{thk} < \frac{T_{jmax} - T_k}{P_N} \quad ^\circ\text{C/W},$$

ahol R_{thi} ; a dióda belső hőellenállása ($0,15 \dots 0,25 \text{ } ^\circ\text{C/W}$); R_{thk} a környezet és a bázistönk közötti hőellenállás; T_{jmax} a legnagyobb megengedett réteghőmérséklet; T_k a környezeti hőmérséklet és P_N a dióda nyitóirányú vesztesége.

Annak érdekében, hogy az állandósult állapotra felírt fenti összefüggést átmeneti állapotban is alkalmazni lehessen, bevezették a tranziens hőellenállás fogalmát. A hőkapacitások következtében ugyanis rövid idejű veszteségnövekedésnél a hőmérséklet csak időkésséssel nő, azaz a „bekapcsolási” időre vonatkoztatott „hőellenállás” csökken.

A t időre vonatkozó tranziens hőellenállás egyetlen homogén testnél

$$R_{th}(t) = R_{th} \left[1 - \exp \left(- \frac{t}{R_{th} C_{th}} \right) \right]$$

összefüggéssel adható meg, ahol R_{th} az állandósult hőellenállás; C_{th} a hűtőközeg, vagy hűtőtest hőkapacitása. Az $R_{th} C_{th}$ szorzatból adódó termikus időállandó azonban a dióda — hűtőrendszer egyes részeiben erősen eltérő, mert a dióda több rétegből van összetéve. A valóságban az R_{thi} belső hőellenállás $0,2 \dots 0,5$ s után állandónak tekinthető, a külső hőellenállás már erősen függ a hűtés megoldási módjától.

A hűtés természetes levegőhűtéssel, mesterséges levegőhűtéssel, folyadékűtéssel, vagy egyéb speciális módon történhet. A következőkben az egyes hűtési módok rövid áttekintését adjuk.

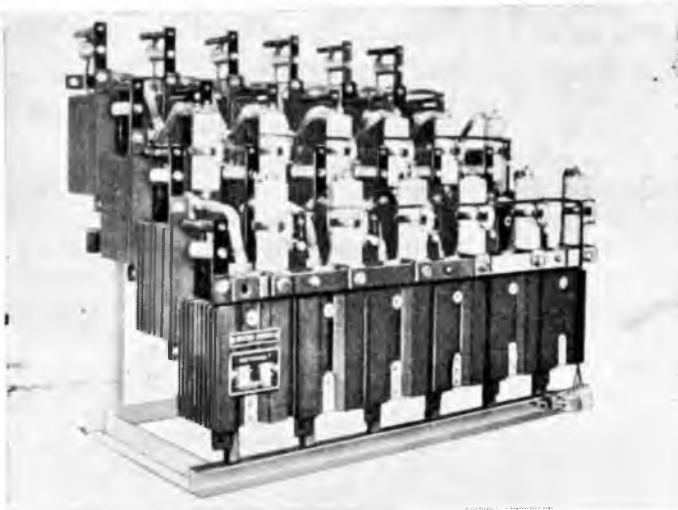
Természetes levegőhűtés. Kétségtől legegyszerűbb és legkézenfekvőbb megoldás, hogy az egyes diódákat nagyméretű, több bordával ellátott hűtőtestre szereljük fel, amely azután a diódában keletkező veszteséget sugárzás és konvekció útján a környezetnek átadja. Ahhoz azonban, hogy a diódák jó kihasználását biztosító $0,15 \dots 0,25 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ hőellenállást el lehessen érni, igen nagy helyfoglalású radiátorok adódnak, amelyeket emellett úgy kell elhelyezni, hogy egy nagy berendezésben az összes radiátor egymástól függetlenül egyenletes hűtést kapjon. Ez az elrendezés (Brown-Boveri) ott alkalmazható, ahol a környezeti hőmérséklet nem túl nagy ($35 \dots 40 \text{ } ^\circ\text{C}$), a levegő tiszta és az elhelyezésre bőségesen van szabad tér. (Pl. leszerelt higanykatódos egyenirányítók helyén.) A 4-3. ábra példaképpen egy ilyen megoldást mutat. A rendszer előnye az egyszerűségből következő nagy üzembiztonság és az üzemmódból meghatározott állandó áramhoz viszonyított nagy túlterhelhetőség, amely egyrészt a diódák viszonylag kisebb kihasználásából, másrészt a hűtőrendszer nagy időállandójából adódik (nagy tömeg, nagy hőidőállandó).

Mesterséges levegőhűtés. A hűtőlevegő mesterséges mozgatásával a hűtőtest és a környezet közötti hőellenállás tört részére csökkenthető, ezért kényszerűsrellőzésnél az előzőekhez viszonyítva jóval kisebb méretűek a radiátorok.

Ennél is jelentősebb előny konstrukciós szempontból, hogy a hűtendő diódákat kisebb méretű szekrényben szorosan egymás mellett is el lehet helyezni, ami főleg az elektrolíziseket tápláló nagyáramú egyenirányítók esetében fontos.

A szekrény kialakítását a továbbiakban az szabja meg, hogy elfogadható hűtőtelteljesítménnyel biztosítani kell minden dióda számára közel azonos mennyiségű és hőmérsékletű hűtőlevegőt, mert az egyenirányító terhelhetőségét a legmelegebb dióda szabja meg. Ha a hűtőlevegő mennyisége elegendően nagy és a levegőjáratok úgy van-

nak kialakítva, hogy a melegebb levegőt (alulról felfelé áramlásnál) a felső diódákhoz mellékvegő-belépéssel nagyobb mennyiségben juttatják, a közelítően egyenletes bázistönk-hőmérséklet biztosítható.



4-3. ábra. Természetes léghűtésű egyenirányító készülék részlete. A hűtőradiátorok lépcsős elrendezése mindegyikük számára egyenletes hűtést biztosít (BBC)

Mesterséges levegőhűtésnél radiátorként $40 \dots 100 \text{ dm}^3/\text{s}$ levegőmennyiséget szokásos átfűjni. Ha a levegőáramlás irányára merőlegesen 12 radiátor van egy szinten (hat egyenirányító ágban áganként két dióda), a levegőszükséglet $70 \text{ dm}^3/\text{s}$ közepes értékkel számolva:

$$V = 12 \cdot 0,070 = 0,84 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Az egy szinten lévő 12 db dióda összes vesztesége 200 A-es diódatérhelésnél, háromfázisú hídkapcsolásban:

$$P_N \approx 12 \cdot 230 = 2760 \text{ W},$$

és mivel a levegő fajhője $40 \text{ }^\circ\text{C}$ -nál ($1,13 \text{ kg}/\text{m}^3$)

$$c_p = 10 \cdot 10^3 \text{ Ws}/\text{kp } ^\circ\text{C-nál} = 1,13 \text{ kW}/\text{m}^3,$$

az átáramló levegő szintenkénti melegedése

$$dT = \frac{P_N}{V c_p} = 2,9 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Ha a belépő levegő hőmérséklete $35 \text{ }^\circ\text{C}$, egymás felett elhelyezett 10 párhuzamos diódánál a legfelső szint már $35 + 29 = 64 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletű levegőt kapna, az alsó és felső szint hűtővegő hőmérsékletének $29 \text{ }^\circ\text{C}$ különbsége miatt a diódák névleges áramát 80%-kal kellene csökkenteni. A vázoltakból is le lehet már azt a következtetést vonni, hogy a levegőmennyiséget ésszerű határok között tartva (szellőzési teljesítmény, zaj stb.) az egy szekrényben elhelyezhető diódák száma mesterséges hűtésnél korlátozott. Áganként 20 párhuzamos diódát tartalmazó szekrény 200 A dióda-

árammal számolva (figyelembe véve a hőmérsékleteloszlás miatti 80%-os és a párhuzamos kapcsolás miatti további 80%-os redukáló tényezőt) hídkapcsolásban

$$I_d = 0,8 \cdot 0,8 \cdot 3 \cdot 20 \cdot 200 = 7,7 \text{ kA}$$

árammal terhelhető, 1200 V határfeszültségű diódák esetén $U_d = 500 \text{ V}$ egyenfeszültséggel számolva az egyenirányított teljesítmény:

$$P_d = U_d I_d = 3800 \text{ kW.}$$

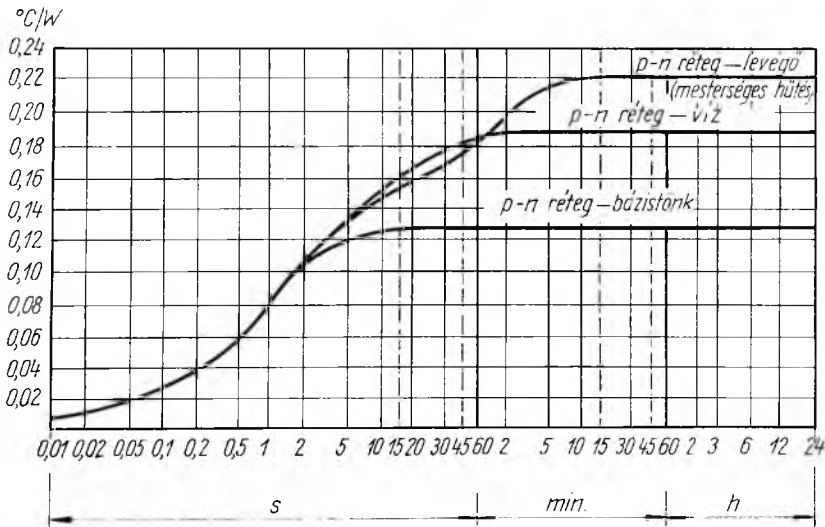
A szekrény alapterülete 2...2,5 m², tehát (az irodalmi adatokkal egyezésben) a mesterséges levegőhűtésű egyenirányító helyfoglalása

$$A = 0,5 \dots 0,65 \text{ m}^2/\text{MW.}$$

Folyadékűtés. A helyigény folyadékűtés alkalmazásával tovább csökkenthető. Hűtőközegként vizet, olajat vagy kénhexafluoridot lehet alkalmazni. Mivel a víz fajhője (4,2 kWs/kp °C) jelentősen nagyobb, mint az olajé (1,9 kWs/kp °C), azonkívül nem gyúlékony, nagyobb a hőátadó- és hővezetőképessége és kisebbek a belső sűrűlási veszteségei, a vízűtést az olajűtéssel szemben előnyben részesítik. A víz szigetelőképessége gondos kezeléssel megfelelő értéken tartható és az elektrolízisek feszültségtartományában a kérdés műszakilag megoldott. A kénhexafluoridnak (SF₆) előnye csak az olajjal szemben van, ezért alkalmazására kevés példát lehet találni [3].

A vízűtés alkalmazása a hűtés hatékonyságának végső soron további növelését eredményezi. Mint az előzőekből látható volt, aktívabb hűtésnél a hűtőrendszer időállandója csökken ugyan, megnő azonban az egyenirányító állandó áramú terhelhetősége. A viszonylagos túlterhelhetőség csökkenése miatt a kihasználás felső határát a túlterhelési és zárlati viszonyok alapján lehet meghatározni.

A 4-4. ábrán összehasonlítás céljára a mesterséges levegőhűtésű és vízűtésű diódák tranziens hőellenállása van feltüntetve, továbbá a p-n réteg és a bázistönk közötti tranziens hőellenállás.



4-4. ábra

Bár a túlterhelhetőség biztosítása korlátozza a vízhűtéssel elérendő bázistönk és a víz közötti hőellenállást, még így is jelentősen kisebb méretekben lehet a mesterséges levegőhűtésű berendezéssel azonos teljesítményű egyirányítót építeni.

A vízhűtésű rendszer segédüzeme viszonylag bonyolult. A hűtővizet általában az áramvezető sínekben keringetik, tehát a teljes egyenfeszültség értékére kell az egyes vízkörökkel összekötött síneket szigetelni. A feladat csak úgy oldható meg, ha a hűtőrendszer két részre van osztva: a belső, a síneket átfogó kört különleges műanyag csövekkel és műanyag szivattyúval kell ellátni és a víz szigetelőképességét állandóan ellenőrizni kell. Korábban a készülékben beépített ioncserélős víztisztítóval kezelték a vizet, újabban — különösen több berendezés párhuzamos üzemeltetésénél — központi víztisztító berendezésből töltik fel az egyes egyenirányítók belső hűtőrendszerét.

A belső hűtőrendszer keringetett hűtővizet vagy víz—víz visszahűtővel, vagy víz—levegő visszahűtővel hűtik [1]. A hűtőteljesítmény a higanykatódos egyenirányítók korábban megszokott hűtővíz-szükségletéhez képest igen kicsi.

Ismert ajánlat szerint [4] egy 18 kA, 500 V-os berendezés nyersvíz-szükséglete (20 °C-os víz) 6 m³/h, ami 60 °C közepes sínhőmérsékletet biztosít. Ugyanitt 12 kA, 500 V esetén 4 m³/h a vízszükséglet. A belső vízkör előírása, hogy a víz vezetőképességének 10 μS/cm alatt kell maradni. Üzemi tapasztalatok szerint a víz cseréje legfeljebb 1...2 hónapoként szükséges. Ugyanez az előírás található 850 V-os berendezéshez is [5].

Előnyös a vízhűtés ott, ahol megfelelő pormentes és nem agresszív levegőt csak nagy nehézségek árán lehetne biztosítani, továbbá kicsi a rendelkezésre álló hely és zajmentes üzemlet igényelnek.

A nagy cégek már típuszekrényeket alakítottak ki vízhűtésű egyenirányítókból [6, 7], és az irodalomban megfelelő méretezési eljárások is találhatóak [8].

Tekintettel arra, hogy a hűtővíz fajhője nagy (4,2 kW/kp °C), az előző fejezetben példaként felvett 7,7 kA áramerősségű hídkapcsolású egyenirányító 2,76 kW veszteségi teljesítménye $V = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ (0,83 kp/s) hűtővízmennyiséggel

$$dT = \frac{P_N}{VC} = \frac{2,76}{0,83 \cdot 4,2} = 0,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

hőmérséklet-differenciával elszállítható. A hűtött sín egyenletes hőmérséklete tehát viszonylag kevés keringetett vízmennyiséggel biztosítható. Ebből a szempontból nincs akadálya annak, hogy egy ágban nagyszámú diódát kapcsoljunk párhuzamosan. Az egyes cégek kellemetlen gyártási tapasztalatai alapján kiderült azonban, hogy párhuzamos kapcsolásnál, ha a diódák száma nagy, a sínre szerelt diódák nem osztják el egymás között egyenletesen az áramot, mégpedig a szélsők több áramot vezetnek, mint a sín közepén lévők. Ez a diódák átlagos kihasználhatóságát annyira lerontja, hogy áganként 30...40 diódánál többet nem érdemes párhuzamosan kötni.

A 4-5. ábra szerinti elrendezésben az egyes diódák (I) árama

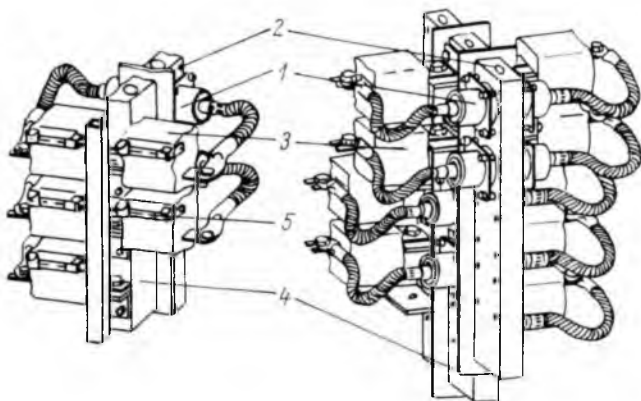
$$I_d = I_{ch} \sqrt{\frac{RS}{2}} \xi$$

alakú egyenletnek megfelelő láncgörbe szerint oszlik el a sín (2) hossza mentén. A képletben I áramállandó; R a diódákat és a biztosítókat tartó sín ellenállása; S a

párhuzamos diódák (1) dinamikus ellenállásából és a biztosítók (3) ellenállásából adódó eredő vezetőképesség a diódasín (2) és a biztosítósín (4) között:

$$S = \frac{n}{r_d + r_B},$$

ahol n a párhuzamos diódák száma; r_d a diódák dinamikus ellenállása (kb. 0,8 mΩ); r_B a biztosítók ellenállása (kb. 0,3 mΩ).



4-5. ábra. Vízhűtésű egyenirányító belső elrendezése (AEG)
1 dióda; 2 diódasín; 3 biztosító; 4 biztosítósín; 5 biztosító kiolvadásjelző

Ha a sín keresztmetszetét növeljük, akkor R csökken, tehát az argumentum kisebb lesz, a láncgörbe laposabb, és az árameltérés a szélső és középső diódák között csökken. Az említett 30...40 diódaszám felett azonban a szükséges sínkeresztmetszet olyan rohamosan nő, hogy ilyen formában nem érdemes a készüléket megépíteni.

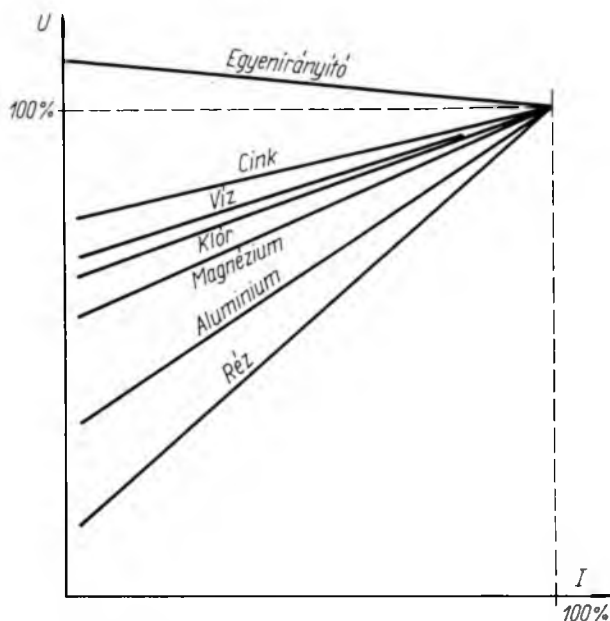
Hasonló árameloszlási, mégpedig dinamikus hibát okoz a dióda- és biztosítósín közötti kölcsönös induktivitás is. Ennek hatása különösen zárlatnál, nagy fedési szögknél jelentős, amikor a diódaáram időben nem állandó (négyzet alakú), mint ahogy azt névleges terhelés körül még fel lehet tételezni. Elkerülésére a két sít, amelyek közé a diódákat kötjük, a lehető leghosszabban kell szerelni, hogy a két sín közötti szórási csatorna kicsi legyen.

4. Egyenirányító transzformátorok, feszültségváltoztatás

Az elektrolizáló kádak jellegéből polarizációs belső feszültség és belső ellenállás összegével lehet helyettesíteni. A kettő aránya az elektrolízis jellegétől függően változik (4-6. ábra).

A kádak (cellák) bekapcsolása előtt a polarizációs feszültség nulla, kialakításához a kádakat (a névlegesnél kisebb árammal) „fel kell tölteni”, ellenkező esetben névleges körüli feszültség rákapcsolásakor igen nagy áramot vennének fel, ami a kádakat tönkretelheti. Motor-generátor gépcsoportnál a generátor fokozatos felgerjesztésével e folyamat könnyen megoldható, szilícium-egyenirányítók esetén azonban más utat kell keresni.

Közepes és kisteljesítményű hidrogénelektrolízisnél az a szokásos megoldás, hogy az egyenirányító minimális feszültségét csak a polarizációs feszültségig lehet csökkenteni (pl. mágneses erősítővel), és a bekapcsolás előtét-ellenálláson keresztül történik. A polarizálás után az előtét-ellenállást szakaszolóval rövidre zárják [9].



4-6. ábra

Nagyteljesítményű vagy nagy belső ellenállású elektrolíziseknél az egyenfeszültséget üzemszerűen kell 0...30%-tól 100% feszültségig változtatni. Ez gyakorlatilag csak a transzformátor fokozatokban történő átkapcsolásával oldható meg gazdaságosan.

A transzformátor feszültségének fokozatokban történő változtatásával az állandó áramú szabályozás is megoldható, ha a feszültségváltoztatás mértéke kellően finom. Építettek is ilyen berendezést [1] mozdonykapcsolóval, amely 0,3 s alatt kapcsol és napi 20000 kapcsolást tesz lehetővé. A fázisokat egyenként kapcsolva át — tehát a rendszerbe kismérvű aszimmetriát bevive — az egyenfeszültség-változás eleendően kismértékűvé tehető. Ez a megoldás igen egyszerű, tetszetős, kivitele azonban drága. Konvencionális, másodperces kapcsolási idejű fokozatkapcsolók alkalmazásánál a beavatkozás gyorsítása és a feszültségbeállítás finomítása érdekében a fokozatok közötti feszültséget áthidaló mágneses erősítőket alkalmaznak.

5. Áramszabályozó mágneses erősítők

A mágneses erősítőket vagy áramváltó kapcsolásban [10] alkalmazzák, amikor is állandó vezérlő áram biztosításával az áramszabályozás egyszerűen megoldható ugyan, de a vezérlő teljesítmény nagy; vagy öntelítő kapcsolást választanak, ekkor a szabályozás bonyolultabb, de kisebb vezérlő teljesítménnyel is gyors működést lehet elérni.

Érdekes megoldás a két kapcsolás egyesítése, amely felépítésében áramváltó jellegű mágneses erősítő, de a háromfázisú kapcsolásnál az ágáram szünetideje alatt állítják be a megfelelő mágneses állapotot (a váltakozóáramú munkaáramnak megfelelően váltakozófeszültségű vezérléssel) és ezáltal a kapcsolás öntelítő jelleget mutat. A mag mágneses szempontból kétszeresen van kihasználva és megfelelő hűtéssel a kívánt átfogás kis súllyal biztosítható [11].

A mágneses erősítő méretét öntelítő kapcsolásban az egyenáram (I_d) és a feszültségátfogás nagysága (dU_d) szabja meg. Ha a mag telítési indukciója B_m , és egy-egy fázisban N menetű, A keresztmetszetű mag van beépítve, akkor a feszültségátfogás nagysága hídkapcsolásban

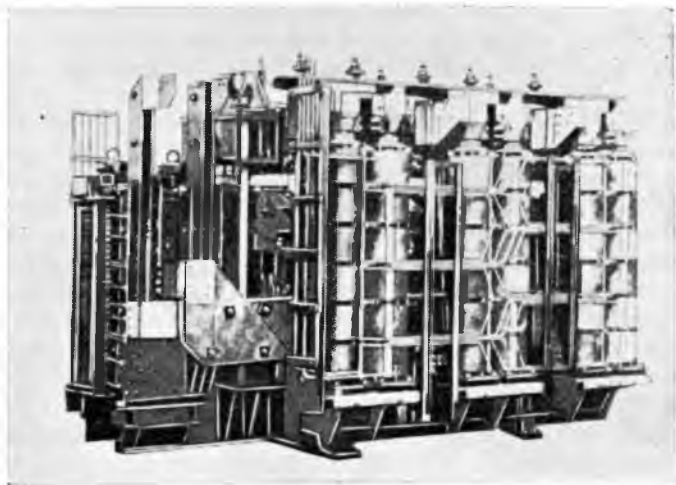
$$dU_d = 6fNA (B_m - B_0),$$

ahol f a hálózati frekvencia és B_0 a vezérléssel beállított indukcióérték a munkaáram szünetében. A [11]-ben ismertetett kapcsolásnál f a kétszeres hálózati frekvencia. B_0 maximális értéke — 0,8... +0,9 B_m lehet, a vezérlő áram nagyságától függően.

A feszültségátfogás (dU_d) nagyságát a fokozatok közötti feszültség nagysága szabja meg. Tűzfolyós elektrolízisnél (pl. alumínium) a fokozatok közötti feszültséghez hozzá kell még adni a fogyasztó ún. anódeffektek által okozott 30...50 V nagyságú igen gyors feszültségváltozást is, hogy az anódeffekt megszűnésekor az áram hirtelen felugrását meg lehessen akadályozni. (Az anódeffekt úgy jön létre, hogy az elektródok között ív keletkezik, ezáltal a kád 3,5...4,5 V feszültsége hirtelen megnő. Anyagadagoláskor az ív kialszik és a feszültség újra a normális értékre esik vissza. Az effekt fellépését technológiai okból mesterségesen is elő szokták idézni.)

Ha minimális súlyú mágneses erősítőt tervezünk, az áram növekedésével mind kisebb menetszámot kell választani. 10 kA egyenáram körül már egy menetes mágneses erősítő ad optimális súlyt. A tekercselési súly tovább csökkenthető, ha a magokat kisebb gyűrűkre osztva a transzformátorral egybeépítjük, így a hűtést a transzformátorolaj biztosítja.

A legtöbb nagyteljesítményű egyenirányító berendezésnél a fokozatkapcsoló transzformátor, az egyenirányító transzformátor és a mágneses erősítő egyetlen edényben van elhelyezve (4-7. ábra).

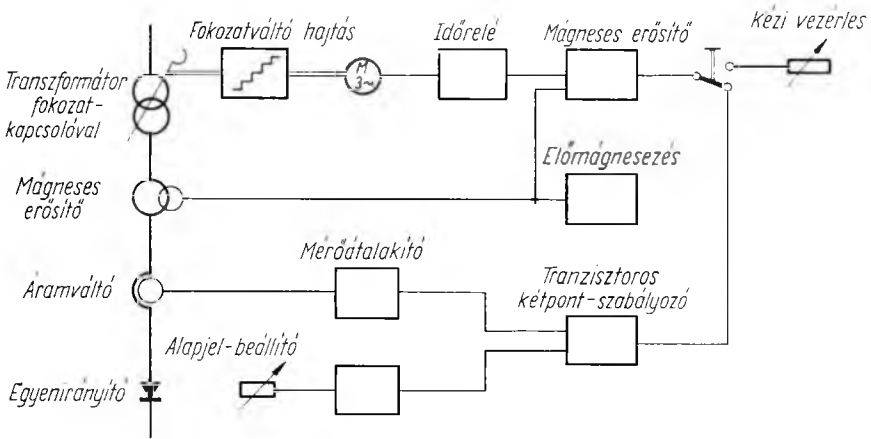


4-7. ábra. Egyenirányító transzformátor az olajedényből kiemelve. Elöl a mágneses erősítők láthatók (SSW)

A mágneses erősítők szerepét a manapság fejlesztés alatt álló korszerű elektroli-
záló berendezéseknél már a tirisztor veszi át. Alkalmazásukkal az egyenirányító be-
rendezés mérete a mágneses erősítők elmaradása miatt csökken ugyan, az egyenirá-
nyító készülék viszont bonyolultabb felépítésűvé válik a tirisztorokat vezérlő áramkö-
rök miatt.

6. Egyenirányító berendezések szabályozása

Az ismertett eszközökkel adva van a lehetősége annak, hogy az egyenirányító beren-
dezést automatikus áram- vagy feszültségszabályozással üzemeltessék. Áramszabá-
lyozáshoz az egyenáram nagy pontosságú mérésére van szükség. A feladatot vagy
váltakozóáramú áramváltók jelének egyenirányítóval történő összekezdésével oldják meg
(pl. Siemens), vagy az egyenáramú sínre épített Krämer-féle egyenáramú áramváltót
alkalmaznak (pl. AEG). Mindkét módszerrel 0,1...0,2% pontossággal lehet egyenára-
mot mérni. Hall-elemes mérő alkalmazása az előzőkhez viszonyítva nagyobb pontos-
ságú mérést eredményez, azonban a nagy súlyú járom és a hozzátartozó bonyolult
erősítő miatt alkalmazása általánosságban még nem terjedt el.



4-8. ábra

Az áramszabályozó elvi felépítése a 4-8. ábrán látható. Az áramváltó jelét
összehasonlítják a beállított áram-alapjellel, ami egy Zener-dióda leosztott feszültsé-
ge. Az eltéréstől függően erősítőn keresztül a mágneses erősítő vezérlő áramát vál-
toztatva az egyenirányító feszültsége úgy változik, hogy az eltérést csökkenteni fogja.
Ha a mágneses erősítő adott feszültségátfogásával már nem tud hatásosan beavatkoz-
ni, a vezérlő áram szélső értékeinél időrelével késleltetve a transzformátor-fokozat-
kapcsoló átkapcsolási parancsot kap. Az átkapcsolás helye úgy van beállítva, hogy a
mágneses erősítő üzem közben lehetőleg állandóan legyen kivezévelve, tehát a beren-
dezés teljesítménytényezője minél jobb legyen.

Az előerősítő rendszerint PID jellegű. Mivel az áramváltó jele viszonylag nagy-
teljesítményű, a feladat szabályozástechnikai szempontból nem túl bonyolult, annál
nagyobb súlyt kell helyezni az egyszerűsége és az üzembiztonságra. A rendszer három-
nál több időállandót tartalmaz, ezért stabilitási problémák is felléphetnek.

Figyelembe kell venni azt is, hogy általában több párhuzamosan működő berendezést kell szabályozni, amelyek közül valamelyik kikapcsolásakor vagy anódeffekt-nél a megmaradó egységek túlterhelődnek, tehát a szabályozásnak gyorsan kell beavatkozni [12].

Érdekes még az integráló típusú szabályozási megoldást megemlíteni, amelynél az egyenirányító berendezés a fokozatváltó transzformátor megcsapolásai közötti feszültségbeállításra elemet nem tartalmaz. Ebben az esetben a berendezés szabályozása amperóra-hibára történik és eredőben a közepes áram állandó lesz. E megoldásnál az egyenirányító berendezést a legegyszerűbben lehet felépíteni [24].

7. Egyenirányító berendezések védelme

Az egyenirányító berendezések védelmét elsősorban a nagy üzembiztonság és az egyszerűség szem előtt tartásával kell megoldani. Védelmet kell nyújtani a diódákat veszélyeztető túlfeszültségek és túláramok ellen, meg kell oldani továbbá a meghibásodott elemek selejtezését úgy, hogy az üzemvitelben leállásra ne kerüljön sor. Az egyes feladatok megoldását a következőkben röviden áttekintjük.

Túlfeszültség-védelem. A diódákra nézve veszélyes túlfeszültségeknek elsősorban maguk a diódák lehetnek az okai. A diódák belső természetéből következik ugyanis, hogy a nyitóirányból záróirányba való átmenetkor néhány száz $10 \mu\text{s}$ tartamig a dióda nem zár, hanem rajta az áramkör által meghatározott módon az áram továbbfolyik. Amikor a p-n réteget elárasztó töltéshordozók eltávoznak, a záróáram igen nagy sebességgel a statikus értékére esik vissza. Ez az „árammegszakadás” a mindig jelenlévő szórt vagy koncentrált induktivitásokon olyan nagy feszültséget indukálhat, amely a diódákat átütheti [13, 14.] Ennek elkerülésére a diódákkal egyenként vagy csoportosan kondenzátor—ellenállás tagot kell párhuzamosan kapcsolni. Ezek értékét a diódagyárak statisztikus tapasztalatok alapján közlik, de hatásosságát mindig ellenőrizni kell az adott berendezésen.

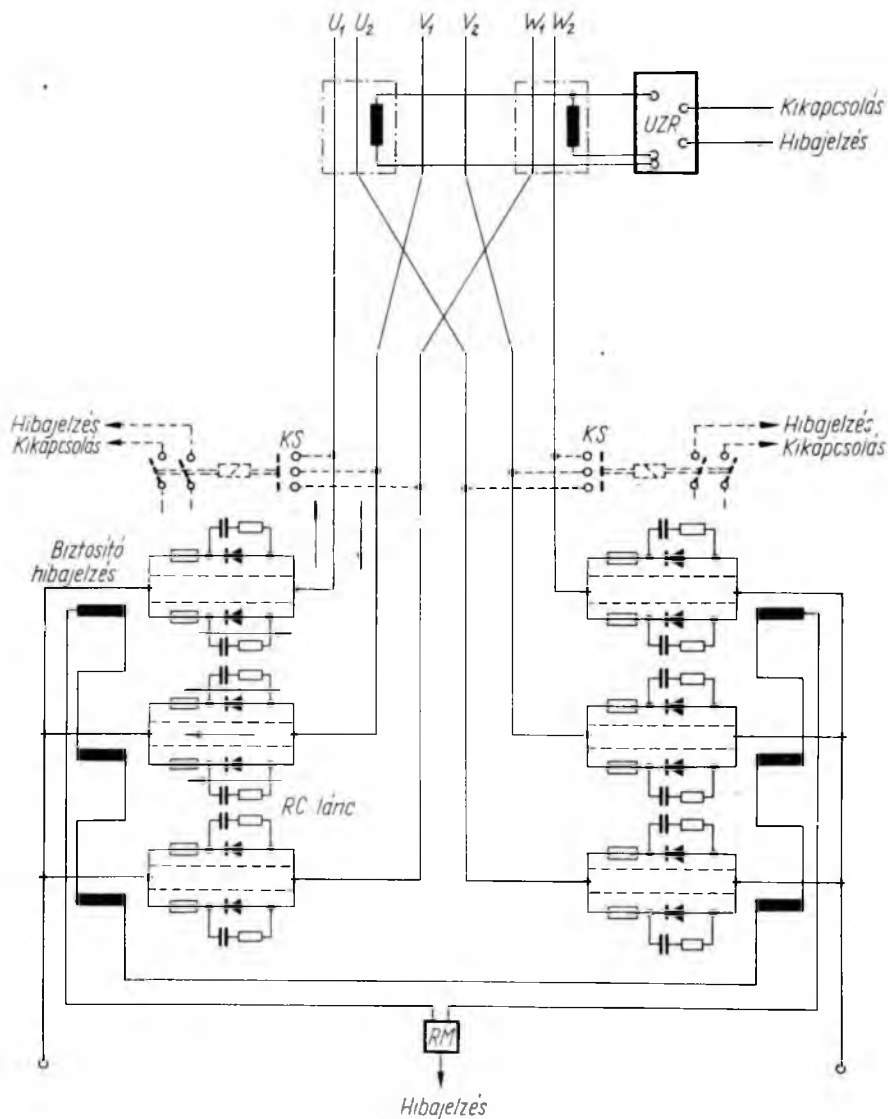
Túlfeszültség oka lehet az üresen járó transzformátor mágnesező áramának megszakítása, vagy — amennyiben az egyenáramú oldalon megszakító van beépítve (pl. párhuzamosan üzemelő higanykatódos egyenirányítóknál) — az egyenáram megszakítása is. Ez ellen a transzformátor kapcsaira kötött kondenzátorok, vagy megfelelően alacsony megszólalási és maradékfeszültségű túlfeszültség-levezetők nyújthatnak védelmet.

A technika mai állása szerint ezeket a védelmeket még akkor sem lehet elhagyni, ha az egyenirányítóba a legkorszerűbb, túlfeszültségekkel szemben kevésbé érzékeny lavinadióda kerül beépítésre. Több párhuzamos dióda alkalmazása esetén ugyanis a kommutációs túlfeszültség a legkisebb letörési feszültségű diódát veszi igénybe, és ennek energiája meghaladhatja a lavinadióda nyelőképességét.

Külső hálózati és legköri eredetű túlfeszültségek ellen a szokásos, transzformátor primer oldali túlfeszültség-levezetőket kell alkalmazni.

Túláram-védelem. Az egyenirányítókon túláram léphet fel a szabályozó meghibásodása, a párhuzamosan dolgozó berendezések lekapcsolása vagy visszagyújtása következtében, továbbá anódeffekt bekövetkezése esetén. Ezzel általában nem haladják meg a névleges áram 2...3-szorosát. Amennyiben kellő időben nem szűnnek meg, a berendezést le kell kapcsolni. Mivel ez legtöbb esetben súlyos üzemzavarhoz vezet, a berendezést úgy kell méretezni, hogy az előforduló túlterheléseket lehetőleg lekapcsolás nélkül viseljük el. Elháríthatatlan, vagy tartós hibánál a túlterhelés lekapcsolásáról természetesen gondoskodni kell.

Zárlat bekövetkezése megfelelően vezetett gyűjtősíneknél gyakorlatilag ki van zárva. A nagyáramú berendezésekben a zárlati áram viszonylagos értéke az áram növekedésével fokozatosan csökken [1]. Míg a 10 kA névleges áramú berendezésnél hatszoros zárlati áram felléphet, 100 kA feletti berendezésben lehetetlen olyan zárlatot elképzelni, amely 200...300 kA zárlati áramot vezethetne [15]. Ez az oka annak, hogy a zárlatvédelemre alkalmazott bonyolult készülékekről (gyorsmegszakító, robbanó szakaszoló, rövidzáró kapcsoló) a nagy berendezéseknél egyre inkább lemondanak.



4-9. ábra

Közepes berendezésekben, ha visszagyújtásra hajlamos higanykatódos egyenirányítókkal üzemelnek párhuzamosan, a rövidrezáró kapcsolók beépítése előnyös. Ezek a transzformátor kapcsait 2...4 ms alatt rövidrezárva, az egyenirányítót a zárlati áramtól tehermentesítik (4-9. ábrán szaggatottan).

A diódák selejtezése. A mai korszerű diódák is, bármilyen körültekintően tervezett berendezésben üzemelnek, igen kis számban statisztikusan meghibásodnak. Mivel külföldi tapasztalatok szerint a dióda-meghibásodás évi 0,1...0,2% körül mozog, a diódák a berendezés legüzembiztosabb elemei közé tartoznak.

Az átütött diódákat ki kell selejtezni, mivel a záróképesség elvesztése a berendezésben belső zárlatot okoz, amely az ép diódákat veszélyezteti és a hibás dióda felrobbanásához vezethet. A berendezéseket ezért úgy alakítják ki, hogy minden diódával sorbakapcsolnak egy megfelelően nagy zárlati teljesítményű és gyorsműködésű biztosítót [16]. Egy dióda átütésekor a hozzá tartozó biztosító kiolvad, és ezzel a hibás diódát üzemen kívül helyezi. A párhuzamos diódák számát úgy állapítják meg, hogy áganként egy dióda kiesésekor a berendezés áramát nem kell csökkenteni, ezért elegendő az, ha a biztosító kiolvadását a kezelőszemélyzetnek jelzik, hogy későbbi üzemszünetben a hibás elemeket kicserélhesse. A kiolvadás-jelzés vagy a biztosítóból kiugró jelzőgombbal működtetett mikrokapcsoló segítségével (4-5. ábra, 5 elem), vagy visszáramérzékelő áramváltóval (4-9. ábra *RM*) történhet [17].

A 4-9. ábrán összefoglalva szerepel a túláram-védelem (*UZR*), a dióda *RC* láncja és biztosítója és a rövidrezáró kapcsoló (*KS*). Jól érzékelhető az az egyszerűség, amely a szilícium-egyenirányítók védelmét jellemzi a higanykatódos egyenirányítók védelmi rendszeréhez képest [18, 19, 20].

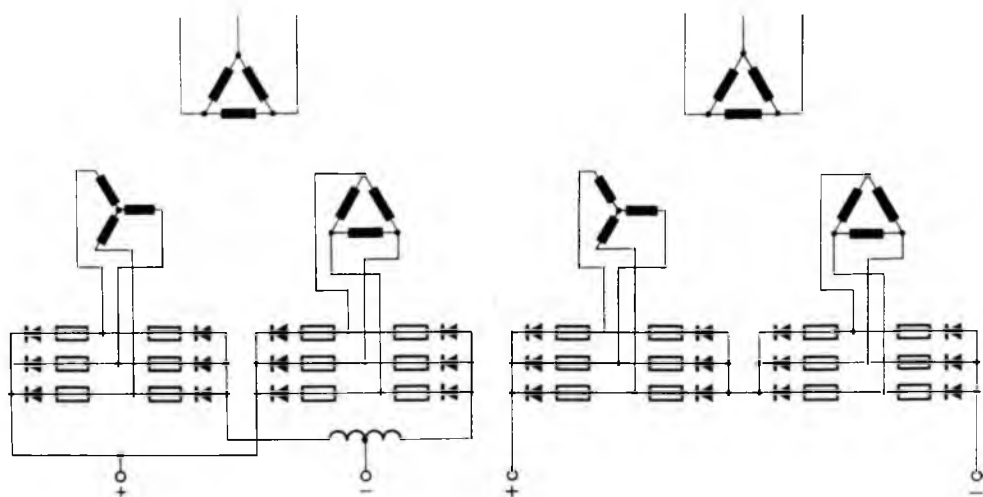
8. Üzemi jellemzők

Az egyenirányító berendezések üzemére vonatkozó villamos jellemzők közül legfontosabbak a hatások, a teljesítménytényező és a hálózati visszahatás (felharmonikusok) adatai. Ezeket nem lehet egymástól élesen szétválasztva tárgyalni, mindegyik szorosan összefügg az alkalmazott egyenirányító kapcsolással.

Mint a bevezetésben érintettük, mindhárom jellemző szempontjából előnyösek a nagyobb ütemszámú kapcsolások, ugyanakkor figyelembe kell venni azonban a diódák feszültség—áram-kihasználását is.

Hídkapcsolással, két híd párhuzamos vagy soros kapcsolásával is elérhető 12 ütemű visszahatás (4-10. ábra), ha egy transzformátoron az egyik szekunder tekercselés csillag-, a másik deltakapcsolású. Az üzemi feszültség szabja meg, hogy soros vagy párhuzamos kapcsolásra van-e szükség. E megoldás alkalmazása nagyobb teljesítményeknél mégis esetenként nehézkes, mert a kis transzformátor-menetszámoknál nem könnyű az $1:\sqrt{3}$ áttétel biztosítása.

A berendezés hatásfokát az egyes részveszteségek összege adja. Nagyteljesítményű berendezésnél hatásfokmérésre már mód nincs, ezért a részenként mért vagy számított veszteségeket kell összegezni. A transzformátor vesztesége általában az összes veszteségnek nagy részét teszi ki. A mérés eltér a szokásos transzformátor-veszteség-mérésektől, mivel figyelembe kell venni, hogy a transzformátorban folyó áramok nem szinuszosak. A nemzetközi IEC szabvány alapján kidolgozott magyar szabvány erről részletes felvilágosítást ad [21]. Hasonlóképpen intézkedik a szabvány az egyenirányító egység rövidzárásban történő veszteségméréséről is. A diódák záróirányú vesztesége olyan kicsi, hogy „üresjárás” mérésre nincs is szükség.



4-10. ábra

A mágneses erősítők veszteségét csak számítással lehet közelíteni, mivel a magok igen nagy átfolyó áram mellett, nem szinuszos mágnesesezéssel működnek. Ez azonban az összes veszteségnek szintén csak kis részét teszi ki.

A veszteségek nagyságrendjének érzékeltetésére példaképpen kivonatossan egy alumínium-elektrolízist tápláló, 16 kA, 850 V-os vízhűtéses berendezés veszteségi adatait ismertetjük:

	Veszteség, kW
Transzformátor üresjárási vesztesége	17,2
Transzformátor tekercsvesztesége	112,6
Mágneses erősítő vasvesztése	1,9
Mágneses erősítő tekercsvesztesége	12,0
Egyenirányítási veszteség (beleértve a hűtőszivattyú teljesítményét is)	86,6
Transzformátor vezérlése és szellőzése	4,4
Vezérlő és védelmi berendezés	1,0
Összesen:	235,7

$$\eta = 100 - \frac{V}{U_d I_d + V} 100\% = 98,3\%$$

A berendezés egyenirányítási vesztesége viszonylag nagy, mivel áganként két soros diódát tartalmaz. Ma már üzemelnek olyan berendezések, amelyek 850 V üzemi feszültségnél egy soros diódát tartalmaznak. Ezzel a 86,6 kW egyenirányítási veszteség körülbelül a felére csökkenthető. A költségmegtakarítás összemérhető a nagyobb zárófeszültségű diódák árkülönbözetével is.

Az egyenirányító berendezés *teljesítménytényezőjének* meghatározása eltér a szokásos szinuszos áramú berendezéseknél használható fogalmazástól. Definíció szerint a teljesítménytényező

$$\lambda = v \cos \varphi_1$$

összefüggéssel adható meg, ahol $\cos \varphi_1$ az áram alapharmonikusának fáziseltolása a szinuszosnak feltételezett fázisfeszültséghez képest, v pedig az ütemszámtól függő torzítási tényező, ami az áram felharmonikus tartalmát veszi figyelembe.

A $\cos \varphi_1$ érték a transzformátor szórás reaktanciája és a váltakozóáramú sínezés szórás reaktanciája által meghatározott, úgynevezett „fedési szöggel” arányos ($\varphi_1 \approx \delta/2$), csökkentése tehát a szórás reaktanciák csökkentésével lehetséges. Abban az esetben, ha gyújtásszög-késleltetés van (rácsvezérlésnél, vagy mágneses erősítő alkalmazásakor), a gyújtásszög-késleltetés is fáziseltolást okoz. Ha a gyújtási szög α , akkor

$$\cos \varphi_1 \approx \cos \left(\alpha + \frac{\delta}{2} \right)$$

értékre romlik. Jó teljesítménytényezővel csak úgy lehet üzemelni, ha a levezérlés foka üzemszerűen kicsi.

A torzítási tényező (v) értéke az ütemszám (p) és a fedési szög (δ) függvényében így alakul:

$\delta \backslash p$	6	12	24	36
0°	0,955	0,9886	0,9972	0,9988
30°	0,975	0,99	1,0	1,0

Látható, hogy 24 és 36 ütemű kapcsolásnál névleges árammal terhelve v értéke már gyakorlatilag 1-nek vehető. Nem ilyen jó a helyzet a primer áramban létrehozott *felharmonikustartalom* vizsgálatánál. A felharmonikus áramok számított értéke az egyenáram százalékában, ha n a felharmonikus rendszáma, p az ütemszám:

$p \backslash n$	5	7	11	13	17	19	23	25
6	17	10	4,5	2,8	1,4	1,2	1	0,8
12	—	—	4,5	2,8	—	—	1	0,8
24	—	—	—	—	—	—	1	0,8

Látható, hogy a felharmonikus áramok értéke 12...24 ütemű kapcsolásnál igen alacsony, a gyakorlatban azonban a tapasztalatok szerint soha nem lehet olyan szimmetrikus elrendezést elérni, hogy pl. 12 ütemű kapcsolásnál az 5. és 7. felharmonikus 0,7...1% értékkel meg ne jelenjék.

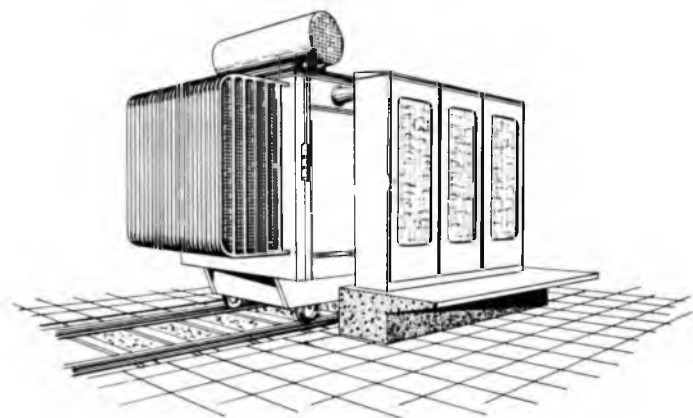
A teljesítménytényező megfelelő körülményekkel és az egyenirányítók jellegét figyelembe véve, kondenzátortelepekkel javítható [22].

9. Egyenirányító berendezések felépítése

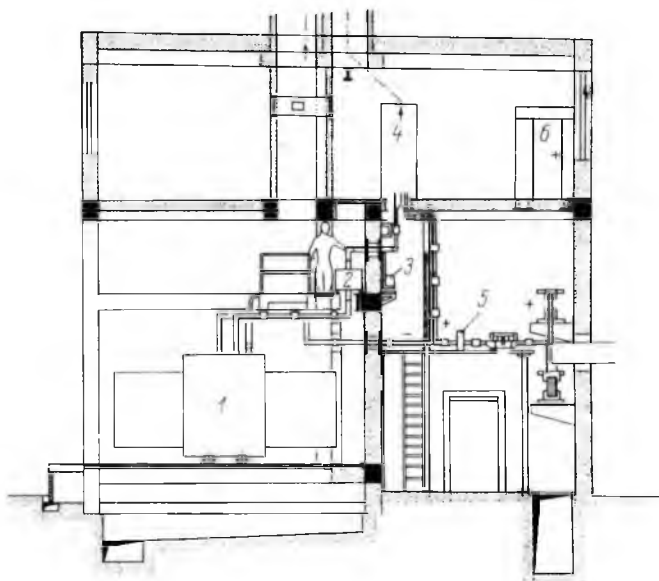
Az egyenirányító berendezések kialakításakor a veszteségek csökkentése, a teljesítménytényező javítása érdekében arra törekednek, hogy minél kisebb térfogatban, minél rövidebb sínezéssel lehessen ezeket megépíteni. A fejlődés során elért nagyfokú egyszerűsödés és egyre nagyobb megbízhatóság révén jelenleg már olyan berendezések készülnek, ahol a transzformátorra ráépítik az egyenirányító egységet is (4-11.

ábra). Az ilyen összeépítés szállítási és üzembehelyezési szempontból is igen előnyös [23].

Az egyenirányítók méretének csökkenése lényegesen megváltoztatta az építészeti elrendezést is. Az elektrolizáló kádak, alumíniumelektrolizáló csarnok köze-



4-11. ábra



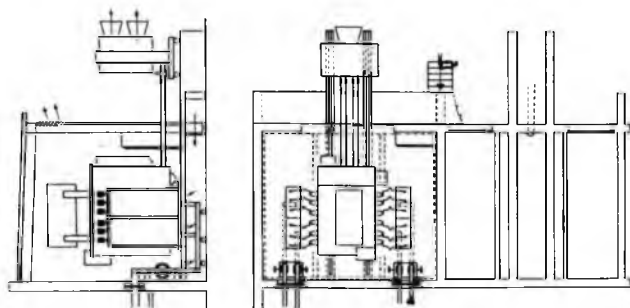
4-12. ábra. Higanycatódos egyenirányító helyére felállított szilícium egyenirányító berendezés metszete

1 transzformátor; 2 mágneses erősítők; 3 rövidzáró kapcsoló; 4 egyenirányító szekrény; 5 egyenáramú gyűjtősínek; 6 vezérlő szekrény

lében helyezik el az áramátalakító épületet, vagy a csarnok végénél, vagy a két oldala mentén. A 4-12. ábra egy higanycatódos egyenirányító helyén felállított szilícium-egyenirányító elrendezését mutatja. Igen hosszú a sínezés az 1 belsőtéri transzfor-

mátor, a 2 mágneses erősítő, a 4 egyenirányító szekrény és az 5 egyenáramú gyűjtősínek között.

Az épület többszintes és igen nagy a terjedelme ahhoz képest, amit egy korszerű transzformátorral egybeépített vízűtésű egyenirányító berendezés igényel. A 4-13.



4-13. ábra

ábra szerinti elrendezési rajzon jól kivehető az épület egyszerűsége, ha az egyenirányító a transzformátorral össze van építve. A függőleges metszet jobb oldalán a víz—levegő-hőcserélő ventilátorai és légszűrői vannak.

A nagyteljesítményű egyenirányító berendezéseket az egyenirányító teljesítményét korlátozó tényezők következtében több, kisebb teljesítményű egység párhuzamos kapcsolásával hozzák létre. Ez nemcsak az ütemszám növelését teszi lehetővé, hanem az üzembiztonságot is növeli. Az egyenirányítók teljesítményét vagy úgy határozzák meg, hogy a szükséges darabszámnál eggyel többet építenek be tartalékként ($n + 1$ elv), vagy úgy méretezik, hogy egy berendezés kiesésekor érik el a megmaradó egységek a névleges terhelést ($n - 1$ elv).

Előbbi esetben a tartalék elindítása hosszabb-rövidebb időt vesz igénybe és a bekapcsolásig az üzemben levő egységek túlterhelődnek. Korszerűbb az $n - 1$ elv. Ekkor egy berendezés kiesésekor túlterhelés nem lép fel. Előny az is, hogy a csökkenített teljesítménnyel üzemelő berendezések hatásfoka jobb, tehát az elkerülhetetlen többletberuházást a hatásfokjavulás legalább részben kompenzálja. Az ütemszám kialakítása szempontjából is előnyösebb az, ha állandó számú berendezés működik üzemszerűen párhuzamosan.

10. Összefoglalás

Az elektrolízisek táplálására szolgáló egyenirányító berendezések kialakítási lehetőségeit összefoglaló rövid ismertetésük alapján is megállapítható, hogy az elektrolizáló technológia által megkövetelt feltételeket a félvezető egyenirányítókkal teljesíteni lehet. A fejlesztési tevékenység főproblémája manapság már a gazdaságossági mutatók javításával függ csak össze, utóbbit viszont a komplex berendezés megépítéséhez szükséges anyag- és készülékárakon túlmenően helyi adottságok is befolyásolják.

A hazai fejlesztési munka az ismertetett elvek alapján folyik. A VKI és a VBKM 2. sz. Anód Áramirányítógyárának közös fejlesztésében elkészült több, 2...3 kA, 80...110 V adatokkal rendelkező, csak mágneses erősítővel vezérelt hidrogénelektro-

lizist tápláló egyenirányító berendezés. A VBKM Fejlesztő Intézetével közösen kidolgozott nagyteljesítményű vízűtésű berendezés jelenleg próbatermi mérések alatt áll.

Irodalom

- [1] *Widmer, H.*: Entwurf und Betrieb von grossen Gleichrichter-Anlagen. Bull. SEV, **15**. (1965)
- [2] *Ernst, A. — Bieffer, H.*: Halbleitergleichrichter für Elektrolyseanlagen. Technische Rundschau, 1966 No 16, 22.
- [3] *Robinson, T. P.*: High power silicon rectifier equipments for electro-chemical duty. Direct Current, **9**. (1962) Siliziumgleichrichteranlage 3×18 kA, 500 V (A). 3×12 kA, 500 V (B) für Transelektro (Siemens)
- [4] *Kostenanschlag*. Siliziumgleichrichteranlage 2×16 kA, 850 V für Aluminiumelektrolyse (AEG)
- [5] *Kostenanschlag*.
- [6] AEG—Silicium-Gleichrichtergerät mit Wasserkühlung (Sonderdruck)
- [7] *Keller, E.*: Silizium-Gleichrichter Bauart Rectiblock. BBC Mitt., **4**. (1965)
- [8] *Bille, G. — Nagel, C. H.*: Bemessung wassergekühlter Wicklungen von elektrischer Grossmaschinen. Siemens Z., **8**. (1966)
- [9] *Glass, W. — Weikdl, G.*: Wassergekühlte Silizium-Gleichrichteranlage zur Speisung einer Wasserstoffelektrolyse. AEG Mitt. **1**. (1966)
- [10] Grosse Silizium-Gleichrichteranlagen für Elektrolysen, (ASEA Sonderdruck 7941 T)
- [11] Transduktorsteuerung von Halbleitergleichrichtern in Zweiwegschaltung (AEG Sonderdruck)
- [12] *Putz, U. — Winkler, H.*: Strom- und Spannungsregelung von Halbleitergleichrichteranlagen. AEG Mitt. **11/12**. (1961)
- [13] *Samberger, K.*: Berechnung von Trägerspeichereffekt-Beschaltungen für Silizium-Gleichrichter und Thyristoren. ETZ A **24**. (1965)
- [14] *Bichara, R.*: Einschwingvorgänge in Stromrichteranlagen und ihre Bedämpfung. ETZ A **26**. (1960)
- [15] *Budek, J. A. — Marchant, A. H.*: Voltage regulation in 3-phase bridge rectifier connection from no load to short-circuit. Direct Current, **2** (1966)
- [16] *Gutzwiller, R. W.*: Overcurrent protection of semiconductor rectifiers. Electrical Manufacturing, **4**. (1959)
- [17] *Weber, J.*: Überwachung parallelgeschalteter Dioden in Siliziumgleichrichtern. Siemens Z., **2**. (1966)
- [18] *Zucha, G.*: Schutz- und Überwachungsgeräte für Stromrichterantriebe. AEG Mitt., **11/12**. (1957)
- [19] *Shiele, O.*: Grundzüge der Stromrichter-Anlagen. Elektrizitätswirtschaft, **11**. (1963)
- [20] *Read, J. C. — Member D. Sc.*: Rectifier and rectifier applications. Proceedings IEE, **4**. (1963)
- [21] *KGMSZ 4. 65.02—63* Félvezető egyenirányító elemekből készült erősáramú áramirányító berendezések
- [22] *Geise, H.*: Leistungsfaktorverbesserung durch Kondensatoren und Saugkreise in Industriewerken mit Stromrichteranlagen. AEG Mitt., **11/12**. (1958)
- [23] *Storsand, B. — Brandenberger, A.*: Entwicklungstendenzen beim Bau von Gleichrichteranlagen. Bull. Oerlikon, Nr. 357/358
- [24] *Brandenberger, W.*: Die Stromversorgungsanlage der Aluminiumhütte Husnes (Norwegen). Bull. Oerlikon, Nr 370/371

5.

Túlfeszültségek váltakozóáramú generátorral táplált vonatvilágítási áramkörökben

CSABA BÉLA—RÁDY ZOLTÁN—DR. VITÁLYOS LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

Az utóbbi években vonatvilágítási célra egyre elterjedtebben alkalmazott kefe nélküli szinkron generátorok minden tekintetben fölényben vannak az eddig használt egyenáramú dinamókkal szemben, kivéve azokat a túlfeszültségeket, amelyek bizonyos üzemi körülmények között a táplált világítási áramkörökben felléphetnek. Mivel ezek a túlfeszültségek veszélyeztetik a fogyasztók, különösképpen pedig a félvezetős átalakítók és feszültség szabályozók épségét, ismeretük a vonatvilágítási berendezés tervezője részére igen fontos.

A cikk a vonatkozó szakirodalomban még nem tárgyalt kérdést bő mérési anyaggal illusztrálja, megmutatva a fellépő túlfeszültségek nagyságát és időbeli lezajlását a különböző üzemállapotokban. Tekintettel arra, hogy e túlfeszültségek a vonatvilágítási generátorként tág fordulatszám-határok közt működő szinkron gép tulajdonságaiból eleve adódnak, kiküszöbölésük géptervezési úton nem lehetséges. A szerzők ismertetik az áramkörök és a feszültség szabályozó kialakításával kapcsolatos intézkedéseket, amelyek segítségével a túlfeszültségek nagysága és időtartama eredményesen korlátozható.

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕПЯХ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ПОЕЗДОВ, ПИТАЮЩИХСЯ ОТ ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Б. Чабба—З. Радю—др. Л. Витайюш

Резюме

Бесщеточные синхронные генераторы, получившие в последние годы широкое распространение в области системы освещения поездов, во всех отношениях намного превосходят применяемые до этого времени генераторы постоянного тока, за исключением тех перенапряжений, которые могут возникать в питаемых цепях освещения при определенных рабочих условиях.

Ввиду того, что такие перенапряжения угрожают исправности потребителей, особенно полупроводниковых преобразователей и регуляторов напряжения, очень важным является, чтобы они были известны для конструктора, разрабатывающего систему освещения поезда. Статья обильно иллюстрирует еще не рассмотренные в технической литературе вопросы — результатами измерений, показывая величину и прохождение по времени возникающих перенапряжений в различных рабочих режимах. Учитывая, что эти перенапряжения исходят из свойств синхронной машины, работающей в качестве генератора системы освещения поездов в весьма широких пределах скоростей, предотвращение их возникновения путем проектирования машин невозможно. Авторы описывают мероприятия, связанные с разработкой схем включения, и регулятора напряжения с помощью которых успешно ограничивается величина и продолжительность перенапряжений.

ÜBERSPANNUNGEN IN DREHSTROMGENERATORGESPEISTEN ZUGBELEUCHTUNGSSTROMKREISEN

B. Csaba—Z. Rády—Dr. L. Vitályos

Zusammenfassung

Die in den letzten Jahren zur Beleuchtung von Reisezügen in ständig wachsender Anzahl eingesetzten bürstenlosen Drehstromgeneratoren sind den bisher verwendeten Gleichstromdynamos in jeder Hinsicht überlegen, mit Ausnahme diejeniger Überspannungen, die bei bestimmten Betriebsverhältnissen in den gespeisten Beleuchtungsstromkreisen auftreten können. Da diese Überspannungen die Verbraucher, besonders aber die Halbleiterbestückten Wechselrichter und Spannungsregler gefährden, ist ihre Kenntnis für Konstrukteure von Zugbeleuchtungsanlagen von grosser Bedeutung.

Im Aufsatz wird die in der einschlägigen Fachliteratur bisher nicht erörterte Frage mit reichlichem Messmaterial illustriert. Es wird die Grösse und der Verlauf der in den verschiedenen Betriebszuständen auftretenden Überspannungen dargestellt. In Anbetracht dessen, dass diese Überspannungen sich aus den Eigenschaften einer in breitem Drehzahlbereich arbeitenden Synchronmaschine prinzipiell ergeben, können sie durch geeignete Konstruktion des Generators nicht vermieden werden. Von den Verfassern werden jene Massnahmen beschrieben, die bei der Auslegung der Stromkreise bzw. des Spannungsreglers vorzunehmen sind um die Grösse und Zeitdauer der Überspannungen erfolgreich begrenzen zu können.

OVERVOLTAGES IN TRAIN LIGHTING CIRCUITS FED BY ALTERNATORS

B. Csaba—Z. Rády—Dr. L. Vitályos

Summary

Brushless alternators applied in recent years to train lighting in steadily increasing numbers surpass the hitherto used d. c. generators in every respect with the sole exception of the overvoltages which, under certain operating conditions, may occur in the lighting circuits supplied. As the overvoltages may damage the consumers, especially the semi-conductorized inverters and voltage regulators, the knowledge of the overvoltages is highly important for the designers of train lighting equipment.

The subject not yet dealt with in the relating technical literature is illustrated in this paper by ample measuring material demonstrating the process and magnitude of overvoltages under various operating conditions. Considering the fact that these overvoltages are consequences of inherent characteristics of train lighting alternators operating within a wide speed range, they cannot be avoided by adequate machine design. The authors describe the proper circuit configuration and type of voltage regulator by which the magnitude and duration of the overvoltages can be successfully limited.

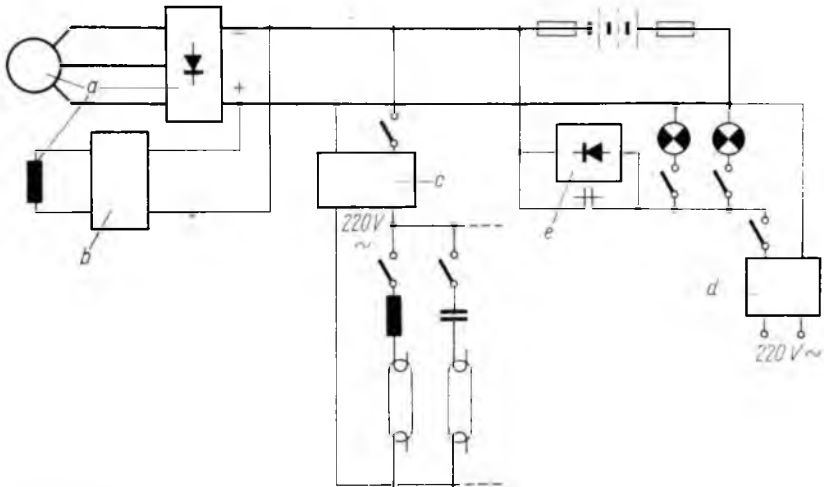
1. Korszerű vonatvilágítási berendezések felépítése

Az utóbbi évtizedben a vonatvilágítási berendezések területén nagyarányú fejlődés következett be, és ez a folyamat még ma sem tekinthető lezártnak. Mint minden műszaki fejlődés, ez is a fokozódó igények és az egyre tökéletesedő megoldások kölcsönhatásának eredményeként jött létre. A fokozódó igények az utazási kényelem növelése területén jelentkeznek, az egyre tökéletesedő megoldások pedig elsősorban azokat a lehetőségeket használják ki, amelyeket a korszerű félvezető elemek alkalmazása biztosít.

Nem célunk a bekövetkezett fejlődés egyes lépéseinek elemzése, sem az egyes cégek által forgalomba hozott többé-kevésbé különböző megoldások kritikai össze-

hasonlítása. Erre lehetőséget nyújt a műszaki fejlődéssel párhuzamosan fellendült szakirodalom bő publikációs anyagának tanulmányozása. A fejlődés jelenlegi állásának rögzítése szükséges azonban ahhoz, hogy hivatkozási alapul szolgáljon cikkünk szorosabban vett témájának, a vonatvilágítási áramkörökben előforduló túlfeszültségeknek a tárgyalása során.

A fejlődés jelenlegi állása az alábbiakban foglalható össze (a felsorolás betűi megegyeznek az 5-1. ábrán szereplő készülékek jelölésével).



5-1. ábra

a) A korszerű vonatvilágítási berendezés áramforrása a korábban használt közönséges egyenáramú dinamó helyett olyan „egyenáramú” generátor, amely kefe nélküli háromfázisú szinkron generátorból és hidkapcsolású félvezető egyenirányítóból áll. Amikor üzemben van, ez a generátor táplálja a fogyasztókat és tölti a jármű akkumulátorát.

b) A generátor feszültségét a korábban használt elektromechanikus rendszerű szabályozó helyett félvezetővel vagy félvezetővel és mágneses erősítővel vegyesen felépített mozgó alkatrész nélküli szabályozó tartja állandó értéken.

c) A világítás nem izzólámpás, hanem váltakozóáramú fénycsővilágítás, melynek fényforrásai többnyire a helyhez kötött berendezésekben használatos közönséges fénycsőtípusok. A fénycsövek táplálásához szükséges váltakozófeszültséget egyedi vagy központi félvezető-s váltóirányítók állítják elő. Míg az előbbiekre épített legnagyobb teljesítményű vezérelhető félvezető elemek tranzisztorok, addig az utóbbiakban ezek tirisztorok.

d) Az utasok villanyborotváinak használatát külön félvezető-s borotva-váltóirányítók biztosítják, ezek nem azonosak a világítási váltóirányítókkal.

e) Az akkumulátor töltési és kisütési feszültsége közötti különbség által meghatározott feszültségváltozásra érzékeny — fénycsővilágítás mellett is megmaradó — izzólámpás fogyasztók számára ezt a feszültségváltozást lámpafeszültség-korlátozó nemlineáris ellenállások (vezőtörányban használt sorbakapcsolt félvezető diódák, vagy megfelelő számú soros és párhuzamos szelénlap) csökkentik a megengedhető értékre, a korábban használt soros elektromechanikus szabályozó vagy ún. fix előtét

helyett. A lámpafeszültség-korlátozó nemlineáris ellenállást feszültségrele iktatja a feszültség változására érzékeny fogyasztók áramkörébe. A generátoron kívül ez a relé a világítási rendszer egyetlen mozgó alkatrésze.

A fenti összefoglaló felsorolásból világosan kitűnik, hogy a műszaki fejlődés eredményeként a vonatvilágítási berendezések minden részében alkalmaznak félvezető alkatrészeket. Éppen ezeknek a félvezető alkatrészeknek az átmeneti túlterhelésekkel szemben való érzékenysége teszi szükségessé, hogy a tervezők figyelmet fordítsanak azokra az átmeneti túlfeszültségekre, amelyek a fentebb felsorolt, és az 5-1. ábrán egymással áramköri kapcsolatban ábrázolt félvezetős készülékekből álló vonatvilágítási berendezésekben felléphetnek.

2. A túlfeszültségek okai

A túlfeszültségek két csoportba sorolhatók:

- a) kapcsolási túlfeszültségek,
- b) gyorsítási túlfeszültségek, amelyeket a generátor fordulatszámának gyors növekedése okoz.

A vonatvilágítási generátorok túlnyomó többsége személykocsik egyedi áramforrása, és a generátor hajtása a kocsitengelyéről történik. Ebben az esetben a generátor fordulatszáma kényszerkapcsolatban van a vontatási sebességgel, amelyben nem következhet be olyan gyorsulás, hogy túlfeszültséget okozzon a generátor kapcsain. Kocsitengelyről hajtott generátorok esetében ezért elegendő egyedül a kapcsolási túlfeszültségeket vizsgálni ahhoz, hogy megítélhessük az előforduló túlfeszültségek veszélyességét.

3. Kapcsolási túlfeszültségek

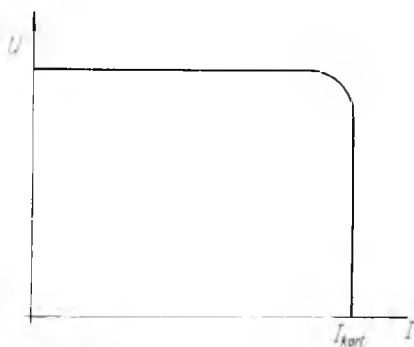
Kapcsolási túlfeszültség akkor léphet fel a generátor sarkain, ha a generátor által szolgáltatott áram szándékos kapcsolási művelet vagy a védelem megszólalása következtében hirtelen megszakad vagy jelentős mértékben csökken. A fogyasztók és az akkumulátortelep párhuzamosan csatlakoznak a generátor kapcsaira, és az akkumulátor a generátorról kapcsolóval nem választható le. Szándékos kapcsolási művelet csak a fogyasztói áramkörökben hajtható végre, miközben a generátor az akkumulátorteleppel párhuzamosan kapcsolva marad. Ez igen lényeges körülmény az üzemszerűen fellépő kapcsolási túlfeszültségek szempontjából, mert az akkumulátortelep — mint belső feszültséggel rendelkező kis belső ellenállású elem — túlfeszültség-levezetőként működik, mivel nagy töltőáramot vesz fel, ha kapcsolási túlfeszültsége csak kevéssé is növekszik.

Más a helyzet akkor, ha az akkumulátor áramköre szakad meg, vezeték-törés vagy biztosítókiválasztás következtében. Ebben az esetben a feszültségszabályozó és a fogyasztók túlfeszültség-vezető-hatás nélkül, egyedül maradnak a generátor kapcsain. Ez a túlfeszültség szempontjából legveszedelmesebb üzemállapot, és *a fellépő túlfeszültség annál nagyobb, minél nagyobb az akkumulátor töltőárama a megszakítás pillanatában, és minél kevesebb fogyasztó van ugyanakkor üzemben*, tehát minél kisebb a fogyasztói áramkör eredő vezetőképessége.

Ha megvizsgáljuk, hogy a legkedvezőtlenebb helyzet fellépésének mi a valószínűsége, meg kell állapítanunk, hogy az akkumulátorbiztosító kiválasztása sajnos ebben az üzemállapotban a legvalószínűbb. Ennek az az oka, hogy a generátor

feszültségszabályozójába épített áramkorlátozás, amely a generátornak az 5-2. ábrán vázolt feszültség—áram-jelleggörbét kölcsönzi, ún. összáramkorlátozás, tehát az érzékelt és korlátozott áram a generátor által leadott teljes áram, vagyis fogyasztói áram és a töltőáram összege. Ha a fogyasztás éppen csekély, akkor csaknem a teljes korlátozási áram (ami többnyire azonos a generátor névleges áramával) az akkumulátor töltésére fordítható, és ezt az áramot az akkumulátor valóban fel is veszi, ha kisütött állapotban van. A biztosító kiolvadása tehát ilyenkor a legvalószínűbb. Annál is inkább így van ez, mivel a névleges generátoráram általában megegyezik az akkumulátor maximális töltőáramával, amelyre az akkumulátort biztosítják.

Az akkumulátorbiztosító kiolvadásakor fellépő túlfeszültség annál nagyobb, minél nagyobb a generátor fordulatszáma a kiolvadás pillanatában. Mivel a generátor külső jelleggörbéje nem függ a fordulatszámától abban a fordulatszám-tartományban, amelyben a



5-2. ábra

generátor a korlátozási áramot egyáltalán le tudja adni, a biztosító kiolvadása minden fordulatszámnál egyformán valószínű. Így a *maximális túlfeszültség fellépésének három feltétele közül csak kettőnek esik egybe a valószínűsége*, a harmadik feltétel szerencsére csak független, statisztikus valószínűséggel teljesül.

Az a megállapítás, hogy a fellépő túlfeszültség akkor a legnagyobb, ha a generátor fordulatszáma maximális, olyankor érvényes, amikor vonatvilágítási generátorként szinkron generátort használunk. Ennek magyarázata abban rejlik, hogy a szinkron generátor belső feszültségesésének más a jellege, mint az egyenáramú gépé. Nevezetesen: míg az egyenáramú generátor belső feszültségesése ohmos jellegű, és nem függ a fordulatszámától, a szinkron generátor feszültségesése reaktív jellegű, és ezért frekvenciafüggő.

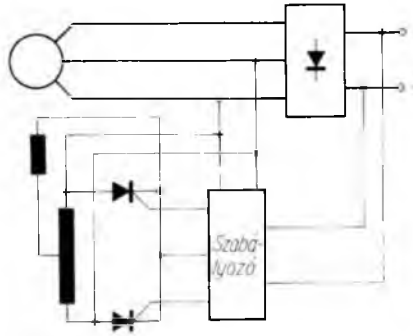
Ha a szinkron generátor terhelőáramát hirtelen megszakítjuk, a kapocsfeszültség kezdeti értékét a generátor megelőző terhelési állapotát jellemző adatok (terhelőáram, teljesítménytényező), valamint a tömör forgórészű generátor szubtransziens reaktanciája határozzák meg. A kezdeti feszültségnövekedés annál nagyobb, minél nagyobb volt a terhelőáram, és minél nagyobb a szubtransziens reaktancia.

A vonatvilágítási célra használt szinkron generátor méreteit — mint minden villamos gépet — a maximális nyomaték szabja meg. A maximális nyomaték a teljes terhelési fordulatszámnál lép fel, ennél a fordulatszámnál a gép mágnesesen és termikusan ki van használva, a mágneskör indukciója és a kerületi áramterhelés ennek megfelelő nagyságú. A szubtransziens reaktancia is a hasonló nagyságú gépeknél szokásos értékű.

A vonatvilágítási célra használt kefe nélküli szinkron generátorok maximális fordulatszáma a teljes terhelési fordulatszám többszöröse (pl. négyszerese), ezért a generátor a maximális fordulatszámom már mint a szokványostól teljesen eltérő, nagy feszültségesésű gép viselkedik. Ennek következtében a névleges terhelés lekapcsolása által okozott tranziens feszültségnövekedés is nagy.

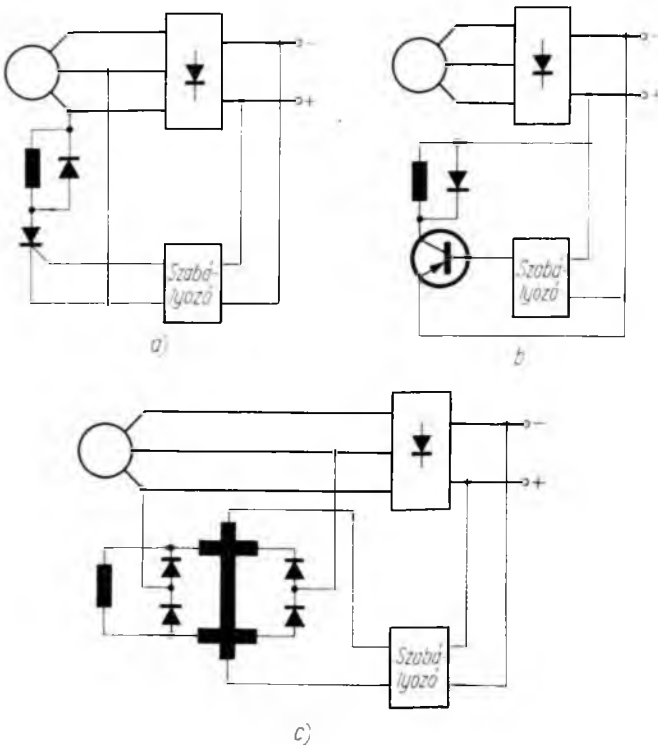
A generátor feszültségszabályozójának feladata, hogy a feszültséget helyreállítsa, és ennek érdekében a fellépett feszültségnövekedést minél rövidebb idő alatt megszüntesse. Hogy a feszültségszabályozó ezt a feladatot milyen gyorsasággal tudja

elvégezni attól függ, képes-e a gerjesztőfeszültséget legalább átmenetileg ellenkező előjelűre változtatni, vagy azt csak zérusra tudja csökkenteni. A korszerű vonatvilágítási berendezésekben használt feszültség szabályozók közül a két tirisztorral működők (5-3. ábra) az első, míg az egy tirisztoros, a mágneses erősítő vagy a tranzisztoros kimenetű szabályozók az utóbbi csoportba tartoznak. Ezek áramköri



5-3. ábra

felépítésére jellemző, hogy a generátor gerjesztőtekercse diódával van áthidalva (5-4. ábra). A kétféle elv szerint működő gerjesztőrendszer transziens viselkedését az irodalom [1] részletesen tárgyalja, ennek ismertetésére itt nem térünk ki.



5-4. ábra

Az alábbiakban az Egyesült Villamosgépgyár egy WG 160-K6 típusú kefe nélküli, körmospólusú generátorával végzett túlfeszültségmérések eredményét ismertjük.

A generátor adatai:

Névleges teljesítmény	8 kW
Névleges egyenfeszültség	140/110 V
Névleges egyenáram	57 A
Bekapcsolási fordulatszám (110 V fesz. üresjárásban)	1200/min
Legkisebb teljes terhelési fordulatszám (140 V, 57 A)	1800/min
Maximális fordulatszám	4800/min
Súly	135 kp

A generátor diesel-motorkocsikon és diesel-villamos mozdonyokon való felhasználásra készült, fordulatszám-tartománya ennek megfelelően szűkebb, mint a kocsitengelyről hajtott vagonvilágítási generátoroké.

A túlfeszültség-méréseket a névleges áram 0,95...1,15-szeresének megfelelő árammal végeztük el, 2000/min, valamint 5000/min fordulatszámmal. A mérések során kétféle tirisztoros szabályozó kapcsolást használtunk, felépítésük az 5-4a, ill. 5-3. ábrának felelt meg.

A közölt oscillogramokon a kiindulási (névleges) egyenfeszültséget a jobb összehasonlíthatóság érdekében egységnek vettük, így a túlfeszültségeket viszonyszámok tüntetik fel.

Az 5-5. ábrán az 5-4a ábrának megfelelő szabályozóval végrehajtott lekapcsolások oscillogramjai láthatók. A kezdeti feszültségnövekedés 2000/min fordulatszámnál 1,25-szörös, 5000/min fordulatszámnál kétszeres.

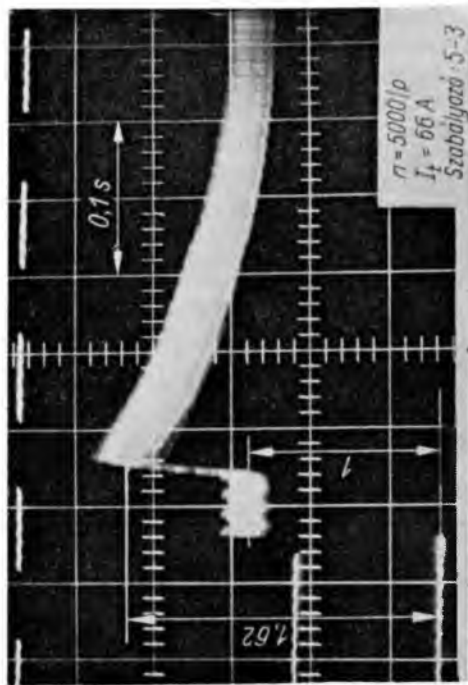
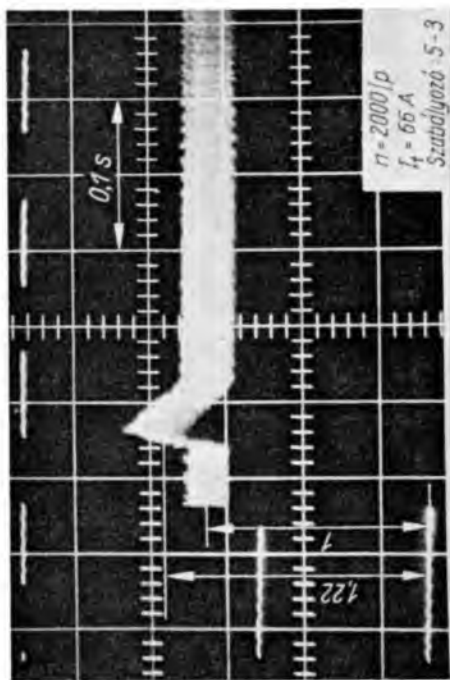
A feszültség visszatérésének ideje a lekapcsolás pillanatától számítva 2000/min fordulatszámnál 0,3 s, míg 5000/min fordulatszámnál a közölt oscillogramból annyit lehet megállapítani, hogy a visszatérési idő 0,8 s-nál is hosszabb.

Az 5-3. ábra szerinti kapcsolásban működő, tehát tranziensen ellenkező polaritású gerjesztőfeszültség adására képes szabályozóval a feszültségvisszatérési idő az 5-6. ábra szerint 2000/min fordulatszámnál 0,06 s, 5000/min fordulatszámnál 0,28 s. Ugyanakkor a kezdeti feszültségnövekedés az előbbi esetben 1,22-szeres, az utóbbiban 1,62-szeres.

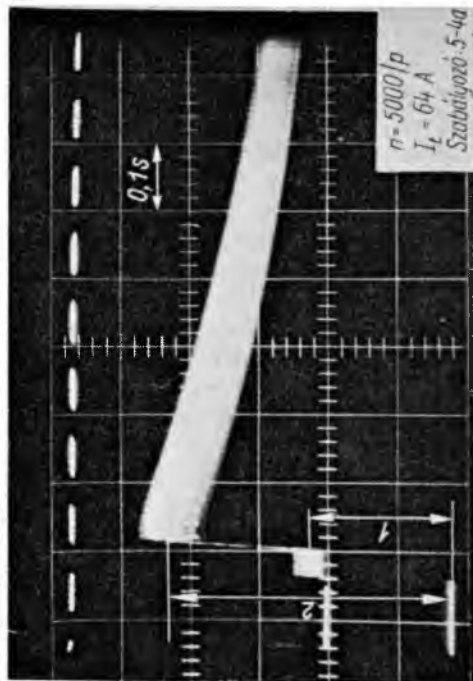
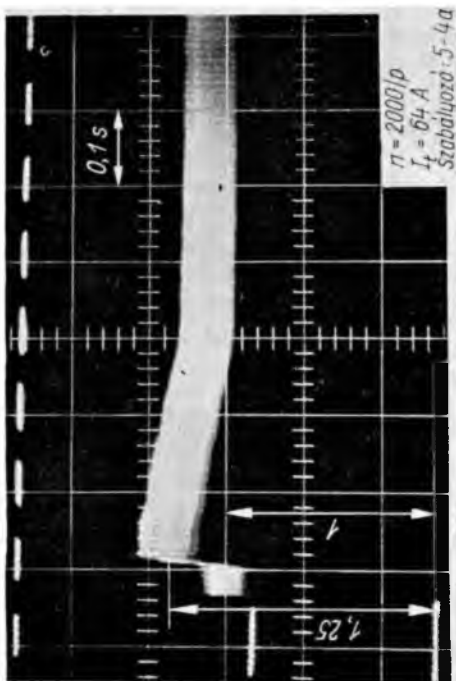
Az oscillogramokból azt lehet kiolvasni, hogy tranziensen ellenkező irányú gerjesztőfeszültség adására képes szabályozóval nemcsak a feszültség helyreállításának ideje, hanem még a kezdeti feszültségnövekedés is eredményesen csökkenthető. Az utóbbi hatásnak az a magyarázata, hogy az árammegszakítás nem pillanatszerű, hanem a szabályozó beavatkozási idején túl húzódik el.

Az 5-7. ábra oscillogramjai a generátorral párhuzamosan kapcsolt akkumulátor túlfeszültség-levezető hatását szemléltetik. Az oscillogramokat az 5-6. ábrán látható felvételekkel hasonlítjuk össze, amelyek mindenben azonos körülmények között, de akkumulátor nélkül készültek. A felső jel az akkumulátor árama, az alsó a generátor egyenirányított feszültsége. Látható, hogy a 2000/min fordulatszámnál fellépő lekapcsolási feszültségcsúcs 1,14-szeres, míg 5000/min fordulatszámnál 1,26-szoros. (Az 5-6. ábra megfelelő adatai: 1,25 és 2.)

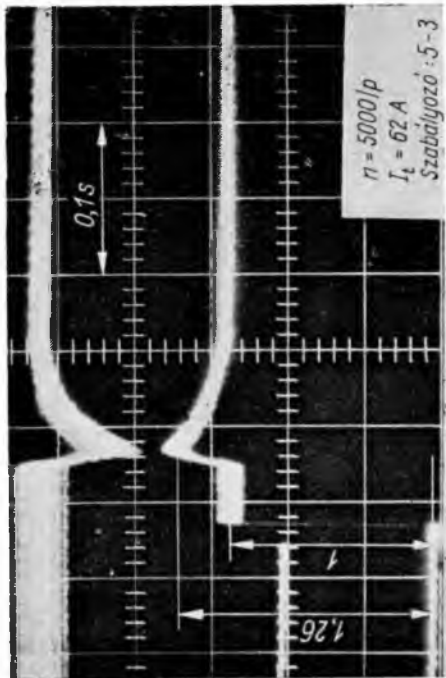
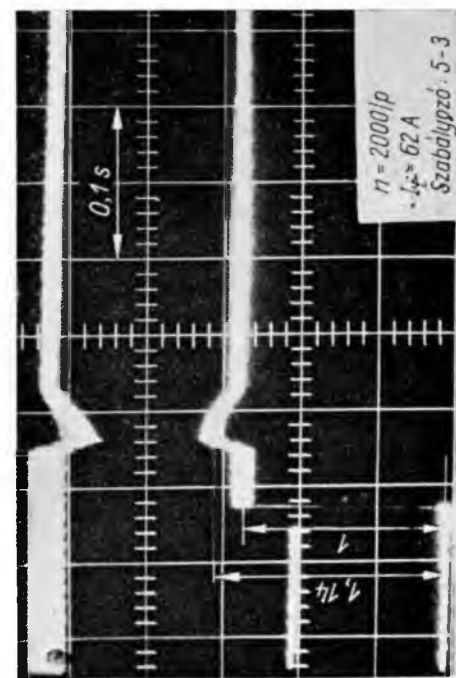
Meg kell jegyezni, hogy a lekapcsolási vizsgálatokhoz használt lúgos akkumulátor kapacitása kisebb, a kábelek ellenállása viszont nagyobb volt, mint a valóságos vonatvilágítási berendezésben, ezért a valóságban nagyobb túlfeszültség-csökkentő hatásra lehet számítani.



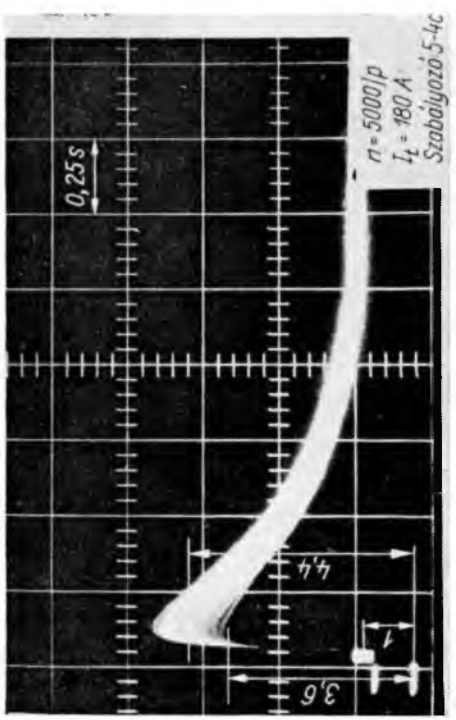
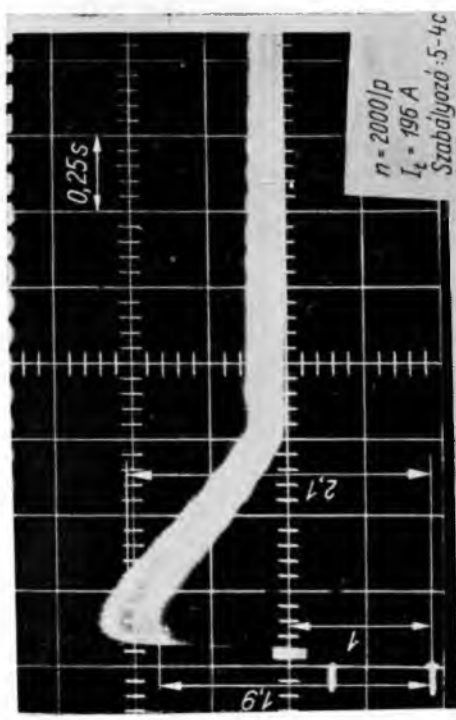
5-6. ábra



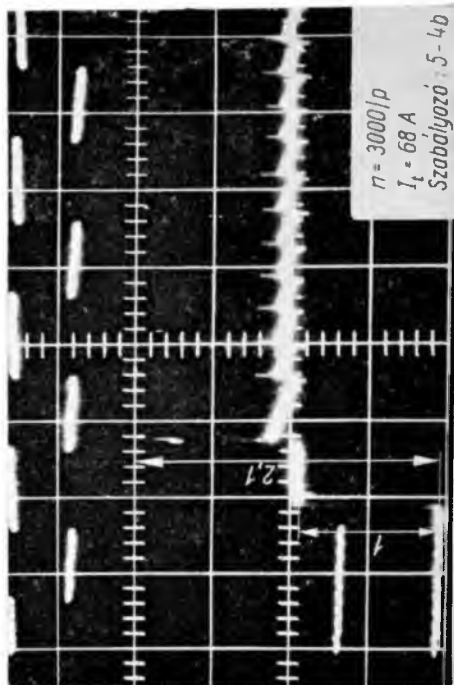
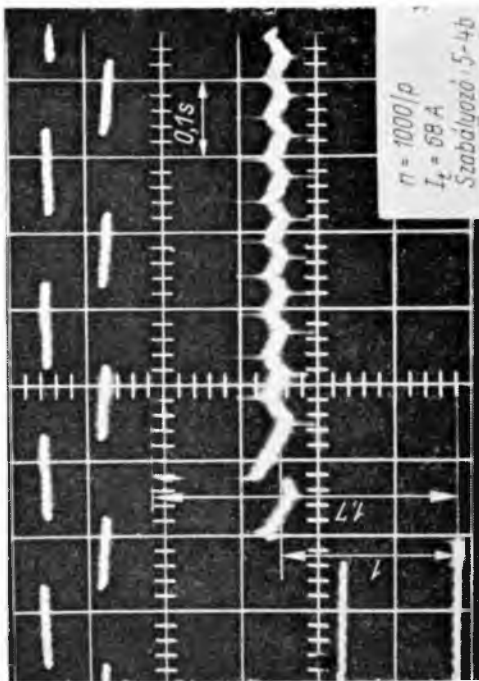
5-5. ábra



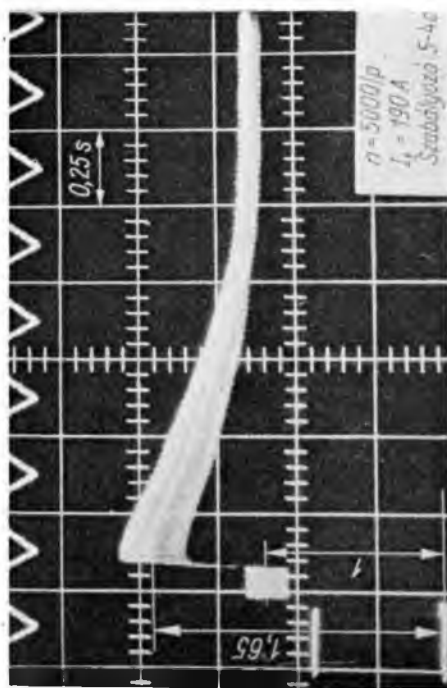
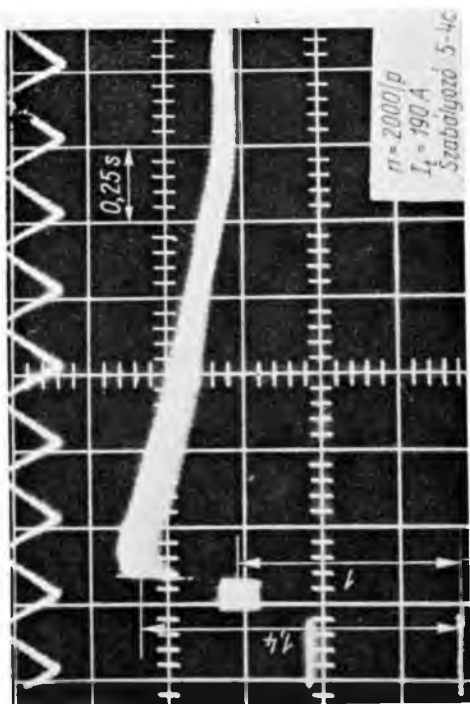
5-7. ábra



5-8. ábra



5-10. ábra



5-9. ábra

Vizsgáltuk továbbá egy WG 140-K6 típusú, vagonvilágítási célra — tehát tágabb fordulatszám-tartományra — készült körmöspólusú generátor kapcsolási túlfeszültségeit is.

A generátor adatai:

Névleges teljesítmény	6 kW
Névleges egyenfeszültség	30/24 V
Névleges egyenáram	200 A
Bekapcsolási fordulatszám (26 V fesz. üresjárásban)	800/min
Legkisebb teljes terhelési (fordulatszám (30 V, 200 A)	1400/min
Maximális fordulatszám	6000/min
Súly	94 kp

A generátorhoz csak az 5-4c ábra szerinti kapcsolásban működő mágneses erősítő szabályozó állt rendelkezésre, amelynek a mágneses erősítő vezérlőtekercsére ható tulajdonképpeni szabályozó áramkörei félvezetők [3]. A szabályozó tehát nem képes átmeneti üzemiállapotban ellenkező irányú gerjesztőfeszültség szolgáltatására. E tekintetben megegyezik az 5-4a ábra szerinti tirisztoros kapcsolással, a mágneses erősítő működése azonban viszonylag lassú, ezért a kezdeti tranzienst feszültségnövekedés egyúttal nem a legnagyobb, amit késlekedésmentes szabályozó beavatkozása azonnal csökkenteni kezdene.

A tranziensek lezajlását 2000/min, valamint 5000/min fordulatszámnál az 5-8. ábra mutatja arra az esetre, amikor a generátor névleges áramát lekapcsoljuk, és a generátorral akkumulátor nem marad párhuzamosan kapcsolva. A kezdeti feszültségnövekedés 1,9 ill. 3,6-szeres, a maximális feszültségnövekedés 2,1 ill. 4,4-szeres. A feszültségvisszatérési idő 2000/min fordulatszámnál 0,75 s, 5000/min-nál 1,8 s.

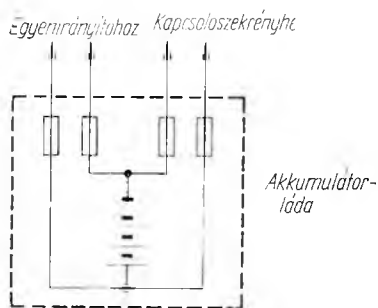
Az 5-9. ábra az akkumulátor levezető hatását szemlélteti. A kezdeti túlfeszültségek értéke 1,4 ill. 1,65-szörös, és további feszültségnövekedés gyakorlatilag nincs. Figyelembe véve az akkumulátor kapacitására és a kábelek hosszára vonatkozó korábbi megjegyzést, valóságos vagonvilágítási berendezésben nagyobb túlfeszültség-csökkentő hatásra lehet számítani.

Az 5-10. ábrán összehasonlításképpen bemutatjuk egy tisztán tranzisztoros szabályozóval felszerelt, PD 2 típusú egyenáramú vonatvilágítási generátor kapcsolási túlfeszültségét, ami 1000/min és 3000/min fordulatszámnál 1,7 ill. 2,1-szeres névleges értékkel jelentkezik, és ms nagyságrendű ideig tart, ezért az oszcillogramokon alig látható. Az állandósult generátorfeszültség periodikus változása a tranzisztoros szabályozó kapcsolóüzemű működésének következménye. Ilyen mértékű és ilyen rövid ideig tartó túlfeszültség kiküszöbölése semmiféle problémát nem jelent, ezért ezzel a kérdéssel nem foglalkozunk.

4. Védekezés a kapcsolási túlfeszültségek hatása ellen

Az előzőkből kiténik, hogy az a kapcsolási túlfeszültség, ami az akkumulátorbiztosító kiolvadásának, vagy az akkumulátorkábel szakadásának következtében nagy generátor-fordulatszámú és egyidejű nagy töltőáramnál felléphet, a feszültség-szabályozó-típus megválasztásával legfeljebb mérsékelhető, de ki nem küszöbölhető. A fogyasztóknak a különböző fordulatszám-tartományú generátoroknál előforduló 2,4-szeres túlfeszültséggel szemben való hatásos védelmére más intézkedést kell fogantatosítani. Ennek az intézkedésnek olyannak kell lennie, hogy a fogyasztók

ne maradhassanak a generátor kapcsain akkor, ha az akkumulátor biztosítója kiolvad. Ez a feltétel úgy teljesíthető, ha a fogyasztók tápvezetékét közvetlenül az akkumulátor kapcsaira csatlakoztatjuk. Ebben az esetben az akkumulátorládában négy biztosítót kell elhelyezni, amelyek közül kettő a töltő-, kettő pedig a fogyasztói áramkörben van, amint ezt az 5-11. ábra mutatja.



5-11. ábra

Az akkumulátorládában elhelyezett fogyasztókörü biztosítót nagyobb névleges áramerősségre kell választani, mint a vagon belsejében, a kapcsolószekrényben elhelyezett fogyasztókörü biztosítót. Ezáltal elérhető, hogy az akkumulátorládában elhelyezett biztosító csak a kapcsolószekrényig terjedő kábelek zárlata esetén olvad ki, és védi meg az akkumulátort, fogyasztókörü zárlat esetén viszont a kapcsolószekrényben elhelyezett biztosító fog kiolvadni.

A vázolt intézkedés természetesen nem védi meg magát a feszültség szabályozót a kapcsolási túlfeszültségtől, mert ez a generátor, és nem az akkumulátor kapcsaira kell, hogy csatlakozzék [2].

A feszültség szabályozót kétféle elv szerint lehet kialakítani. Az egyik az, hogy a szabályozó mindennemű károsodás nélkül legyen képes elviselni az előforduló legnagyobb túlfeszültséget is, és annak lezajlása után üzemképes állapotban maradjon. A másik konstrukciós elv figyelembe veszi, hogy a maximális értéket megközelítő vagy elérő túlfeszültség fellépésének valószínűsége kicsi, ezért a szabályozót úgy tervezik meg, hogy a túlfeszültség hatására előre meghatározott „gyenge pontja” sérüljön meg olyan módon, hogy ez a szabályozó vagy a berendezés további részeinek sérülését már megakadályozza.

5. Gyorsítási túlfeszültségek

Amint korábban már említettük, a generátor fordulatszámának gyors változása is lehet oka a kapocsfeszültség nemkívánatos mértékű növekedésének. Ilyen feszültség-növekedés akkor léphet fel, ha a feszültség szabályozó nem képes legalább olyan sebességgel csökkenteni a generátor fluxusát, mint amilyen sebességgel a fordulatszám növekedhet. Ez a probléma csak olyan esetekben merülhet fel, amikor a generátort nem a vasúti jármű tengelyéről, hanem annak erőforrásáról hajtják, amely a jármű tengelyével oldható kapcsolatban van, és amelynek fordulatszáma a kapcsolat oldása esetén gyorsan változtatható (pl. a dieselmotor túráztatása üresjáratban).

Gyorsítási túlfeszültség szempontjából a váltakozóáramú generátor nem veszélyesebb az egyenáramú generátornál.

A generátorral párhuzamosan kapcsolt akkumulátor gyorsulási túlfeszültségek ellen is hatásos levezetőnek bizonyul, ha a fellépő tranzienst áramlökés nem olyan nagy, hogy kiolvasztja az akkumulátor biztosítóját. Az utóbbi esetben gyorsítási és kapcsolási túlfeszültség szuperpozíciója lép fel, ami igen veszélyes üzemállapot, és létrejötte mindenképpen megakadályozandó azáltal, hogy hatásosan védekezünk a gyorsítási túlfeszültség ellen.

6. Védekezés a gyorsítási túlfeszültségek ellen

A gyorsítási túlfeszültség elleni védekezés leghatásosabb módja olyan feszültség-szabályozó használata, amely a generátor forszírozott legerjesztésére képes.

Az 5-3. ábra szerint kialakított, megfelelően méretezett feszültség-szabályozó alkalmazásával el lehet kerülni feszültségnövekedést minden olyan gyorsulási érték-nél, ami motorvonatok és mozdonyok belsőégésű motorjainak tengelyén a gyakorlat-ban előadódhat.

Irodalom

- [1] *dr. Vitályos L.*: Villamos gépek gerjesztőtekercseit tápláló vezérelt egyenirányítók átmenet folyamatai. *Elektrotechnika*, 50. 1957. 10—12. sz. 409—418. old.
- [2] Die GEZ—Stromversorgung von Binnenschiffen. GEZ—Information 8/64. S. 4. Gesellschaft für Elektrische Zugbeleuchtung, 1964.
- [3] *Csaba B.*: Váltakozóáramú generátoros vonatvilágítási rendszer. A Villamosipari Kutató Intézet Közleményei 1. 151—157. old.

6.

A 3000 LE-s szilícium-egyenirányítós mozdony hazai fejlesztésű egyenirányítói és elektronikus védelme

HADAS JÁNOS

ÖSSZEFOGLALÁS

A MÁV részére nyugat-európai munkaközöségtől vásárolt mozdonylicenciától független utat választva, a Villamosipari Kutató Intézet vállalkozott arra a sok tekintetben úttörő jellegű feladatra, hogy hazai félvezetőelem-gyártásra támaszkodva kifejlessze a mozdony sorozatgyártásra alkalmas egyenirányító berendezéseit.

Az Intézetben kidolgozott — és több szabadalommal védett — elektronikus védelem a működési sebesség, megbízhatóság, élettartam és a beavatkozás automatizáltsága tekintetében lényegesen felülmúlja az ismert külföldi típusok tulajdonságait, jelentősen megnöveli a nagyteljesítményű szilíciumdiódák kihasználási fokát és várható élettartamát.

A cikk a kifejlesztett — és ma már sorozatban gyártott — berendezések műszaki jellemzésén túlmenően ismerteti a mérések és a kísérleti vontatási üzem tapasztalatait, valamint a fejlesztés további lehetőségeit.

КРЕМНИЕВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ И ЭЛЕКТРОННАЯ ЗАЩИТА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗА МОЩНОСТЬЮ 3000 Л. С.

Я. Хадаш

Резюме

Независимо от лицензий на электровозы, закупленных для Венгерских Железных Дорог от Западно-европейского трудового коллектива, Научно-Исследовательский Институт Электротехнической Промышленности, опираясь на отечественное производство полупроводниковых приборов, решил разработать выпрямители, пригодные для серийного производства электровозов.

Электронная защита, разработанная Институтом и защищенная многими патентами, значительно превосходит с точки зрения скорости действия, надежности, срока службы и автоматизации вмешательства — свойства известных зарубежных типов, повышает степень используемости мощных кремниевых диодов и ожидаемый срок их службы.

Кроме технической характеристики разработанных и серийно выпускаемых уже устройств, статья описывает результаты измерений и опыты по экспериментальному буксирному режиму и приводит возможности дальнейшего развития.

DIE IN UNGARN ENTWICKELTEN GLEICHRICHTER UND DER ELEKTRONISCHE SCHUTZ DER 3000 PS-SILIZIUMGLEICHRICHTER- LOKOMOTIVEN

J. Hadas

Zusammenfassung

Das Forschungsinstitut für Elektrotechnik hat einen von den Festlegungen der für die ungarischen Staatseisenbahnen von der westeuropäischen Arbeitsgemeinschaft erworbenen Lokomotivbaulizenz unabhängigen Weg beschritten und die in vielerlei

Hinsicht den Charakter einer Pionierarbeit tragende Aufgabe übernommen, auf der Grundlage der ungarischen Halbleiterproduktion geeignete Gleichrichteranlagen für die serienweise Herstellung von Lokomotiven zu entwickeln.

Der im Institut entwickelte und durch mehrere Patente geschützte elektronische Schutz übertrifft hinsichtlich seiner Ansprechgeschwindigkeit, Zuverlässigkeit, Lebensdauer und des Automatisierungsgrades seines Eingriffes die gleichen Kennwerte der bekannten ausländischen Erzeugnisse und erhöht den Nutzungsgrad sowie die Lebenserwartung der Hochleistungssiliziumdioden in weitgehendem Masse.

Der Aufsatz gibt ausser der technischen Beschreibung der entwickelten und z. Zt. bereits serienweise hergestellten Einrichtungen auch die bei den Messungen und bei dem versuchsweisen Traktionsbetrieb erworbenen Erfahrungen sowie die weiteren Entwicklungsmöglichkeiten bekannt.

RECTIFIERS AND ELECTRONIC PROTECTION SYSTEM DEVELOPED IN HUNGARY FOR THE 3000 HP SILICON RECTIFIER LOCOMOTIVE

J. Hadas

Summary

Independently from the locomotive licence purchased from a pool of West-European companies, the Research Institute of the Electric Industry undertook the task — considered to be of a pioneering nature in a number of respects — of developing the rectifier equipment based on the domestic production of semiconductor cells, suitable for the serial production of locomotives for the Hungarian State Railways.

The electronic protection system worked out in the Institute and covered by several patents surpasses considerably the properties of known foreign types in a number of respects, such as working speed, reliability, life and automation of the operation, increases essentially the degree of utilization of high-power silicon diodes and their expected life.

In addition to the technical characteristics of the equipment already developed and produced at present in series, the paper also deals with the experience connected with the measurements and the experimental traction operation as well as the further possibilities of the development.

Bevezetés

Vitathatatlan, hogy korunkban a különféle villamos rendszerek ragadták magukhoz a vezető szerepet a korszerű nagyvasúti vontatástechnika területén. Különösen, ha nemcsak a külső áramforrásból táplált vontatójárműveket számítjuk ide, hanem azokat is, ahol az áramforrás — pl. dieselmotor és generátor — magán a járművön kerül elhelyezésre. Az utóbbiakkal nem számolva — és az egész mozdonyt csupán egyetlen energiaátalakító elemnek tekintve a rendszertervezés két legalapvetőbb szempontja a betáplált villamos energia és a kivett mechanikai energia jellemzőinek optimális megválasztása. A mozdonyok, mint energiaátalakító elemnek az előzők-től nem függő, egyéb adatai csak ezek után kerülhetnek megvizsgálásra.

Az első szempont vonatkozásában az elmúlt évtizedek — Kandó Kálmán messzetekintő elgondolását igazolva — egyértelmű választ adtak. A korszerű nagyvasúti villamosvasútak területén szerte a világon mind nagyobb területet hódít az ipari frekvenciájú, egyfázisú váltakozóáramú táplálási rendszer, amelynek felülmúlhatatlan előnyét a váltakozóáramok egyszerű átalakíthatóságán és számtalan más kedvező tulajdonságán kívül az is biztosíthatja, hogy előnyösen csatlakozik az országokat átszövő, hasonló frekvenciájú távvezeték-rendszerekhez. E szempont tekintetében tehát a jövő útjait ma már kellő biztonsággal felbecsülhetjük.

A második fő szempont vonatkozásában a követelményeket elsődlegesen a tápadási viszonyok, illetve a vonóerő—sebesség-jelleggörbe szabják meg. Ezek a vontatómotoroktól meghatározott nyomaték—fordulatszám-jelleggörbéket kívánják meg. Nem hanyagolható el a könnyű szabályozhatóság feltétele sem, a vasútzemre jellemző igen tág szabályozási tartományban. E kívánalmaknak közismerten a soros egyenáramú motorok felelnek meg leginkább, közéjük sorolva hullámos áramú típusokat is.

Az előző két alapvető szempont optimális megválasztása tehát olyan vontatójárművet kíván, ahol az energiát ipari frekvenciájú váltakozóáram formájában tápláljuk be, a vontatáshoz szükséges mechanikai energiát pedig soros egyenáramú motor szolgáltatja. Mindezek meghatározzák az energiaátalakítás legcélszerűbb módját: a járművön az ipari frekvenciájú váltakozóáramot alkalmas feszültségű egyenárammá kell alakítani, s a berendezést még ki kell egészíteni a megfelelő szabályozást biztosító szervekkel. Ezeket az elveket felismerve konstruálták meg az egyenirányítást gépcsoport útján megvalósítható Ward—Leonard-rendszerű mozdonyokat, amelyeket az elmúlt évig hazánkban is sorozatban gyártott a Ganz Villamosági Művek. A megvalósítás egy másik útját vezérelt higanykatódos egyenirányítók alkalmazása jellemezte. E téren a francia vasútvillamosítás ért el jelentős eredményeket, de az ötvenes években a VKI is tervezett egy 600 LE-s, fémignitron-egyenirányító nagyvasúti motorkocsit, amely a modellkísérletekig jutott el.

Az energiaátalakító berendezéseknek számtalan változata lehet elvben alkalmas az előzőekben kitűzött célok elérésére. A korábban megvalósított egyenirányító rendszerek nem hoztak döntő előnyöket a többi rendszerhez viszonyítva, nem volt kedvező ugyanis az egyenirányítás — és esetleg azzal együtt tekintve a szabályozás — technikai megvalósítása. Amikor azonban alig egy évtizede a nagyteljesítményű félvezető diódák sorozatgyártása megindult, a konstruktőrök megkapták ezt az eddig hiányzó láncszemet is. A következő években a világ több, iparilag fejlett országában szinte egymással egyidőben indult meg a félvezető egyenirányító nagyvasúti vontatójárművek gyors fejlesztése, igazolva a célkitűzések helyességét és korszerűségét.

Hazánkban a döntő elhatározás 1963-ban született meg. Az adottságok igen kedvezők voltak. Nevezetesen: villamosított nagyvasúti vonalaink táplálása kezdettől fogva 50 Hz-es rendszerű volt; a villamos mozdonyok gyártásában hazánk jelentős hagyományokkal és tapasztalatokkal rendelkezett; már folyt a nagyteljesítményű szilíciumdiódák sorozatgyártása az Anód Áramirányítógyárban, a VKI Félvezető Laboratóriumának fejlesztő munkája nyomán. Mindezekhez hozzá kell számítanunk, hogy a MÁV évek óta mozdonyhiánnyal küszködött és nem rendelkezett gyors, nagyteljesítményű, korszerű mozdonytípussal. Ugyanakkor a gazdasági analízis kimutatta, hogy nagyforgalmú vonalainkon a villamos rendszer gazdaságosabb a különféle dieselrendszereknél.

A 1963-as döntés — mai szemmel nézve is helyesen — a szilícium-egyenirányító mozdonyok programját a következőkben határozta meg:

- 7 db mozdony megvásárlása az Arbeitsgemeinschaft für Planung und Durchführung von 50 Hz-Bahnelektrifizierungen nyugateurópai munkaközösségtől;
- a hazai gyártás megindítása a munkaközösségtől vásárolt licencia alapján és importból beszerzett főbb berendezések felhasználásával;
- a hazai gyártás kiszélesítése belföldi gyártású, célszerűen itt kifejlesztett berendezések, készülékek, elemek felhasználásával.

A VKI-ban végzett kutatómunkák a harmadik fázishoz kapcsolódnak, s ennek során kifejlesztettük a fő- és segédüzemi egyenirányítókat, az ezek védelmét szolgáló elektronikus zárlatvédelmi berendezéseket, túlfeszültség-levezetőket. Kifejlesztett berendezéseinket a magyar ipar sorozatban gyártja s azokat a Ganz Villamossági Művek — Ganz MÁVAG a kooperációban készülő mozdonyokon mindinkább növekvő számban alkalmazza.

2. A segédüzemi egyenirányító

A mozdony nagyteljesítményű szellőzőinek, kompresszorának stb. hajtómotorjait a segédüzemi egyenirányító látja el 235 V névleges feszültségű, simítatlan hullámos egyenárammal. Az összes egyidejű terhelés statikus maximuma 115 kW. A vasútüzem jellegéből eredően a váltakozóáramú főkapcsokra betáplált feszültség —30...+10% között ingadozhat. Mivel a terhelő áramkör nagyteljesítményű motorokat tartalmaz, a mozdonyon relés sorrendi vezérlés gondoskodik arról, hogy e motorok ne egyszerre, hanem meghatározott sorrendben induljanak, mentesítve ezzel a segédüzemi egyenirányítót az indítási áramok szuperpozíciójából kialakuló túlterheléstől. Méréseink szerint az ily módon csökkentett áram-maximum 570 A, amely 0,6 s alatt megy át a 430 A-es állandósult értékbe.

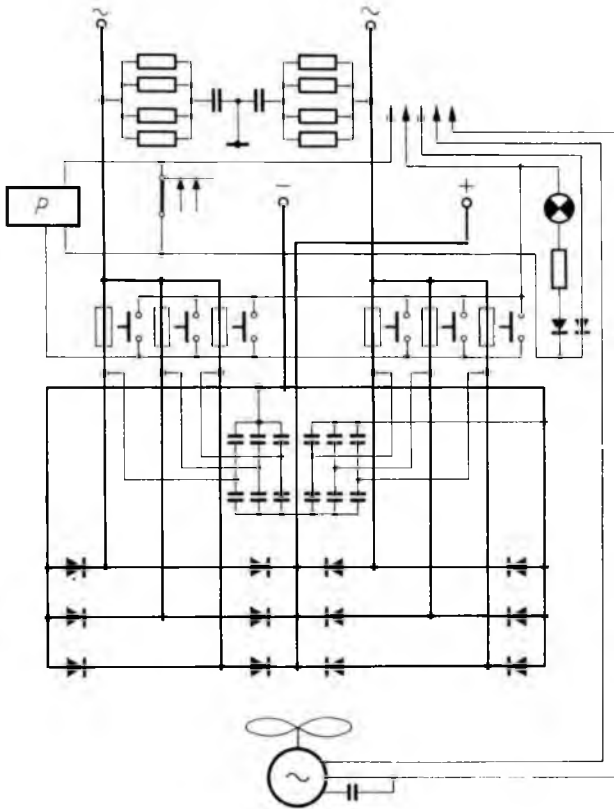
A munkaközösség által eredetileg szállított, Siemens gyártmányú, SSW/AM típusú segédüzemi egyenirányító 8 db L 0360 típusú szilíciumdiódát tartalmaz, amelyek két, párhuzamosan kötött hídban vannak elhelyezve, egyenáramú oldalon hídáganként 350 A/380 V-os gyorskioldású olvadóbiztosítóval biztosítva.

A hazai változatot ettől eltérő módon alakítottuk ki annak a típus-hibalehetőségnek az elkerülésére, amely miatt a mozdony teljesen üzemképtelenné válhat. Egy dióda meghibásodása esetén ugyanis az egyik parallel híd a biztosítók kioldása révén a terhelésből azonnal kiesik, a másik épen maradó híd viszont egymagában a terhelést vinni már nem tudja, biztosítói a túlterhelés hatására ugyancsak kiolvadnak, s így a mozdony segédüzem nélkül maradván teljesen üzemképtelenné válik.

A VKI-típusú segédüzemi egyenirányítóban 3 párhuzamos hidat helyeztünk el, összesen 12 db 150 SA V diódával; a hidak váltakozóáramú táppontjait külön-külön biztosítottuk (6-1. ábra). A segédüzemi egyenirányító üzembiztonsága ily módon jelentősen megnövekedett, mert egy dióda meghibásodása csupán az egyik párhuzamos híd kieséséhez vezet, míg a másik két híd a teljes segédüzemi terhelést tartósan képes elviselni. Természetesen az ilyen 2/3 teljesítményű üzemet hosszabb ideig nem célszerű fenntartani, mert egy esetleges újabb diódahiba a mozdony teljes üzemképtelenségéhez vezetne. Erre való tekintettel a francia Ferraz cég különleges félvezető biztosítóit alkalmaztuk, melyek kioldásukkor egy mikrokapcsolón át segédáramkört zárnak. Mivel a feltételek szerint a Siemens és a magyar segédüzemi egyenirányítóknak egymással teljesen csereszabatosnak kellett lennie, újabb hibajelző áramkör nem állt rendelkezésünkre. A hibajelzést úgy oldottuk meg, hogy a segédüzemi egyenirányító szellőzés-kimaradásának jelzőáramkörébe — mely folyamatos fényű hibajelet ad — egy, az ábrán *P*-vel jelölt pislogót, lényegében egy tranzisztoros multivibrátort iktattunk be, amely biztosítóolvadás esetén szaggatott fényjelzést ad a mozdonyvezető informálására. *L* légáramjelfogó a hűtőlevegő kimaradása esetén folyamatos fényjelzést ad.

A készüléken végzett terhelési próbák az előzetes számításoknak megfelelő eredménnyel zárultak, a diódák bázistönk-hőmérséklete a környezethez képest teljes

terheléskor sem emelkedett $\Delta\vartheta = 30^\circ\text{C}$ fölé. A zárlati vizsgálatok során a névleges terheléssel előmelegített készüléken 4500 A-rel végeztünk ismételt próbát; a biztosítók 3 ms alatt olvadtak ki, a zárlati áram pedig újabb 6 ms alatt szakadt meg.



6-1. ábra. A KVS-700/235 típusú segédüzemi egyenirányító elvi kapcsolási vázlata

A készülékbe beépített teljesítménydiódákat túlfeszültségekkel szemben többszörösen védjük. Először a készüléken kívül elhelyezett, ugyancsak VKI-fejlesztésű, $300\text{ V}_{\text{eff}}$ névleges feszültségű túlfeszültség-levezetővel, melynek megszólalási feszültsége $1000\text{ V}_{\text{cs}}$ alatti értékű. Másodszor a szekrény váltakozóáramú főkapcsaira csatlakozó RC-elemes, kombinált szűrővel; végül az egyes teljesítménydiódákkal párhuzamosan kötött kondenzátorokkal. A kb. fél évig tartó vonali próbaüzem során a készülékbe jutó túlfeszültségeket regisztráltuk, s azok egyike sem lépte túl a diódákra megengedett értékhatárt.

A segédüzemi egyenirányítót a VBKM 8. sz. Világítástechnikai Gyára KVS-700/235 típusjellel sorozatban gyártja.

3. A főgyenirányító

A B'B' tengelyelrendezésű mozdony két, SW 7309 típusú hullámos áramú motorát egymástól független áramkörű főgyenirányítók táplálják, az áram hullámosságát 25—50%-ra csökkentő, 6 mH névleges induktivitású vasmagos fojtótekercseken át. A vontatómotor névleges feszültsége 1100 V, áramfelvétele állandó üzemen 1070 A, indításkor 1920 A. A vontatómotorok, illetve a főgyenirányítók egyenáramú áramkörében olyan selejtező szakaszoló van elhelyezve, amellyel a meghibásodott motor, vagy egyenirányító üzemen kívül helyezhető, s amely azt is lehetővé teszi, hogy az egyik egyenirányítóról két vontatómotort is táplálni lehessen. A főgyenirányítók méretezésekor ezt az utóbbi terhelési állapotot szintén figyelembe kellett venni.

A főgyenirányítók váltakozóáramú főkapcsai a főtranszformátor két független, 1,4 kV névleges feszültségű szekunder tekercsére csatlakoznak. A szekunder tekercsről levehető feszültség megengedett felső határa 1517 V, amelynek csúcsertékeire számítottuk a főgyenirányító maximális üzemfeszültség-igénybevételét. A váltakozó tápfeszültség azonban csak akkor érheti el ezt a felső értéket, ha meghibásodik a transzformátor fokozatkapcsolójához csatlakozó relés feszültségkorlátozó egység, amely kb. 1400 V szekunder feszültség elérésekor letiltja a fokozatkapcsolóval történő további feszültségnövelést. A mozdony menetszabályozása a főtranszformátor szekunder feszültségének változtatásával, a 32 fokozatú fokozatkapcsoló révén történik, ill. ezen túlmenően mezőgyengítéssel, a vontatómotor főpólusának négyfokozatú söntölésével.

A 3000 LE-s mozdonyokon ma három, egymástól eltérő típusú főgyenirányító található. A nyugati munkaközöségtől vásárolt 7 db mozdony főgyenirányítóiba gyorsszakaszolókat építettek be, amelyeket külső zárlat (pl. a vontatómotor kör-tüze) esetén tranzisztoros elektronikus védelem az árammentes félperiódusban kinyit s a zárlati áramot átlagosan 5...6 ms alatt, de 12 ms időtartamon belül mindenképpen megszünteti. Belső zárlat (diódazárlat) esetén a védelem a berendezést lekapcsolja, s a hiba kijavításáig a főgyenirányítót selejtezni kell. Ezt a rendszert nem eléggé kedvező üzemi tulajdonságai és fokozatos korszerűtlenedése miatt ma már nem gyártják. A jelenleg gyártás alatt álló két típus egyikét a Siemens, a másikat a VKI 21. Ipari Elektronika Osztálya fejlesztette ki, lényegében egy időszakban, de eltérő utakat választva.

A Siemens főgyenirányító egyfázisú hídkapcsolásban hídáganként 4 soros és 8 párhuzamos, L 0560 típusú diódát tartalmaz. A készülék külsőzárlat-védelme relés felépítésű, amely a mozdony BBC gyártmányú főmegszakítóját oldja ki. A kioldási idő eredetileg a 120 ms értéket meghaladhatta (az e területen végzett méréseink alapján). A hatásvázlat általunk javasolt megváltoztatása után a kioldási idő 60 ms-on belül marad. A belsőzárlat-védelem négyrétegű diódás, ill. relés rendszer, amely bármilyen diódazárlatnál a főtranszformátor fokozatkapcsolóját a 10. fokozatra járátja vissza. A mozdonyvezető ezt követően bizonyos határon belül növelheti a feszültséget, azonban ha eléri azt a fokozatot, amikor a hibás diódával soros ép diódákra jutó záróirányú feszültség meghaladná a megengedett határértéket, a védelmi berendezés a fokozatkapcsolót ismét visszahajtja a 10. fokozatra. A Siemens-rendszerű főgyenirányítót a vásárolt licencia alapján ma a Ganz Villamossági Művek gyártja, a Siemenstől vásárolt félvezetők és belsőzárlat-védelmi készülékalkatrészek felhasználásával.

A magyar főgyenirányító kifejlesztésére 1963 végén kapott megbízást Intézetünk. A kitűzött cél elsősorban az volt, hogy a hazai teljesítménydióda-gyártásra alapozva olyan főgyenirányítót konstruáljunk, amely villamos jellemzői és csatla-

kozási méretei tekintetében megegyező, ill. csereszabatos a nyugati típussal. A kísérleti berendezés 1964 végén került próbaterembe, s a rendkívül szigorú követelményeket támasztó próbák után 1965 tavaszán beszereltettük a V43-1012 pályaszámú kísérleti mozdonyba, ahol újabb és még fokozottabb követelményeknek felelt meg a vonali próbák során. Így többször megismételt egyenáramú kapcsolatlaknak vetettük alá, villamosított vonalaink legnagyobb zárlati teljesítményű pontján, az országos távvezetésekre csatlakozó hatvani alállomás gyűjtősínjére közvetlenül rákapcsolva. Az egyenirányító a rajta átfolyó 15 kA-es zárlati áramot károsodás nélkül elviselte. Azoknak a túlfeszültségeknek az analizésére, amelyek az egyenirányítók félvezető elemeire veszélyt jelenthetnek, számtalan regisztráló mérést végeztünk a kísérleti vonali üzemeltetés első fél éve alatt. A zárlati és a túlfeszültségmérések kedvező eredményei alapján mind a soros, mind a párhuzamos diódák beépített darabszámát csökkenteni tudtuk. A próbaüzem lefolytatásával párhuzamosan tovább folytattuk a fejlesztést, kidolgoztunk két újabb, az előzőknél lényegesen többet nyújtó és egyszerűbb elektronikus zárlatvédelmi egységet és a szellőző részbeni módosításával sikerült a lényegesen megnövekedett igényeket úgy megoldani, hogy a csereszabatoság feltételét biztosítva az új típusú szellőző az egyenirányítók korábbi típusait is ki tudja szolgálni.

Az előzők során röviden ismertetett kísérleti főegyenirányítón ellenőrizni tudtuk elméleti következtetéseink helyességét és reálisabban tudtuk meghatározni a vasútüzem esetében különleges fontossággal bíró biztonsági tényezőket. Lényegében tehát elegendő információval rendelkezünk ahhoz, hogy a sorozat-típus főegyenirányító optimális kialakítást nyerjen. A készülék a 6-2. ábrán látható, leemelt első borítólemezekkel, míg kapcsolási rajzát a 6-3. ábra mutatja.

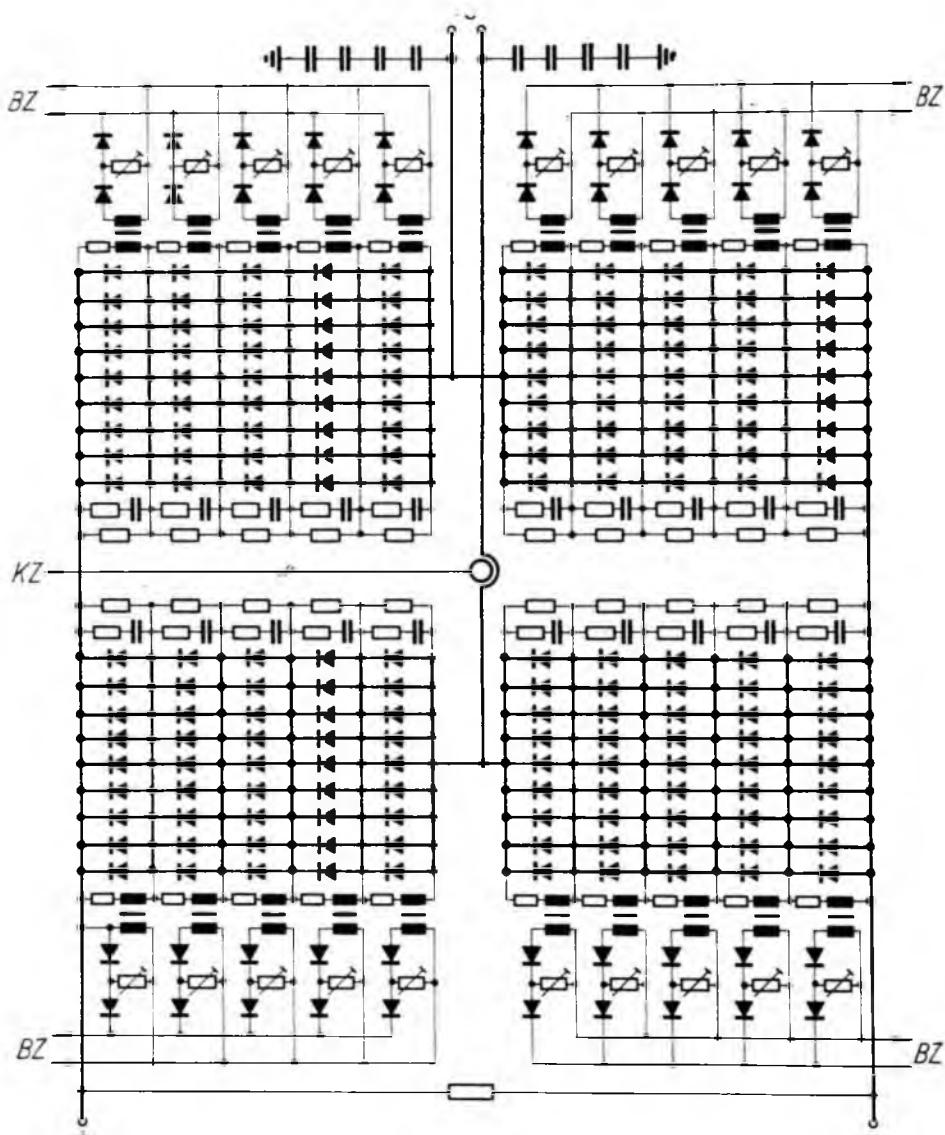
Az Anód Áramirányítógyárban KVF-2080/1440 típusjel alatt sorozatban gyártott főegyenirányító mechanikai felépítése az előző típusokkal lényegében megegyező. A szekrény felső részében látható a fiókszerűen kihúzható és cserélhető EZV-3 típusú elektronikus zárlati védelem egysége. Mögötte kerültek elhelyezésre a belső-zárlat-érzékelők, párhuzamos diódacsoportonként egy-egy db. A szekrény felül nyitott, innen indul a hűtőcsatorna, amely az üzemeltetéshez szükséges levegőt a géptérből szívja be. A középső részben a 150 SA V típusú diódák láthatók, amelyek a hűtőcsatornába benyúló ezüstözött vörösréz hűtőradiátorokra vannak felerősítve. A 6-2. ábrán látható diódamező két hidágot képvisel, amelyeket a középső, váltakozóáramú sín határol el egymástól. A másik két hidág az egyenirányító túlsó oldalán, szimmetrikusan helyezkedik el. Az alsó tér lényegében a szellőző elszívó tere, itt található az összekötő sínek csatlakozásai, az elektronikus külsőzárlat-védelem érzékelő áramváltója, az alapterhelő ellenállások.

Amint az a kapcsolási rajzból kitűnik, az egyfázisú hídkapcsolású egyenirányító hídáganként 5 soros és 9 párhuzamos diódát tartalmaz. Ez egy-egy taggal több, mint a



6-2. ábra. A KVF-2080/1440 típusú főegyenirányító, leemelt első borítólemezekkel

Siemens készüléké és abból ered, hogy az itt alkalmazott hazai diódáink mind áramterhelhetőség, mind záróirányú feszültség-igénybevétel szempontjából a külföldinél kisebbek. Nem felesleges megemlíteni, hogy a darabszám-eltérés kicsiny volta az EZV-3 elektronika működési rendszeréből következik. Számításainkkal egyező méréseink ugyanis Siemens-féle védelem alkalmazása esetén a készülékben legalább 6 soros és 11 párhuzamos hazai diódát kellett volna beépíteni, amely viszont a méretek és a hűtőlevegő-igény olyan mértékű növekedésére vezetett volna, amely a készülék-típusok cserélhetőségét meggátolta volna.

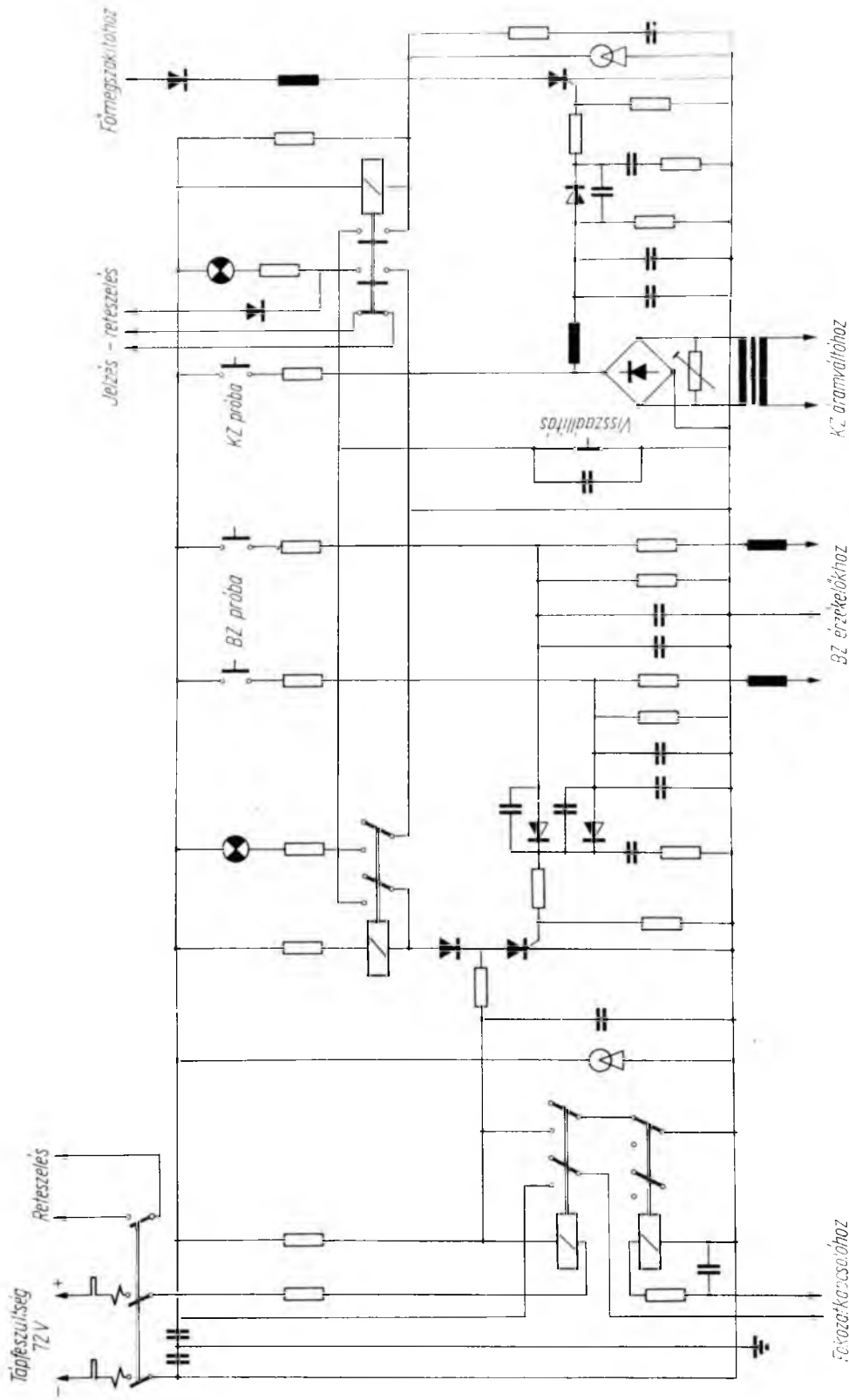


6-3. ábra. A főgyenirányító elvi kapcsolási vázlata

Mint ismeretes, a félvezető egyenirányító elemek túlfeszültségekkel szemben igen érzékenyek. A túlfeszültségeknek a félvezető elemekre jutását biztonsággal meg kell gátolni. Míg a légköri eredetű túlfeszültségek ellen az áramszedőre és a főtranszformátorra kapcsolt primeroldali túlfeszültség-levezetők védik a berendezést, addig a kapcsolási túlfeszültségek, illetve kapacitív úton a szekunder körbe jutó túlfeszültségek vágását a főegyenirányító váltakozóáramú főkapcsaira csatlakozó 1,4 kV névleges feszültségű túlfeszültség-levezető végzi. Mindhárom típusú levezetőt és a segédüzemi egyenirányító szekunder túlfeszültség-levezetőjét VKI dokumentáció alapján a Ganz KK gyártja. Ugyancsak túlfeszültség-védelmi célokat szolgál a váltakozóáramú főkapcsok, ill. a föld közé kötött kondenzátorcsoport. A túlfeszültség elleni védelem hatásos eszközei a párhuzamos diódacsoportokra csatolt RC-elemes csillapító tagok, amelyek az előzőkön túlmenően az egyenirányító kommutációs eredetű periodikus túlfeszültségeit is csökkentik. A fenti védelmi rendszer jó összhatását igazolják vonali regisztráló méréseink — amelyeket részben zivataros időben végeztünk —, ill. a megszólalásra ellenőrzött túlfeszültség-levezetők. A készülékbe jutó túlfeszültség nagysága a pillanatnyi üzemi feszültség csúcscértékére vonatkoztatva nem lépte túl a 148%-ot.

A 6-3. ábrán *BZ*-vel jelölt belsőzárlat-érzékelők is tulajdonképpen túlfeszültség esetén indítják meg az EZV-3 útján a beavatkozó szervet, a főtranszformátor fokozatkapcsolóját. A belsőzárlat-érzékelők kimenő jele a hozzá tartozó párhuzamos diódacsoportokra jutó záróirányú feszültséggel arányos, és ezek a jelek „VAGY” kapuzással jutnak az EZV-3 megfelelő bemenetén át a négyrétgű diódás érzékelő-összehasonlító szervre, amely meghatározott szinten gyűjt. Ez a szint gyakorlatilag hőmérsékletfüggetlen. A belsőzárlat-védelmi elektronika két bemenettel rendelkezik (6-4.ábra), a pozitív, ill. a negatív félperiódusban üzemelő teljesítménydiódákról levett jelek *t_i* nem összegezhetőek. A bemenetek időállandóját úgy választottuk meg, hogy rövid túlfeszültség-impulzusok működtetést ne válthassanak ki. A belsőzárlat-védelem hatáslánca zárt, és működési elve röviden a következő. Ha valamelyik hídágban az egyik dióda átüt és zárlatossá válik, akkor a záróirányú félperiódus feszültsége nem 5, hanem 4 soros diódacsoport között oszlik meg. A záróirányú feszültség egy diódára jutó értéke a fokozatkapcsoló felső helyzetében túllépheti a megengedett értéket, amely a diódák láncreakciószerű meghibásodását, ill. kapocszárlatot idézhet elő. Ilyen túlfeszültség fellépése esetén az EZV-3 a fokozatkapcsolót mindaddig lép-teti lefelé — minden lépés után ismételt ellenőrizve a túlfeszültség nagyságát —, míg az egy diódára jutó záróirányú feszültség a névleges alá nem csökken. Az ismertett feladatot négyrétgű diódás—tirisztoros rendszerrel oldottuk meg, a beavatkozó szervvel ez relés kapcsolatban áll. Az új rendszer a mozdony üzemi tulajdonságait is előnyösen befolyásolja és megkíméli a mozdonyvezetőt az időt és a figyelmet igénylő felesleges kapcsolásoktól.

A félvezető egyenirányítók a túlfeszültségekhez hasonlóan a túláramokkal szemben is érzékenyebbek, mint a megszokott „klasszikus” egyenirányítók, amelyek közé pl. a higanykatódos típusok tartoznak. Kis méretük, tömegük miatt hőkapacitásuk igen kicsi, s ha az egyenirányítást végző p-n réteg hőmérséklete a megengedett érték fölé emelkedik, a cella tönkremegy. Mindezek felhívják a figyelmet a hatékony hűtés fontosságára, a hűtési lánc elemeinek minimális hőellenállást eredményező célszerű megválasztására. A magyar főegyenirányító hűtési rendszere sikeresnek minősíthető. A 180 db diódaradiátort 1,6 m³/s értékű áramló levegőmennyiséggel hűtjük, amelynek hatására a hőellenállás a levegőtől a dióda bázistönkjéig kb. 0,14 °C/W, míg a diódáé kb. 0,22 °C/W. A megfelelő hűtés egy adott terhelésnél a túlterhelhetőséget kedvezően befolyásolja, ezért külön túlterhelés-védelmet nem létesítettünk, e feladatot a vontatómotor meglévő, relés túláram-védelmére bíztuk. A hűtőlevegő kimaradását lég-



6-4. ábra. Az EZV-3 típusú elektronikus zárlatvédelmi berendezés elvi kapcsolási vázlatja

áram-jelfogó érzékeli s a megfelelő kapcsolók működtetésével a terhelő áramkört bontja.

A zárlatokból eredő túláramok ellen viszont a korábbi megoldásoktól eltérő, elektronikus külsőzárlat-védelmi rendszert alakítottunk ki. Érzékelője az az áramváltó, amelyet a kapcsolási rajzon a váltakozóáramú sinbe beépítve láthatunk. A sinen folyó áram nagyságával arányos jel az EZV-3 illesztő áramváltóján át egy szintállító potenciométerre jut, majd az összehasonlító szervre, amely egy négyrétegű dióda. Ha tehát külső zárlat (pl. a vontatómotor körtüze) esetén a főgyenirányító áramerőssége a zárlati áramkör által meghatározott módon növekedni kezd, az előre beállított jelnagyságnál a négyrétegű dióda gyújt. A négyrétegű dióda jelet ad egy tirisztor gyűjtőelektródjára, a tirisztor vezetni kezd és zárja a mozdony BBC-típusú főmegszakítója munkaáramú kioldótekercsének áramkörét. A működtetés eddig a pontig gyakorlatilag időkésésmentes. A főmegszakító aránylag gyorsműködésű légmegszakító, amely az általunk alkalmazott kioldási mód esetén 35 ms-on belüli önidővel rendelkezik, a kioldási feltételek megengedett legkedvezőtlenebb egybeesése mellett. A kioldási idő tehát gyakorlatilag fele a módosított Siemens-rendszerének. Ahhoz, hogy a teljes lekapcsolási időt megkapjuk, természetesen mindkét rendszer önidejéhez az ivoltási időt is hozzá kell adni, amely a zárlatkor éppen beállított kapcsolási helyzettől, a táplálási viszonyoktól függően 5...15 ms lehet. Mint már említettük, a lekapcsolási idők rövidítése (különleges gyors-zakaszoló alkalmazása nélkül) nemcsak a védelmi funkció tökéletesebbé tételét szolgálta, hanem megtakarítást a beépítésre kerülő szilíciumdiódák darabszámában.

A főgyenirányító itt ismertetett belső- és külsőzárlat-védelme természetesen ki van egészítve a védelem saját meghibásodását, illetve hibás működtetését előidéző zavaró jelek és túlfeszültségek hatékony kiszűrését szolgáló egyéb szervekkel, továbbá jelző áramkörökkel, amelyek a mozdonyvezetőt informálják az esetleg bekövetkező meghibásodásokról. A készülékre szerelt nyomógombok révén mesterséges hibajelet lehet adni az EZV-3 bemeneteire, amely lehetőséget ad a készülék működésének gyors, helyszíni ellenőrzésére.

Az egyenirányító védelmének korszerűségét két szabadalmunk is igazolja, amelyek már a mozdonygyenirányítók vezérelt félvezető elemekkel való megvalósítása esetére is előre mutatnak.

4. Technológia és gyártás

A vasútüzem szigorú követelményeivel e gyártmányok kapcsán ismerkedett meg közelebbről az elektronikus berendezéseket gyártó ipar s ez jó néhány nehézséget okozott. A klímát a szélsőséges hőmérséklet határok jellemzik, amelyekre tekintettel az elektronikus egységek típuspróbáját —40 és +50 °C hőmérsékleten végeztük. A nagyon szennyezett levegő (por, vízgőz, csapadék, kén-gázok) miatt — amely nem utolsósorban a gőzmozdonyokkal kevert vonali üzem következménye — készülékeinket teljesen zárt tokozásba kellett helyezni. A mechanikai rezgések miatt a típuspróbán 3g gyorsulással végeztünk rázáspróbát, az IEC előírások szerint.

A felhasználható elemek hazai választéka a szigorú követelmények és túrések miatt szűknek bizonyult. Vonatkozik ez elsősorban a kondenzátorokra, ahol hazai gyártásunk a vasúti célokat szinte képtelen kiszolgálni megfelelő minőségű és megbízhatóságú típusokkal.

Még mindig nem oldódott meg a hazai vasúti szilíciumdiódák szükséges mennyiségben való előállításának problémája, amelynek következtében a hazai főgyenirányító-gyártás volumene nem elégti ki a mozdonygyártás igényeit. Ez végső soron

ahhoz vezet, hogy a hiányok pótlására a Ganz VM továbbra is gyártani kényszerül a licencia-egyenirányítót, amelynek nyugati deviza-igénye közismerten magas.

Mivel a vasútfejlesztés közelebbi és távlati tervei az ilyen igények rohamos növekedésére engednek következtetni, szükséges, hogy iparunk a megfelelő következtetéseket mielőbb levonja.

5. A fejlesztés várható útjai

Habár a 3000 LE-s mozdony és annak VKI-ban kifejlesztett berendezései a hasonló kategóriájú mozdonyok között a világszínvonalat képviselik, számolnunk kell az energia-elektronika ipar igen gyors fejlődésére és abból eredően gyártmányaink fokozatos korszerűtlenedésére. Ezek az események arra figyelmeztetik a fejlesztőket, hogy a jó piaccal rendelkező gyártmányok fejlesztését rövid időre sem szabad félbe hagyni, és szemmel kell tartani annak további, várható útjait.

Elsőként a jelenleg vezéreltlen diódákból felépített főüzemi egyenirányító átalakítása jöhet szóba, a világpiacon egyre alacsonyabb áron beszerezhető vezérelt szilíciumdiódák alkalmazásával. Ez a rendszer lehetővé tenné a kényes és drága, külföldről vásárolt fokozatkapcsoló elhagyását, s annak állásos szabályozásával szemben folyamatos szabályozási lehetőséget biztosítana, amely a mozdony tapadási tulajdonságait fokozni tudná.

További lépést jelentene a vezérelt diódákból megépíthető, a fékezési energia villamos rekuperálását is megvalósító főegyenirányítók kifejlesztése, amelynek jelentősége a nagyobb teljesítményű és sebességű mozdonyoknál fokozott.

A nagyobb távlatot olyan speciális félvezetős átalakítók jellemzik, amelyek kiküszöbölik a jelenlegi egyenirányítós mozdonyok leggyengébb és legtöbb gondot okozó készülékelemét, a vonatatómotorok kommutátorát.

Az első úton a Ganz VM tett kezdeményező lépéseket vezérelt diódás főegyenirányító megterveztetésével, amely megépítése után az egyik 3000 LE-s mozdonyon kerül majd próbaüzembe.

Irodalom

- [1] *Dr. Urbanek J.*: Félvezetők alkalmazása az erősáramú iparban. Elektrotechnika, 1959. 209—239. old.
- [2] *Molnár I.*: Kennwerte der Halbleiter-Leistungsgleichrichter und deren Messung. Sbornik ref. ze semináre o mereni a typovani polovodicovych ventilu. Praha, 1962. sept.
- [3] *Salánki T.*: Néhány megjegyzés nagy felületű p-n átmenetek előállításával kapcsolatban. Elektrotechnika, 1964. 6. sz.
- [4] *Dr. Urbanek J.*: Beszámoló a VKI 15 évéről. Elektrotechnika, 1964. 11—12. sz.
- [5] *Dr. Gádor L.*: A VKI Villamos Laboratóriumának 16 éves munkássága. Elektrotechnika, 1964. 11—12. sz.
- [6] *Kovács K.*: Szilícium egyenirányítós villamos mozdony a MÁV részére. Ganz Villamossági Közlemények, 1965. 2. sz.
- [7] *Dr. Kövessi F.*: Félvezetők alkalmazása a Ganz VM 3000 LE-s egyenirányítós mozdonyán és az alkalmazás távlatai. Ganz Villamossági Közlemények, 1966. 4. sz.
- [8] *Berényi L.*: Beváltak az új, magyar gyártmányú, nagyteljesítményű, vasúti szilíciumegyenirányítók. Elektrotechnika, 1965. 10. sz.
- [9] *Dr. Lukács J.* — *Bogoly I.* — *Horváth F.* — *Martin R.*: Szikraközök és túlfeszültségvezetők kifejlesztése. Elektrotechnika, 1965. 11. sz.
- [10] *Kovács K.*: A MÁV 3000 LE-s szilíciumegyenirányítós villamos mozdonya. Ganz Villamossági Közlemények, 1966. 4. sz.
- [11] Szilícium teljesítmény egyenirányítók. A VBKM 2. sz. Anód Áramirányítógyárának katalógusa. Bp., 1966.

7.

A diósgyőri blokkosor előválasztásos hengerállításának pozíciószabályozása

MLINKÓ TAMÁS

ÖSSZEFOGLALÁS

Az 1964-ben üzembehelyezett diósgyőri blokkosor a fél évszázaddal előbb létesült régi sor helyén épült fel. Az új berendezés termelékenységének növelése érdekében elsődleges szempont volt, hogy a hengereleési időt a manipulációs tevékenységek minimalisra való leszűkítése révén csökkentsük. Ezt a célt szolgálja a hengerállítás előválasztásos megoldása, ami lehetővé teszi a két szűrés közti hengerállítási manipulációs idő nagymértékű csökkentését. A hengerállítás villamos hajtása olyan szabályozott Ward—Leonard-hajtás, amely követő szabályozással van kiegészítve, hogy a henger önműködően az előre kiválasztott értékre beállítsa.

ПОЗИЦИОННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ВАЛКОВ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ВЫБОРОМ ДИОШДЬЕРСКОГО БЛЮМИНГА

T. Млинко

Резюме

Диошдьерский блюминг, введенный в эксплуатацию в 1964 году, был построен на месте старого, построенного полвека тому назад блюминга. Для повышения производительности нового блюминга в первую очередь исходили из того, что время прокатки за счет сокращения манипуляционной деятельности необходимо довести до минимума. Для этого служит решение установки валков с предварительным выбором, которая позволит значительно сократить манипуляционное время на установку валков между двумя пропускками.

Электрический привод установки валков представляет собой регулируемый привод системы Вард-Леонарда, укомплектованный системой последующего регулирования, предназначенный для автоматической установки валков на предварительно выбранный калибр.

VORWAHLREGELUNG DER WALZENVERSTELLUNG BEI DER BLOCKSTRASSE IM WALZWERK DIÓSGYŐR

T. Mlinkó

Zusammenfassung

Die in 1964 in Betrieb genommene Blockstrasse in Diósgyőr wurde anstelle der vor einem halben Jahrhundert vorher errichteten Walzstrasse aufgebaut. Zwecks Erhöhung der Produktivität der neuen Anlage wurde zunächst grösster Wert auf die Verkürzung der Walzzeit durch Herabsetzen der Bedienungstätigkeiten auf das mögliche Mindestmass gelegt. Diesem Ziel dient auch die Einführung der Vorwahl der Walzwerkeinstellung, die eine weitgehende Herabsetzung der Walzstellzeiten zwischen 2 Abstichen ermöglicht.

Beim elektrischen Antrieb der Walzwerkeinstellung handelt es sich um einen geregelten Ward-Leonard-Antrieb, der durch eine Folgeregelung ergänzt, die Walzen automatisch auf den vorausgewählten Wert einstellt.

PRE-SELECTIVE POSITION CONTROL TO THE ROLL ADJUSTMENT OF THE BLOOMING MILL AT DIÓSGYÖR

T. Mlinkó

Summary

The blooming mill at the Diósgyőr plant commissioned in 1964 was built in place of an old mill established half a century ago. In order to increase the productivity of the equipment, a primary requirement to decrease the rolling time by reducing manipulation activities to the minimum. This objective was reached by the pre-selective control of the roll adjustment which considerably decreased the manipulation time for the roll screwdown between two consecutive passes.

The electric drive of the roll adjustment is a controlled Ward-Leonard drive supplemented by a follow-up control system to adjust the roll automatically to the pre-selected value.

Az 1964-ben üzembehelyezett egy millió t kapacitású diósgyőri blokkosor hengerállításának villamos hajtása szabályozott Ward—Leonard-hajtás. A hengerállítási gépészeti megoldása röviden a következő. A blokkosori hengerállvány tetején elhelyezett két 100 kW-os külső gerjesztésű egyenáramú motor villamosan sorba van kapcsolva, mechanikusan pedig kényszerkapcsolatban van egymással. A nehézüzemű motorok hajtóművön keresztül hatbekezdésű, nagy menetemelkedésű csigatengelyeket hajtának, amelyekhez belső menetű csigakerekek kapcsolódnak. A csigakerekek belsejében mozognak az állítóorsók, melyeket a felső hengerrel együtt 100 atm nyomással hidraulikus henger nyom felfelé. Az áttétel önzáró, a hajtómotorok tengelyén mechanikus fék nincs.

A hengerállítási villamos hajtásával szemben támasztott legfontosabb követelmény az, hogy tranzien্স üzemállapotban gyors legyen, mert üzemmódjának legnagyobb része indításból és fékezésből áll. A hajtás gyorsasága termelési érdek, mert az öntecs kihengerlési idejének jelentős része hengerállítási idő. Egy hattonnás öntecs kihengerlési ideje 12 szúrással 96 s, ebből 20 s a hengerállítási mozgási ideje, és ehhez jön még a kormányos manipulációjának az időszükséglete, ami szúrásonként legkevesebb egy másodperc. A hajtás szabályozásának elsődleges feladata tehát az, hogy a Ward—Leonard-gépek kommutációjára szempontjából megengedett maximális áramot biztosítsa tranzien্স üzemállapotban. A hajtás fordulatszámának pontos tartása másodlagos követelmény.

A szabályozásnak azt a részét, amelynek az a feladata, hogy a lehető legrövidebb indítási és fékezési idő eléréséhez szükséges állandó indítási és fékezési áramot biztosítsa, a 7-1. ábra szaggatott vonallal bekeretezett része tartalmazza.

A két hajtómotorhoz két sorbakapcsolt generátor és két, teljesen azonos felépítésű szabályozó tartozik. A 7-1. ábra említett része csak az egyik szabályozókör hatásvázlata olyan módon értelmezve, mintha a hajtás egy olyan terhelési viszonyú motorral rendelkezne, mint a kétmotoros megoldás egyik hajtómotorja.

A szabályozás két főrészből, feszültségszabályozásból és áramkorlátozásból áll. A G generátort az A amplitudin gerjeszti, a feszültségszabályozó és áramkorlátozó az amplitudin gerjesztőtekercsein keresztül megfelelő értelemben avatkozik be.

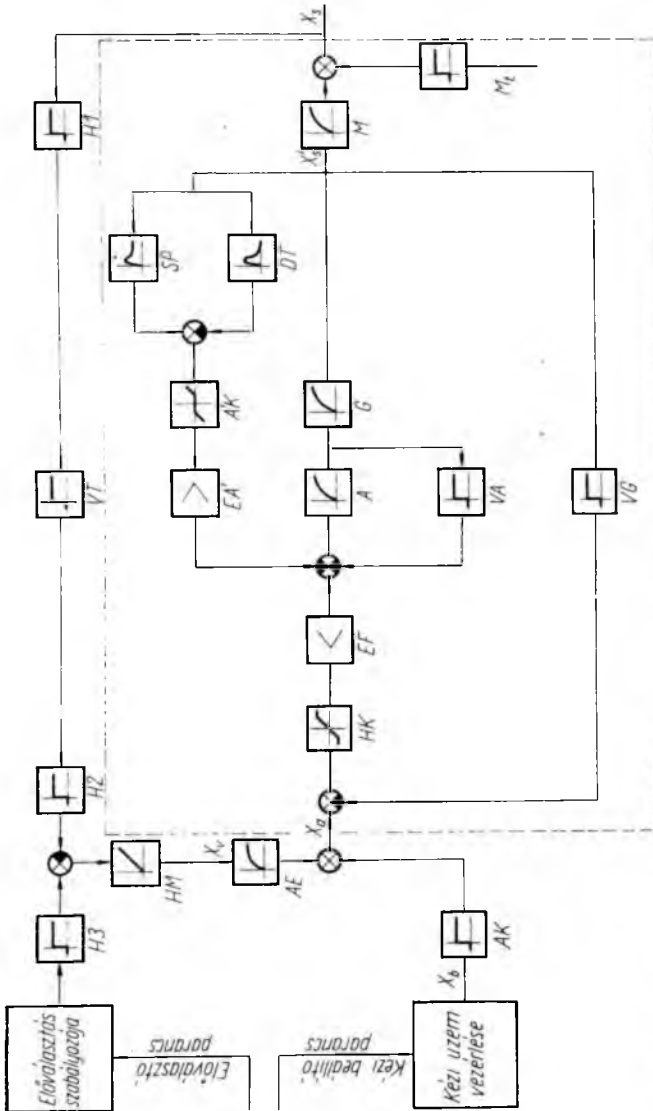
A feszültségszabályozó kör hibajelét a HK hibajelkorlátozó limitálja, az EF nagyteljesítményű, kapcsolóüzemű tranzisztoros erősítő erősíti.

Az amplitudin saját kapocsfeszültségéről negatívan vissza van csatolva. A szabályozókör külső visszavezetése az M motor kapocsfeszültségéről történik, és ilyen módon a szabályozás ezt igyekszik az előírt X_a alapjelnek megfelelő értékén tartani.

Az X_5 -nek megfelelő fordulatszámot a szabályozás nem érzékeli és ezért pontos fordulatszám-tartást a szabályozás nem biztosít. Ez utóbbira technológiailag nincs is szükség.

Az áramkorlátozás működtető jelét a Ward—Leonard-gépcsoport segédpólusairól vesszük le. A tranziens üzemállapotban fellépő jelentős induktív jelösszetevő kiküszöbölése érdekében differenciáló transzformátort alkalmaztunk (DT). Az eredő jel a terhelő árammal közelítőleg arányos és az AK küszöbkapcsoláson, valamint az EA erősítőn keresztül az amplitdint gerjeszti.

Az EA és az EF jelű erősítők teljesen azonos felépítésűek és a szabályozásban szereplő többi egységgel együtt csereszabatos kivitelűek a hengerállításon kívül a



7-1. ábra. Az előválasztásos hengerállítós pozíciószabályozásának hatásvázlata

blokksori és bugasori szabályozott egyenáramú hajtásokba beépített szabályozó-egységekkel. A szabályozókör részletes felépítésére és működésére vonatkozóan utalunk az adott szakirodalomra [1, 2, 4].

A fenti szabályozás állandó árammal történő indítást és fékezést biztosít. A valóságos áramalak, a generátor nagy gerjesztőköri időállandója és a feszültség-szabályozó kör véges forszírozása miatt, kialakulásának és megszűnésének tartományában eltér az ideális négyyszög alakú tranziens áramalaktól.

A továbbiakban megvizsgáljuk, hogy a hengerállítás irányításának milyen módjai lehetségesek, és mi tette szükségessé az előválasztásos megoldás előtérbe helyezését.

A hajtás működtetése történhet kézi vezérléssel, vagy előválasztással. Mindkét működtetés a kormányosállásról történik, ugyanazzal a kormánykarral. A két lehetséges üzemmódból a kormányos választja ki azt, amelyikkel dolgozni óhajt.

Kézi vezérlésű üzemmódban a kormányos kommutátoros parancsadót mozgat, amellyel a hengerállítási iránynak megfelelő előjelű, és a különböző állítási sebességnek megfelelő nagyságú alapjelet állít elő. A 7-1. ábra hatásvázlatába berajzoltuk a hengerállítás irányítási módjainak lehetőségeit is. A „Kézi üzemi vezérlése” jelű blokk tartalmazza mindazokat a mechanikus és villamos berendezéseket, amelyek a kezelő kormányos irányító mozdulatainak a hatására előállítják az AK alapjelképző szerv X_b beállító jelét. Az alapjelképző szerv kimenő jele az X_a alapjel.

A kézi vezérléssel történő hengerállítás ideje messze meghaladja az adott, relatív hengerrés változásához tartozó ideális áramalakkal történő hengerállítás időszükségletét. Ezt az alábbi adatok ismeretében azonnal beláthatjuk.

A hengerállítás maximális úthossza 800 mm, a hengerállítás névleges sebessége 93,6 mm/s. Egy hattonnás öntecs kihengerlésénél a legkisebb szúrás technológiai terv szerint 35 mm, a legnagyobb hengeremelési öntecs fordításánál 135 mm. A hengerállítás indítási úthossza a névleges sebesség eléréseig és az innen való fékezés úthossza a megállásig összesen 58,2 mm. (A 7-3. ábrának megfelelő áramalak figyelembevételével.)

Kis hengerállításnál tehát a hajtást nem szabad a névleges fordulatszámra felgyorsítani, mert ebben az esetben a szabályozás által biztosított fékárám nem tudja a kívánt helyzet eléréseig a hajtást megállítani. Mivel a hajtás gyorsítása és fékezése kézi vezérlésű üzemmódban a kormányosra van bízva, nincs biztosítva az optimális árammal történő fékezés, ill. a lehető legrövidebb hengerállítási idő elérése.

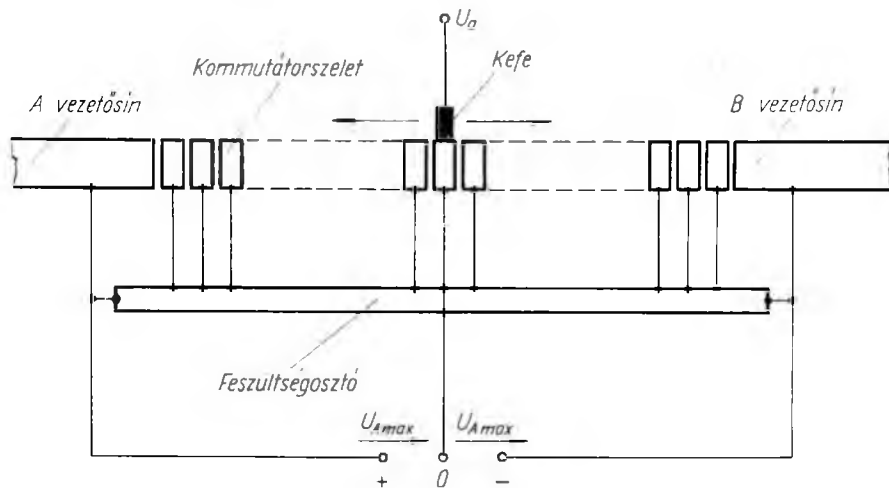
Az előválasztásos üzemmód feladata a különféle, hengerállítási időt növelő tényezők hatásainak kiküszöbölése, ill. nagymértékű csökkentése.

Felmerült annak a lehetősége is, hogy előválasztás helyett digitális programvezérlést alkalmazzunk. Erről végül mégis le kellett mondanunk, mert a tervezés időpontjában az ehhez szükséges digitális építőelemek belföldön nem álltak rendelkezésre, a hengermű rendkívül heterogén programja pedig a programvezérlést amúgyis igen bonyolult feladattá tenné. Az előválasztásos hengerállítás lényege a következő. A blokksori hajtásokat két kormányos kezeli. A sorvonómotort más berendezésekkel együtt az egyik, a hengerállítást a másik kormányos vezérli.

A hengerállítást kezelő kormányos az alatt az idő alatt, amíg a szúrás tart, előválasztással beállítja a technológiai tervben előírt következő szúrás nagyságát. A szúrás befejezésekor a sorvonómotort kezelő kormányos lábpedállal elindítja a hengerállítást, ami az előválasztásnak megfelelő értékre automatikusan beáll.

Az előválasztást végző kormányos szervomotorral állítja be a kívánt értéket. Az előválasztó berendezés villamos hajtása olyan Ward—Leonard-hajtás, amelynek a generátora amplitudin. A hajtás áramkorlátozással rendelkezik. Részletesen nem foglalkozunk az ismertetésével, csak megjegyezzük, hogy az előválasztó berendezés ro-

busztus méretei tették szükségessé beépítését. A 7-1. ábra „Előválasztás szabályozója” jelű blokkja a fenti szervohajtást magában foglalja. Az előválasztó berendezés szervomotorja a *H3* jelű hajtóművön keresztül a *HM* jelű előválasztó dob palástján keféét mozgat. Az előválasztó dobot a későbbiekben részletesen ismertetett helyzet-szabályozó berendezés *H2* hajtóműve forgatja olyan módon, hogy közben a palástján csúszo kefe és hajtása az előre kiválasztott értéknek megfelelő helyzetben áll.



7-2. ábra. Az előválasztó és helyzetmásoló dob kiterített vázlata

Az előválasztó és helyzetmásoló dobon a hengerállítás úthosszának kétszerese van leképezve olyan módon, hogy a 400 mm átmérőjű dob 2,5 fordulata felel meg a 800 mm teljes hengerállítási úthossznak. A dob axiális elmozdulását belső menetorsó teszi lehetővé. Az előválasztó és helyzetmásoló dob kiterített vázlatát a 7-2. ábra mutatja.

Az ábrán látható, hogy a dob palástján — a dob belsejében levő csavarmenetnek megfelelő menetemelkedéssel — olyan feszültségosztó kivezetések vannak elhelyezve, amelyekről a hengerállítás sebességét előíró alapjellet kefe veszi le. Ha a kefe a középső kommutátorszeleten van, akkor az alapjel zérus. A középső szelettől mindkét irányban 20—20 kommutátorszeletről, majd folyamatos vezetősínről ellentétes polaritású, előbb növekvő, majd a névleges hengerállítási sebességnek megfelelő állandó értékű alapjel vehető le. Amikor a hengerállítás megáll, olyan helyzetbe áll be, hogy a kefe a dob középső kommutátorszeletén áll.

Az előválasztó és helyzetmásoló dob belsejében elhelyezett feszültségosztó lánc tápfeszültségét (U_{Amax}) a kormányos által működtetett lábpedállal kiadott villamos parancs hatására működésbe lépő vezérlőrendszer kapcsolja be. A vezérlőrendszer érzékeli a hajtómotorok kapocsfeszültségét és ha ennek értéke minimálisra csökken, a megállás során a tápfeszültséget kikapcsolja.

Az előválasztásnak megfelelő, a 7-1. ábrán megjelölt X_v vezetőjel hatására az *AE* alapjeladó berendezés csak a lábpedál működtetése és a hajtás megállásának ideje között ad ki alapjelet.

Itt kívánjuk megjegyezni, hogy a 7-1. ábra hatásvázlatába berajzolt működtető parancsok vagylagosok, vagyis az X_a alapjelet vagy a kézi vezérlésnek megfelelő *AK*, vagy az előválasztásnak megfelelő *AE* szerv szolgáltatja.

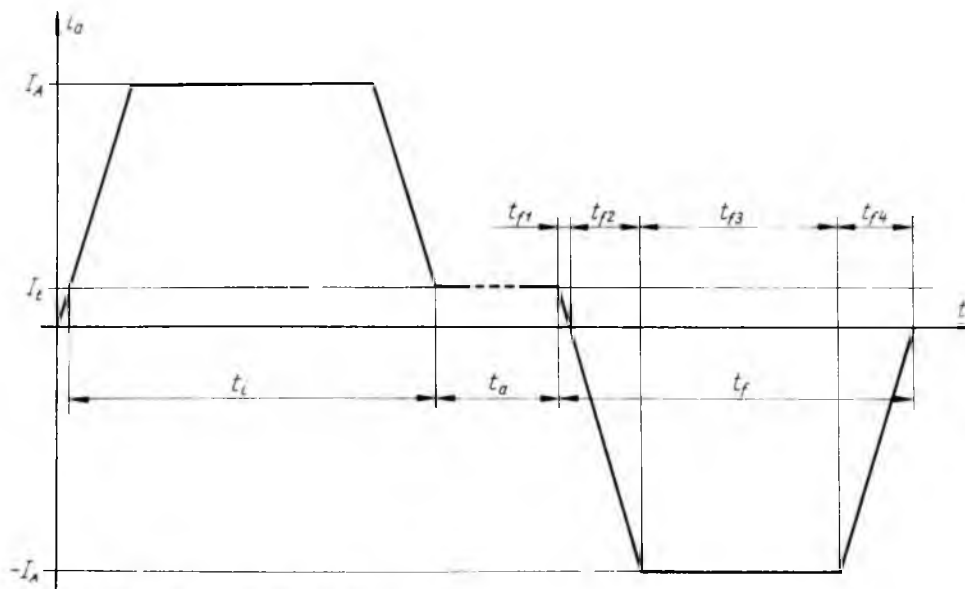
A 7-1. ábrán levő hatásvázlat tartalmazza a pozíciószabályozás egységeit is. A hengerállványon levő $H1$ hajtóművön keresztül a két állítómotor a VT villamos tengely adógépét hajtja. A vevőgép a $H2$ hajtóművön keresztül a HM dobot úgy forgatja, hogy a középső szelet és a kefe közötti távolság csökkenjen. Fékezéskor az AE alapjel fokozatosan csökken és nullává válik, amikor a középső szelet a kefét eléri.

A pozíciószabályozás akkor van jól beállítva, ha a hajtás megállása zérus alapjel esetén túllendülés nélkül következik be. A pozíciószabályozás a motor fordulatszámát integrálja és a henger tényleges és beállítandó helyzete közötti különbségnek megfelelő alapjelet állít elő a követőrendszer részére.

A következőkben megvizsgáljuk, hogy az előválasztó és helyzetmásoló dob kerületén milyen alapjeleloszlást kell megvalósítani különböző hengerállítási úthosszak esetén annak érdekében, hogy az optimális fékárammal történő fékezés hatására a pozíciószabályozás zérus alapjelet biztosítson a motor megállásának pillanatában.

Két különböző állapotot teszünk vizsgálat tárgyává. Az egyik esetben feltételezzük, hogy a hajtás már elérte névleges sebességét, és erről a sebességről kell lefékezni. A másik esetben olyan kis hengerállítási úthossznak megfelelő állapotot vizsgálunk meg, amikor a hajtás nem éri el maximális sebességét és a gyorsítást közvetlenül fékezés követi.

Kiindulásképpen a 7-3. és 7-4. ábrán megrajoltuk az említett kétféle üzemmóddhoz tartozó motoráramokat. Feltételezzük, hogy a szabályozást már beállítottuk, és az ábrákon levő áramalakokat a szabályozás biztosítja.

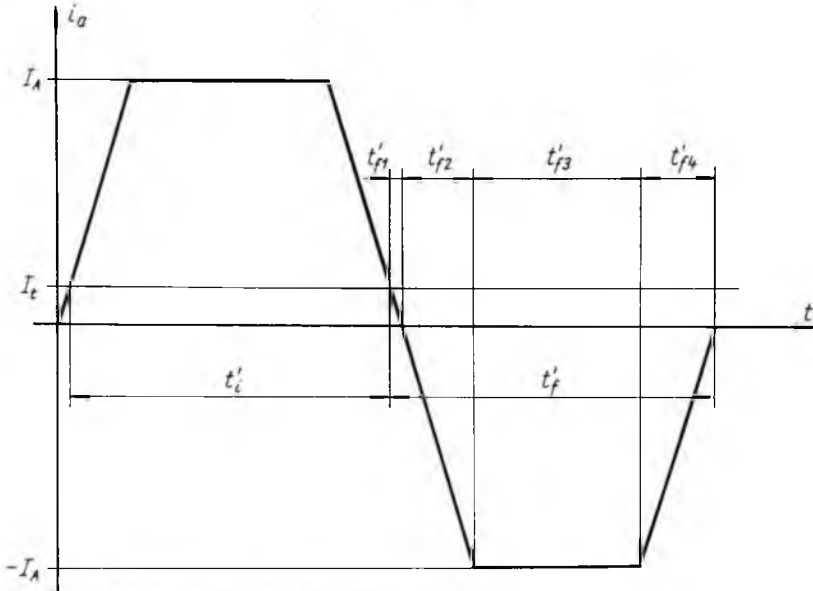


7-3. ábra. Nagy hengerrésváltozás árama

A szabályozás minden esetben, függetlenül a hengerállítási úthosszától és a tranziens üzemmódtól, I_A állandó armatúraáramot igyekszik tartani. Megemlítjük, hogy az I_A áram értéke $2,8I_{névleges}$ áramértéknek felel meg. I_l az állandósult állapot-

ban fellépő terhelésnek megfelelő armatúraáram, ami jó közelítéssel a fordulatszám-tól függetlenül állandó.

A 7-3. ábrán látható, hogy a hajtás a t_i idő elteltével t_a ideig a névleges sebességgel halad, majd t_f idő alatt megáll (7-4. ábra). A 7-4. ábrának megfelelő üzemi állapotban $t'_i < t_i$ idő alatt gyorsítás, a $t'_f < t_f$ idő alatt fékezés van.



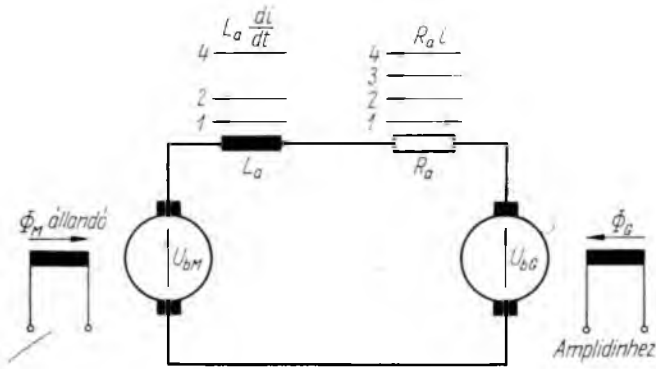
7-4. ábra. Kis hengerrésváltozás árama

Könnyen belátható, hogy minden olyan hengerállítási értéknél, amely a már említett 58,2 mm úthossznál nagyobb, a hajtás számára a fékezés szempontjából azonos viszonyok a jellemzők. A fentieknél kisebb hengerállítás esetén viszont végtelen sokféle különböző fékezési üzemmód lehet, hiszen a hajtás tetszőleges sebességről megállítható.

A fékezési tartományokat a további vizsgálatok érdekében négy részre osztottuk be. A beosztott négy tartomány áramköri szempontból négy különféle esetnek felel meg.

A 7-3. és 7-4. ábrákon négy részre osztott fékezési tartományokban a hajtás főáramkörének pozitív irányait az 7-5. ábra szemlélteti, ahol U_{bG} a generátor, U_{bM} a motor belső feszültsége, L_a és R_a az armatúrákör eredő inductivitása, ill. ellenállása. A generátor belső feszültségének eloszlását kiszámíthatjuk, ha felírjuk a Ward—Leonard-áramkör feszültségegyenletét, továbbá a motor nyomatékegyenletét az állandó terhelés figyelembevételével. A számítást a 7-3. és 7-4. ábrán közölt áramdiagramok ismeretében visszafelé végezzük el. A diagramokból kiszámítható az út és a sebesség, ill. a motor belső feszültsége mint az idő függvénye. A motor belső feszültségének az időfüggvénye, továbbá az áramdiagramok mint időfüggvények lehetővé teszik az adott fékezési áramhoz tartozó generátor belső feszültség időbeli meghatározását.

A számítás lépéseit nem írjuk fel, hanem a szereplő jelölések ismertetése után szakaszokra bontva közöljük a végeredményt.



7-5. ábra. Pozitív irányok fékezéskor

Jelölések:

- Θ a motor tengelyére redukált eredő tehetetlenségi nyomaték;
- v a hengerállítás sebessége;
- a a hengerállítás gyorsulása;
- M a motor nyomatéka;
- s_f a hengerállítás fékútja,
- s_{HM} a fékút az előválasztó és helyzetmásoló dob kerületén;
- k_M a motor nyomatéki tényezője;

$$k_1 = \frac{v}{U_{bM}}, \quad k_2 = \frac{a}{M}, \quad k_3 = \frac{s_{HM}}{s_f} \quad \text{állandók.}$$

A fékezés tartományában a generátor belső feszültsége és a fékút az alábbi függvények szerint változnak az időben:

$$U_{bG} = U_{bG0} - \frac{k_2 k_M}{2k_1 \Theta} \cdot \frac{di_a}{dt} t^2 + \left(I_t - \frac{di_a}{dt} t \right) R_a - L_a \frac{di_a}{dt}, \quad (1)$$

$$s_f = v_0 t - \frac{da}{dt} \frac{t^3}{6}, \quad (2)$$

ahol U_{bG0} a fékezés megkezdésekor v_0 sebességgel mozgó hajtás generátorának belső feszültsége.

A fékezés első szakaszán $\frac{di_a}{dt} = \text{állandó}$, értékét mérési eredmények alapján kell megbecsülni.

A fékezés második tartományában szintén az (1) és (2) egyenlet érvényes. Az áram irányának megváltozását az (1) egyenlet jobb oldali harmadik tagjának előjelváltozása reprezentálja az idő növekedésével.

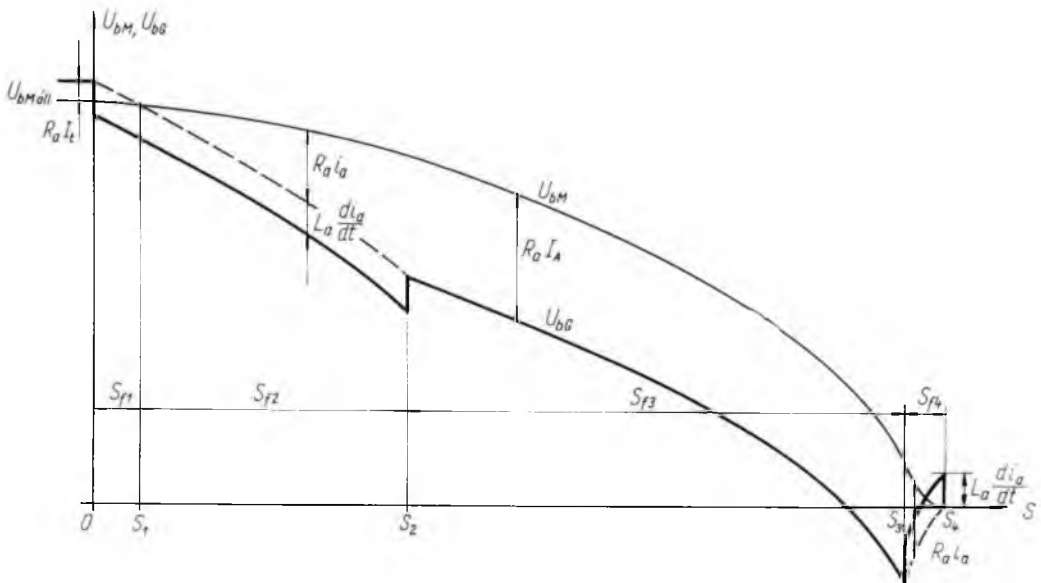
A harmadik szakaszban

$$U_{bG} = U_{bG2} - \frac{k_2 k_M (I_A + I_t)}{k_1 \Theta} t - R_a I_A, \quad (3)$$

$$s_f = s_2 + v_2 t - \frac{at^2}{2}, \quad (4)$$

ahol a fékezés második szakaszának végén a hajtás sebessége v_2 , az eddig megtett út s_2 , a generátor belső feszültsége U_{bG2} .

A fékezés negyedik szakaszában szintén érvényes az (1) és (2) egyenlet, a harmadik szakasz végén levő jellemzők figyelembevétele mellett.



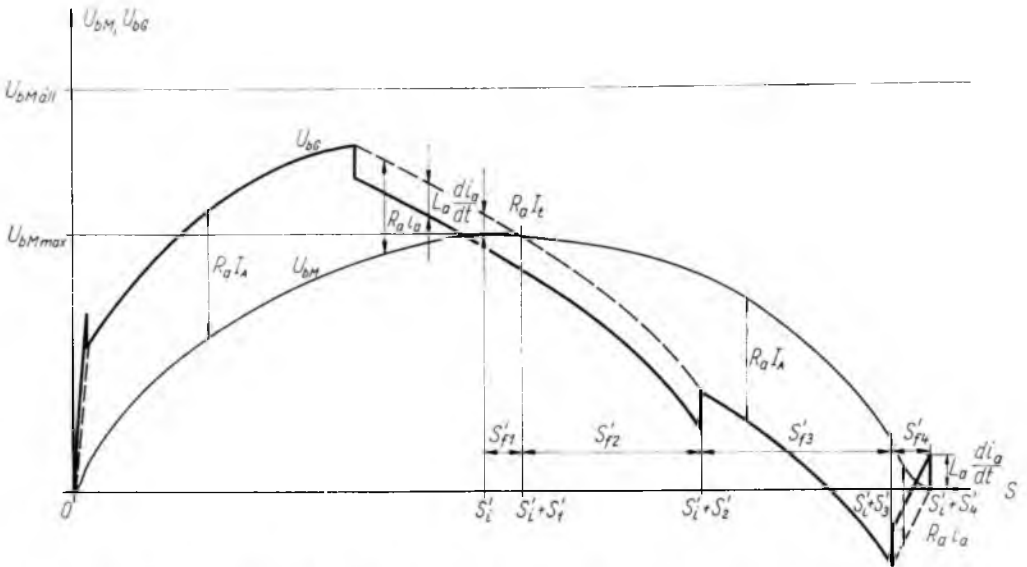
7-6. ábra. Feszültségviszonyok fékezéskor az út függvényében nagy hengerrésváltozás esetén

A fenti két-két egyenletből álló egyenletrendszerek közül csak az utóbbi [(3) és (4)] oldható meg exakt módon. Annak érdekében, hogy a generátor belső feszültségét ábrázolhassuk az út függvényében, kiküszöböltük az egyenletekből az időt mint paramétert. Adott időértékekhez az egyenletekből kiszámítottuk külön a generátor belső feszültségét és külön a megtett utat, majd az azonos időpontokhoz tartozó értékeket a 7-6. és 7-7. ábrákban különböző összetevőkre felbontva ábrázoltuk.

A 7-6. ábrában olyan hengerállítás fékezési viszonyait ábrázoltuk, ahol a hajtás névleges sebességről áll meg. Az ábrába berajzoltuk a négy fékezési tartománynak megfelelő fékutakat is. Látható, hogy a generátor indukált feszültségének irányát közvetlenül a megállás előtt célszerű megfordítani.

A 7-7. ábrán azt a speciális esetet rajzoltuk meg, amikor az indítási és fékezési úthossz éppen megegyezik a névleges haladási sebességről történő lefékezés úthosszával. Az indítási úthossz s'_1 , a fékezés négy útszakasza rendre s'_{f1} , s'_{f2} , s'_{f3} , s'_{f4} . Ebbe az ábrába bejelöltük a 7-6. ábrán látható néveleges motor fordulatszámának megfelelő $U_{bM \text{ all}}$ feszültséget is. Látható, hogy a hajtás $U_{bM \text{ max}}$ -hoz tartozó legnagyobb fordulatszáma jóval kisebb a névleges hengerállítási sebességhez tartozó fordulatszámánál. Tekintettel arra, hogy az M_1 terhelő nyomaték mindig a hajtás ellen hat, a fékezés rövidebb időt vesz igénybe, mint az indítás. A fékezési út mégis nagyobb az indítási útnál, mert a 7-5. ábrában berajzolt áramváltozás (indításból fékezésbe) ideje alatt a hajtás nagy sebességgel halad, és mire a teljes fékárám kialakul, már jelentős utat tesz meg.

A 7-6. és 7-7. ábrák, valamint az eddig elmondottak ismeretében bizonyos következtetéseket vonhatunk le arra vonatkozóan, hogy az optimális tranziens áram kialakulását meghatározó szabályozóberendezés fölé rendelt pozíciószabályozás vezetőjelét alapjelle átalakító előválasztó és helyzetmásoló dob kerületén milyen alapjeloszlást célszerű megvalósítani.



7-7. ábra. Feszültségviszonyok fékezéskor az út függvényében kis hengerrésváltozás esetén

A dolgozat elején említett szabályozóberendezés az áram alakját igyekszik állandósítani. Az előrevezető ágban levő hibajelkorlátozás megszólalása után állandó kimenő jelet ad, és az áramkorlátozó határozza meg az áram nagyságát. Könnyen belátható, hogy mind az indítás, mind a fékezés legnagyobb részében a hibajelkorlátozó kimenő jele a telítési értéknek megfelelően állandó. Az áramkorlátozás e szerint állítja be az áramot állandó értékűnek mindaddig, amíg a hibajel csökkenése miatt a hibajelkorlátozó mint lineáris elem kezd el működni. A hibajel változása a telítési értéknel nagyobb értéktartományokban nem befolyásolja a hibajelkorlátozó és ezáltal a feszültség szabályozó kör beavatkozó hatását. A hibajelet meghatározó alapjelnek és visszavezetett jelnek tehát úgy kell az időben változni, hogy az áramkorlátozó működése alatt a különbségüként jelentkező hibajel a korlátozó telítési szakaszának kezdeti értékénél kisebb nem lehet. A visszavezetett jel a generátor kapcsolófeszültsége, ami fékezéskor valamivel nagyobb, mint az U_{bG} belső feszültség. Ha a további következtetéseinket a generátor belső feszültségéből kiindulva tesszük meg, akkor némi biztonsággal dolgozunk, mert a nagyobb hibajelek tartományában maradunk. Végeredményképpen az alábbiakat állapíthatjuk meg.

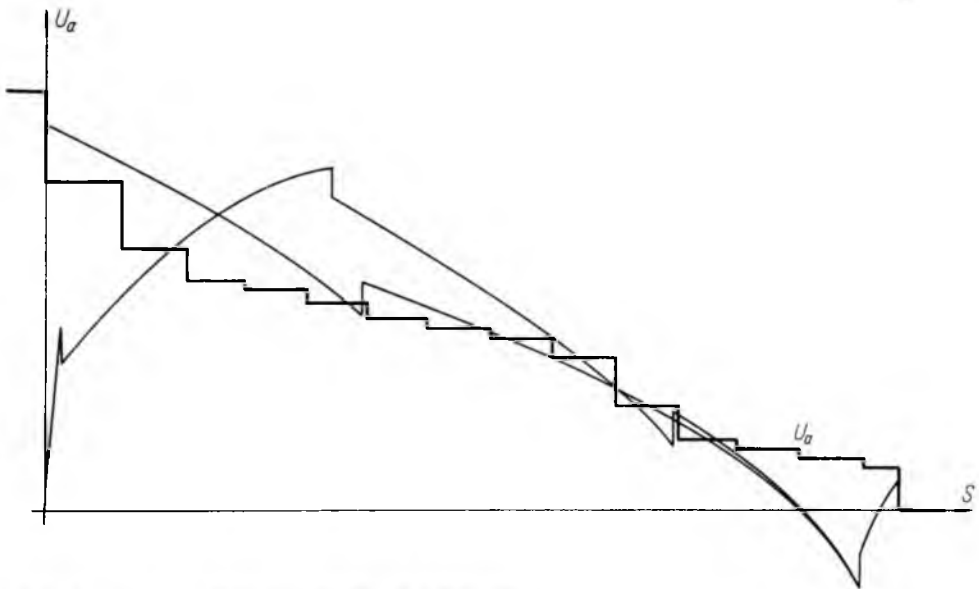
Amíg az áramkorlátozás nem szólal meg, addig csak a feszültség szabályozó kör működik. A generátor belső feszültségének időbeli lefolyását ismerve, a hibajelet a gyors fékezési áram kialakítása érdekében célszerű a lehető legnagyobb sebességgel növelni, ill. az alapjelet a lehető legnagyobb mértékben csökkenteni. Elméletileg az is lehetséges lenne, hogy a fékezés első pillanatában kikapcsoljuk az alapjelet, és

csak bizonyos lassulás után kapcsoljuk vissza az eredeti alapjel polaritásának megfelelően, de csökkentett értékben. Ennek nem lenne akadálya, amennyiben állandó értékű hengerállítást kell minden esetben megvalósítani. Tekintettel arra, hogy a dob kerületén csak egyetlen feszültségeloszlást lehet megvalósítani és ennek bármilyen hengerállítás esetén jónak kell lenni, a fenti megoldás lehetőségét a kis értékű hengerállítások kezdeti gyorsítási feltétele nem teszi lehetővé. Ezért arra kell törekedni, hogy az áramkorlátozás működésekor az alapjel és az U_{bG} feszültséggel arányos visszavezetett jel különbsége legalább a hibajelkorlátozó telítési szintjéhez tartozó hibajelértékben különbözzön egymástól. Ezáltal egy adott hengerállítási úthossznak megfelelő alapjelhatárérték-eloszlást adhatunk csak meg olyan módon, hogy az alapjel a határértéken túlmenően tetszőleges mértékben változhat.

A számtalan lehetséges eset következményeképpen egy olyan alapjeleloszlás számítása, ami minden előválasztott értékre vonatkoztatva túllendülés nélküli megállást biztosít, lehetetlen.

Ezért felépítettük a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen a hajtás modelljét, amelyik az eredeti berendezés gépeit és szabályozóberendezéseit tartalmazta. Az állandó terhelő nyomatékot nagyméretű tárcsafékkal valósítottuk meg.

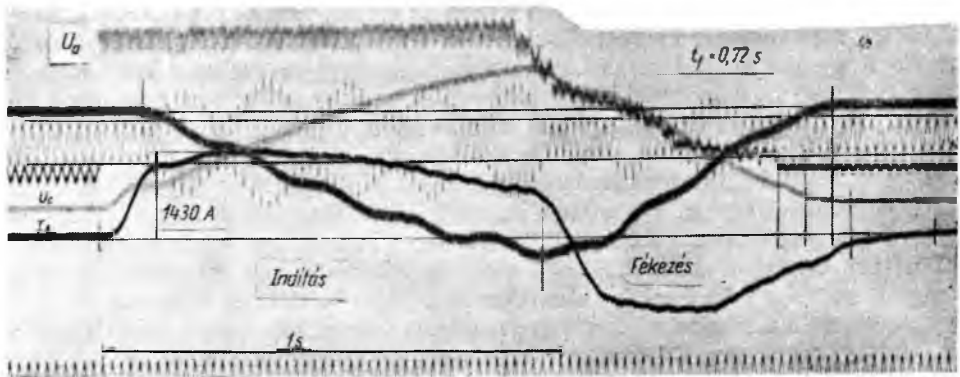
A kísérletek eredményeképpen megállapítottuk azt az alapjeleloszlást, amit az előválasztó és helyzetmásló dobon végeredményeképpen megvalósítottunk. Ezt a lépcsős görbét a 7-8. ábrán tüntettük fel. Ugyancsak berajzoltuk ebbe az ábrába



7-8. ábra. A megvalósított optimális alapjeleloszlás

a 7-6. és 7-7. ábra szerinti U_{bG} feszültséghez tartozó alapjeleloszlás azon szélső értékét, amit a hibajelkorlátozó telített szakaszának kezdőpontjához tartozó hibajel értékével figyelembe vettünk.

Az ábrából látszik, hogy a szükséges alapjeleloszlásnak a fékezés megkezdése előtt polaritást kellene váltani. Ezt az állapotot nem lehet megvalósítani, mert a hajtás kis hengerállítások esetén belengene.



7-9. ábra. A modellhajtás oszcillogramja

A megrajolt lépcsős görbe valamennyi hengerállítási úthossz esetén túllendülés nélküli megállást biztosít. Az alapjel utolsó szakaszában levő kismértékű csökkenő tendencia következtében a hajtás bizonyos előválasztások esetén a megállás előtt rövid ideig kúszik. Természetesen ezekben az esetekben a fékáram nem optimális.

Végül bemutatunk a 7-9. ábrán egy oszcillogramot, amely a modellhajtás armatúraköri áramát szemlélteti. Az oszcillogramból jól látszik, hogy az armatúráram (I_A) a feltételezett áramalakot, amelyekből számításainkhoz kiindultunk, jól megközelíti. Ugyancsak jól látható az U_A alapjel lépcsőzése a fékezés időtartama alatt.

Az oszcillogram 50 mm előválasztásnak megfelelő időbeli jeleket ábrázol. Az előválasztott értékre a hengerállítás 1,52 s alatt beáll. Ez az idő jóval kevesebb, mint amennyit a dolgozat elején ismertetett kézi vezérlésű üzemmód esetén biztosítani lehet.

Végezetül kiszámítjuk a követő szabályozás hibáját, ami az öntecs végméretét befolyásolja.

A technológiai terv szerint még nem minősül selejtnek $\pm 1\%$ -os eltérés a kihengerelt öntecs keresztmetszetét meghatározó méretek névleges értékére vonatkoztatva.

Egy hattonás öntecs keresztmetszetének végmérete pl. 250×250 mm. A $k_3 = 4$ leképzési lépték esetén 1 mm hengerállítás az előválasztó és helyzetmásoló dob területén 4 mm-nek felel meg. Az alapjelet előállító kommutátorszeletek a középső szelet környékén 8 mm szélesek. A szeletek közti szigetelés oldalanként 0,5 mm. A szeleteken csúszó kefe oldalmérete 6 mm. Ha a hajtás megállásának pillanatában a kefe a középső szeleten úgy áll meg, hogy széle egybeesik az első feszültségre kapcsolt szelet szélével (ez a legkedvezőtlenebb eset), akkor a fellépő maximális beállási hiba a henger helyzetére átszámítva 0,375 mm, azaz 0,15%, ami jóval kisebb a megengedettnél.

Irodalom

- [1] Kiss M.: A diósgyőri blokkor rekonstrukciója. Elektrotechnika, 1964. 11—12. sz.
- [2] Kiss M.: Elektricni pogon Manipulatora Grube pruge prikladnih i za ravnanje gredica za valjanje. Zbornik Radova Jurema, 1964, druga knjiga.
- [3] Nagy J.: A diósgyőri blokkor helyzetszabályozás hengerállítása. Elektrotechnika, 1966. 5—6. sz.
- [4] Mlinkó T.: A diósgyőri durvahengermű szabályozott hajtásainak néhány áramkörü kérdéséről. A VKI közleményei 1.
- [5] Mlinkó T.: A diósgyőri blokkor előválasztásos hengerállítási pozíciószabályozása. III. Automatizálási Kollokvium. Budapest 1966. december 6—8.

FÉLVEZETŐ LABORATÓRIUM

8.

Megjegyzések egy cinkanódú, termikusan regenerálható tüzelőanyag-elemmel kapcsolatban

KERTI JÓZSEF—DR. LUKÁCS JÓZSEF

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők a bevezetőben röviden ismertetik a tüzelőanyag-elemekre vonatkozó alapfogalmakat. Ezek után egy olyan javasolt megoldást vizsgálnak meg energetikai szempontból, amelynél az oxigénkatódú és cinkanódú elembe az anódfolyamatban keletkező cinkoxid szén redukcióval regenerálható. A teljes ciklus hatásfokát a villamos energiának és a cink redukciójához használt szén kalóriamennyiségének viszonyával definiálják. A számítások azt mutatják, hogy izoterm reverzibilis körfolyamatot feltételezve, 72%-os hatásfok érhető el. A cink-kohászatban szereplő gyakorlati adatok figyelembevételével viszont a hatásfok kb. 10%-ra adódik.

A szerzők további vizsgálatot javasolnak a különleges beruházást nem igénylő, magyarországi villamos járművekhez kitűnően alkalmazható rendszer hatásfokának javítására, amelyre elméleti számítások alapján lehetőség van.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ТЕРМИЧЕСКИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫМ ТОПЛИВЫМ ЭЛЕМЕНТАМ С ЦИНКОВЫМ АНОДОМ

Й. Керти—Др. Й. Лукач

Резюме

В введении кратко описываются основные понятия, связанные с топливными элементами. Затем, с энергетической точки зрения рассматривают такое рекомендуемое решение, в случае которого в элементе с кислородным катодом и цинковым анодом восстанавливается образующаяся в анодном процессе окись цинка за счет угольного восстановления. Эффективность полного цикла устанавливается отношением электроэнергии и калорийности угля, применяемого для восстановления цинка. Расчеты подтверждают, что предполагая изотермический обратимый цикл, можно достичь 72%-ной эффективности. Однако, учитывая практические данные металлургии цинка, эффективность составляет ок. 10%-ов.

Авторы на основе теоретических расчетов, рекомендуют проведение дальнейших испытаний, преследующих повышение эффективности описанной выше и не требующей особых капитальных затрат системы, отлично применимой для венгерских электрических средств передвижения.

BEMERKUNGEN IM ZUSAMMENHANG MIT EINER THERMISCH REGENERIERBAREN KRAFTSTOFFZELLE MIT ZINK-ANODE

J. Kerti —Dr. J. Lukács

Zusammenfassung

Die Autoren erläutern in der Einleitung kurz die auf die Kraftstoffzellen bezüglichen Grundbegriffe. Danach wird vom energetischen Standpunkt aus eine empfohlene Lösung untersucht, laut welcher in der Zelle mit Sauerstoff-Katode und Zink-Anode das im Anodenprozess entstehende Zinkoxyd durch Reduktion mit Kohle regeneriert werden kann. Der Wirkungsgrad des gesamten Zyklus wird mit der Verhältniszahl der

elektrischen Energie und der zur Zink-Reduktion verwendeten Kohlenkalorienmenge definiert. Die Berechnungen ergeben, dass unter Annahme eines isothermen reversiblen Kreislaufes, der Wirkungsgrad sich auf 72% beläuft. Unter Berücksichtigung der der Zink-Metallurgie entnommenen praktischen Angaben ergibt sich dagegen ein Wirkungsgrad von etwa 10%.

Die Autoren beantragen weitere Untersuchungen, um den Wirkungsgrad des obigen, keiner besonderen Investition erfordernden und für die elektrischen Fahrzeuge in Ungarn äusserst gut anwendbaren Systems zu erhöhen, wozu auf Grund der theoretischen Berechnungen die Möglichkeit gegeben ist.

REMARKS ON A THERMALLY RECUPERATIVE ZINC-ANODE FUEL CELL

J. Kerti — Dr. J. Lukács

Summary

By way of introduction, the authors review the fundamental concepts of the fuel cells. Subsequently a suggested solution is examined from energetic aspects wherein the zinc oxide formed during the anodic process in an oxygen cathode and zinc anode cell can be recuperated by carbon reduction. The efficiency of the entire cycle is defined by the ratio between the electric power and the carbon calories used for the reduction of the zinc. Presuming a reversible isothermal cycle, the calculations show an efficiency of 72 per cent can be realized. By considering, however, the practical data known from zinc metallurgy, an efficiency of approx. 10 per cent is obtained.

The authors suggest the carrying out of further examinations with the aim to improve the efficiency of the system. This solution requires no special investment and could be used excellently in Hungarian electric vehicles; based on the theoretical calculations, such improvement could be accomplished.

1. Alapfogalmak

A tüzelőanyagok, főleg a szén fűtőértékének villamos energiává való átalakítása ismert elvi és gyakorlati nehézségekbe ütközik. Az energiaátalakítás határfoka erőműveinkben kedvező esetben sem haladja meg a 25—35%-ot. Ez a körülmény már a múlt században is a közvetlen energiaátalakítás lehetőségeinek a kutatására ösztönözte a kutatókat. A közvetlen átalakításnak az a lényege, hogy kiküszöböljük a tüzelőanyag kémiai elégetésével járó hőtermelést, és ehelyett egy lépésben oldjuk meg a villamosenergia-átalakítást úgy, hogy a levegő oxigénjével való egyesülés kémiai folyamatát galvánelemben, folyamatos áramtermelés közben játszadjuk le. Az ilyen galvánelem katód-folyamata a levegő oxigénjének redukciójában, az anód-folyamat pedig a felhasznált tüzelőanyag (pl. szén, olaj, szénmonoxid, hidrogén, általában „éghető” anyag) oxidációjában áll. A két elektród közötti potenciálkülönbség a folyamat szabadentalpia-változásának ismert függvénye (l. a továbbiakban), a termelhető energia pedig legkedvezőbb esetben egyenlő ezzel a szabadentalpia-változással (közelítőleg a fűtőértékkel). Az ilyen energiaátalakító berendezést *tüzelőanyag-elemnek*, vagy (főleg régebbi szóhasználattal) égési elemnek nevezzük.

A tüzelőanyag-elemek működési mechanizmusának, szerkezeti felépítésének, élettartam- és gazdaságossági viszonyainak részleteit jelen közleményünkben nem kívánjuk tárgyalni, mivel erre nézve kimerítő összefoglaló publikáció jelent meg [1, 2]. Ezen közleményben több ábra mutatja a gyakorlati kivitel lehetőségét, továbbá a szakterület irodalmának áttekintése is lehetővé válik az irodalmi hivatkozások alapján. Jelen közleményünk célja egy olyan energetikai számításunk ismertetése, mely a hazai kutatások lehetőségeinek vizsgálata kapcsán vált szükségessé.

Meggondolásaink során azt vizsgáltuk, hogy miként és mily mértékben közelíthető meg a szén fűtőértékének villamos energiává történő átalakítása azon az alapon, ha a szénanód közvetlen megvalósításának ismert problémáját [1, 2] a szénnek cinkoxiddal való reagáltatása útján kerüljük meg. Lényegében egy olyan cinkanódú elemet tanulmányoztunk, melynek az anódfémjét folyamatos szenes redukcióval regeneráljuk. Ebben elvben egy olyan „szénanód” működik, melynek funkcionálását cinkkel katalizáljuk. A továbbiakban ismertető számításaink ezen lehetőség energetikai viszonyait vizsgálják.

2. A szén tökéletes elégése kémiai úton

A leggyakoribb, s egyben legrégebben ismert kémiai reakció a szén elégése a levegő oxigénjével:



E reakció moláris entalpiaváltozása szobahőmérsékleten (más szóval a szobahőmérsékletre számított reakcióhő):

$$\Delta H_1 = -94,030 \text{ cal.}$$

Ez az az energia, mely hő formájában szabadul fel a szén (1) reakció szerinti (ún. „tökéletes”) elégetése esetén szobahőmérsékleten és 1 atm nyomás mellett.

A reakció szabadentalpia-változása (más szóval az affinitás):

$$\Delta G_1 = -93,969 \text{ cal.}$$

Ha az (1) reakciót oxigénkatódú és szénanódú galvánelemben szobahőmérsékleten és 1 atm nyomás mellett reverzibilis áramtermelés közben lehetne véghezvinni, akkor a folyamat maximálisan a szabadentalpia-változásnak megfelelően 93,969 cal-val egyenértékű villamos energiát termelne egy mól CO_2 -re vonatkoztatva. A kémiai folyamat által termelhető villamos energia mindig a szabadentalpia-változással, és sohasem a reakcióhővel egyenlő, habár az adott esetben ennek a minimális különbségnek nincs gyakorlati jelentősége, mivel a villamosenergia-termelés rossz hatásfokát más tényezők okozzák. A galvánelem esetében azonban nincs olyan elvi korlát a hatásfok növelésének útjában, mint amilyen pl. a hőerőműveknél fennáll a második főtétel értelmében. Ismeretesek olyan galvánelemek, melyek igen jó megközelítéssel tudják a folyamat szabadentalpia-változását villamos munka formájában szolgáltatni. Ez a tény indokolja a tüzelőanyag-elemek gyakorlati megvalósítására irányuló régi törekvést. Itt a legfőbb nehézség az, hogy közvetlen szénanódú galvánelemet nem lehet megvalósítani. Ha az (1) reakciót közvetlenül lehetne áramtermelésre felhasználni, akkor az e folyamat alapján dolgozó tüzelőanyag-elem maximális hatásfoka

$$\eta = \frac{\Delta G_1}{\Delta H_1} = \frac{93,969}{94,030} = 99,935\%$$

volna. Ez a hatásfok a gyakorlatban teljesen irreális, és semmiféle kombinációban nem bizonyult eddig elérhetőnek. (Mint láttuk, nem elvi, hanem konstrukciós okok miatt.)

Érdekes megjegyezni, hogy az (1) reakció alapján működő fiktív galvánelem elméleti elektromotoros ereje viszonylag kicsi. Ez kiszámítható az ismert

$$-\Delta G = nFE$$

összefüggés alapján. (Itt F a Faraday-számot, n pedig a sztöchiometrikus mennyiségek reagálásakor forgalomba került faraday-k számát jelenti.) A számértékeket behelyettesítve:

$$-4,18 \cdot 93,969 = 4 \cdot 96,496 \cdot E,$$

innen az elektromotoros erő (abszolút értékben):

$$E = 1,02 \text{ V.}$$

Ez az alacsony érték onnan adódik, hogy a feltételezett elem tárolóképesége nagy (az értéküsgváltozás, $n=4$). A szén oxigénnel való egyesülésének vegyofolyamatán alapuló galván-elem főleg a közvetlen szénanód megvalósíthatatlansága miatt problematikus. Ezért folyamodnak a kutatók különféle kerülő, vagy közvetett megoldásokhoz. A továbbiakban az említett közvetett lehetőség energetikai problémáját tárgyaljuk.

3. A szénanód működtetése cink közvetítésével

Ezen elgondolás szerint a közvetlen áramtermelés a galvánelemben nem a szén, hanem a cink „elégésének” vegyofolyamatán ($2 \text{ Zn} + \text{O}_2 = 2 \text{ ZnO}$) alapul. Az elgondolás létjogosultságát az is mutatja, hogy a cinkanódú és oxigénkatódú galván-elemek a gyakorlatban széleskörűen és régóta ismeretesek [3]. Az elgondolás a következő folyamatokat feltételezi.



E folyamat értelmében a cinket szénnel redukáljuk (színítjük), miközben széndioxid keletkezik. A továbbiakban látni fogjuk, hogy a folyamat lényegesen bonyolultabb, és a cink más reakciók szerint is keletkezik. A (2) reakcióban keletkezett cink tovább reagál:



Ez a folyamat galvánelemben megy végbe áramtermelés közben. Belátható hogy a (2) és (3) reakciók eredője az (1) reakció, tehát a cink valóban csak katalitikus szerepet játszott a körfolyamatban. Mivel a gyakorlati tapasztalatok szerint e reakciók megvalósíthatók, indokoltnak látszott megvizsgálnunk az energetikai és hatásfok-viszonyokat. Ha ui. a szén teljes oxidációjának folyamatát izoterm, reverzibilis áramtermelés közben szobahőmérsékleten vezethetnénk, akkor a kitermelt villamos energia és a szén égéshőjének viszonyával definiált hatásfok nem lenne kisebb a fentiekben kiszámított értéknél, vagyis 99,935%-nál. Innen kiszámítható, hogy ebben az ideális esetben egy kg szén 7,750 kcal, azaz kereken 9 kWh villamos energiát termelne! Ez kereken egy nagyságrenddel nagyobb energiaérték, mint amit a hőerőművekben el lehet érni! Hogy a valóságban ennek a kedvező értéknek csak egy elenyésző kis hányadát tudnánk a szóban forgó cink-közvetítéssel elérni, a következőkkel magyarázható.

a) A folyamat még izoterm, reverzibilis esetben is energiavesztéssel járna amiatt, hogy a cinkoxid képződésével járó szabadentalpia-változás kisebb, mint a széndioxid képződési szabadentalpiája. (Éppen ezért van lehetőség arra, hogy a cinkoxidot szénnel színítsük.)

b) Sem a (2), sem a (3) folyamat nem reverzibilis a gyakorlatban. (Utóbbi részben azért, mert az oxigénkatód sem működtethető az egyensúlyi potenciálon.) Avégből, hogy a reakciókat a kívánt irányba kényszerítsük ki, nagy energiafelesleget kell befektetnünk a (2) folyamatba, ill. az affinitásnak megfelelő energiának csak egy részét tudjuk kitermelni a (2) folyamatban villamos energia formájában.

c) A körfolyamat nem izoterm. A (2) reakció 1100 °C-on megy végbe kielégítő sebességgel, míg a (3) folyamat szobahőmérsékleten termeli a villamos energiát. (Természetesen az áramtermelés nagyobb hőmérsékleten is keresztülvihető, de akkor más természetű problémák merülnek fel.) Minden olyan körfolyamat, melyben az egyes részfolyamatok különböző hőmérsékleteken mennek végbe, elkerülhetlenül munkavesztéssel jár.

d) A cinkoxid redukciója csak részben történik a (2) reakció értelmében, főleg azonban úgy megy végbe, hogy a redukció hőmérsékletén először szénmonoxid keletkezik a levegő oxigénjével való tökéletlen elégés alapján (ill. kis részben a cinkoxid redukciója útján), majd ez a szénmonoxid végzi el a cinkoxid redukcióját. Ebben a folyamatban tehát mindenképpen elvész (= hővé alakul) az égéshőnek az a hányada, mely a szén tökéletlen elégésekor szabadul fel.

4. A körfolyamat mechanizmusa

A továbbiakban a cinkoxid redukciójának folyamatait foglaljuk össze. Habár a galvánelemben szobahőmérsékleten cinkhidroxid keletkezik, a redukció hőmérsékletén ez már teljesen cinkoxiddá van kalcinálva, tehát gyakorlatilag csak a cinkoxid redukciójával kell számolnunk. A redukció lényegében háromféle folyamatban játszódhat le:



ezenkívül a (2) folyamat értelmében. Azt, hogy a lehetséges folyamatok közül a valóságban melyik megy végbe, mint általában, két tényező szabja meg:

- mely folyamatnak legnagyobb a termodinamikai potenciálváltozása,
- mely folyamatnak legnagyobb a sebessége.

Mind a termodinamikai potenciál, mind a reakciósebesség függvénye a hőmérsékletnek és a nyomásnak. A termodinamikai potenciálértékeket a hőmérséklet és nyomás függvényében számszerűen a következő összefüggésekkel lehet kiszámítani (azokon a hőmérsékleteken, melyeken a cink gőz halmazállapotban van jelen):

$$\Delta G_4 = \Delta G_4^\circ + RT \ln P_{\text{CO}} + RT \ln P_{\text{Zn}},$$

$$\Delta G_2 = \Delta G_2^\circ + RT \ln P_{\text{CO}_2} + 2RT \ln P_{\text{Zn}},$$

$$\Delta G_3 = \Delta G_3^\circ + RT \ln \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} + RT \ln P_{\text{Zn}}.$$

A ΔG_{4-5-6}° a kérdéses reakciók termodinamikai normálpotenciálját (más szóval normál affinitását) jelentik T Kelvin fok hőmérsékleten. (A normál affinitás az affinitás értéke 1 atm nyomás mellett.) A potenciálértékeket az irodalom általában táblázatokban, vagy diagramokban adja meg számszerűen (rendszerint a hőmérséklet és a nyomás függvényében) [4]. A tapasztalat azt mutatja, hogy a gyakorlatban mindhárom folyamat végbemenetelére van lehetőség, azonban a cinkoxid redukciójánál alkalmazott hőmérsékleteken kinetikai okokból főleg az (5) reakció megy végbe, a (2) reakció sebessége ennél kisebb, a (4) reakcióé a legkisebb. Ez a sorrendiség egyrészt azzal magyarázható, hogy a számításba jövő hőmérséklet-intervallumban a Boudouard-egyensúly ($\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2 \text{CO}$) erősen eltolódott a szénmonoxid irányában [5] (felső nyíl), tehát főleg a szénmonoxid redukciós hatására van lehetőség,

másrészt az (5) reakció kevésbé heterogén, mint a (2) és (1) folyamat. Az (5) reakcióban ui. gáz (CO) reagál szilárd halmazállapotú vegyülettel (ZnO), a (2) és (4) reakciónál pedig csak szilárd hatóanyagok szerepelnek (ZnO és C). Ismert tény, hogy — egyébként azonos körülmények között — a reakció sebessége annál nagyobb, minél homogénebb a kiindulási elegy, vagyis minél jobb érintkezési lehetőség van a hatóanyag részecskéi számára. A reakciósebességek arányának számszerű megadása azért nem lehetséges, mert a műveletnél több, nehezen reprodukálható paraméterrel kell számolnunk. Ilyen a nyomás, a gázok parciális nyomása, a szénmonoxid—széndioxid parciális nyomás hányadosa, a szén aktivitása és őrlésségi foka, a hűtés sebessége, továbbá a munkahőmérséklet. Ez utóbbi ingadozik a berendezés, valamint az egyéb paraméterek függvényében, de tájékoztató értéknek 1100 °C adható meg.

5. A módszer energetikai értékelése

Ahhoz, hogy kiszámíthassuk, milyen energiabefektetés szükséges a cinkoxid redukciójához a (2) ill. (4) ill. (5) reakció szerint, mindenekelőtt ki kell számítanunk a reakcióban résztvevő minden egyes vegyületre nézve az entalpiaértékeket az 1100 °C = 1373 °K munkahőmérsékletre, és ezen entalpiaértékekből megfelelő különbségképzéssel lehet a folyamat entalpiaváltozását (reakcióhőjét) kiszámítani. Mivel ez a számítás a gyakorlatban teljesen irreális, és elérhetetlenül kedvező értéket eredményez, másrészt az entalpiaszámítás meglehetősen hosszadalmas, csak a számítás menetét és végeredményét közöljük.

Az entalpia kiszámítása tetszőleges hőmérsékletre a mólhőfüggvények segítségével történik. Ha egy anyag entalpiája T_1 °K-on H_1 , az állandó nyomás melletti mólhő $C_p = C_p(T)$, akkor az entalpiaérték T_2 °K-on:

$$H_2 = H_1 + \int_{T_1}^{T_2} C_p(T) dT.$$

Ez az összefüggés azonban csak akkor érvényes, ha a szóban forgó nyomás esetén T_1 és T_2 hőmérséklet között nincs halmazállapot-, vagy módosulátváltozás. Ha van, akkor az ennek megfelelő latens hőt hozzá kell adnunk az átváltozási hőmérsékletig számított entalpiaértékhez (pl. olvadáshőt, vagy párolgáshőt), majd az integrálást a megadott hőmérsékletig (esetleg az újabb átváltozásig) az ezen hőmérséklet-tartományra érvényes mólhőfüggvénnyel kell folytatnunk. Megjegyzendő ui., hogy minden egyes halmazállapot-, vagy módosulátváltozásnál ugrásszerűen megváltozik a mólhőfüggvény alakja. A mólhőfüggvényeket a fontosabb vegyületekre és elemekre kísérletileg meghatározták, és ezeket a függvényeket a forrásmunkák táblázatos összeállításban közlik [6]. A mólhőfüggvények rendszerint hatványsorokban adhatók meg, ennek folytán az integrálás nem okoz nehézséget, de bonyolultabb reakciók esetében rendszerint hosszadalmas. Bár az entalpiafüggvény abszolút értékét nem tudjuk megadni, e körülmény a kémiai számításoknál nem okoz nehézséget, mert a reakciónál mindig entalpiakülönbségekkel kell számolnunk. Az entalpiák számszerű értékei ugyanúgy önkényes adatok, mint az elektródpotenciálok, de mivel a vonatkozási alap között, a különbségképzésnél az abszolút entalpiaértékek konvencionális volta nem játszik szerepet. A konvenció abban áll, hogy 25°C-on és 1 atm nyomás mellett minden kémiai elem entalpiáját zérusnak tekintjük abban az állapotban, melyben az elem stabilis [7]. Ebből az is következik, hogy 25 °C-on a vegyületek entalpiája 1 atm nyomás mellett egyenlő a stabil állapotú elemekből való képződési hővel. Ezek a képződési hőre vonatkozó adatok szintén megtalálhatók a vonatkozó szakkönyvek táblázataiban [8], és a tetszőleges hőmérsékletre tartozó entalpiaértékek a 25 °C-tól kezdődő intergrálás alapján számíthatók ki, az elmondott szempontok figyelembevételével. A mólhőfüggvények gyakran T növekvő hatványait tartalmazzák, azonban a tapasztalat szerint kielégítő gyakorlati eredményeket nyerünk az alábbi tapasztalati képlet alapján, a magasabb kitevőjű tagok elhanyagolása esetén is:

$$C_p = a + bT + cT^{-2}.$$

Ennek a függvénynek a konstansait kísérleti úton meghatározták az elemek és vegyületek igen nagy számára, és számításunknál a forrásmunkákban rendelkezésre álló adatokat használtuk fel [9]. Ezen összefüggések és adatok alapján a numerikus számításokat elvégeztük, és a (2), (4) és (5) reakciókban szereplő komponensek entalpiájára 1100 °C-ra a számítás alapján a következő értékeket kaptuk:

Komponens	Entalpia 1100 °C-on cal/mól
H_{CO_2}	- 90,970
H_{CO}	- 18,060
H_{ZnO}	- 70,200
H_C	4,780
H_{O_2}	8,700
H_{Zn}	36,470

Ezen adatok birtokában egyszerűen ki lehet számítani a cinkoxid redukciójára felírt három reakció hőszínezetét:

$$\Delta H_2 = 2H_{Zn} + H_{CO_2} - 2H_{ZnO} - H_C = 117,590 \text{ cal/2 g atom Zn,}$$

$$\Delta H_4 = H_{Zn} + H_{CO} - H_{ZnO} - H_C = 83,830 \text{ cal/g atom Zn,}$$

$$\Delta H_5 = H_{Zn} + H_{CO_2} - H_{CO} - H_{ZnO} = 33,760 \text{ cal/g atom Zn.}$$

Ahhoz tehát, hogy a cinktermelő reakciókat a kívánt irányba kikényszerítsük, a kiszámított ΔH cal hőmennyiségeket a reakcióegyenlet szerinti mennyiségekre be kell fektetnünk (mivel a reakcióhők értéke pozitív). Ezek az értékek könnyen átszámíthatók a cink kilogrammsúlynyi mennyiségére, s akkor a következő értékek adódnak:

$$\Delta h_2 = 900\,000 \text{ cal/kg Zn,}$$

$$\Delta h_4 = 1\,128\,000 \text{ cal/kg Zn,}$$

$$\Delta h_5 = 517\,000 \text{ cal/kg Zn.}$$

Szimultán reakciók esetében, miként erre az előzőekben hivatkoztunk, a reakciók viszonylagos valószínűségére nézve a szabadentalpia-változás nagysága ad felvilágosítást, gyakorlatilag azonban érvényes az a tétel is, hogy általában legnagyobb annak a reakciónak a valószínűsége, mely reakcióhoz a legkisebb munkát kell befektetnünk, ill. amely reakció a legtöbb hőt termeli. Számításunk eredménye tehát összhangban áll azzal az előző tapasztalati megállapításunkkal, hogy az (5) reakció sebessége a legnagyobb, a (4) folyamaté pedig a legkisebb. Hangsúlyozandó azonban, hogy általában szimultán reakciók viszonylagos sebességére nézve hőszínezeti adatokból, mint potenciális változókból, csak valószínűsítő következtetéseket vonhatunk le, de ilyen alapon a kérdéses sebességviszony az irreverzibilis reakciógátlások miatt nem számítható ki. Jelen esetben a folyamatok közötti sebességeloszlás a tapasztalat szerint összhangban áll a megadott hőszínezetekkel, mivel a cink fő tömege az (5) reakció értelmében termelődik a színtésnél. Mivel jelen számításunk az ideális, minden veszteségtől mentes energiaszükséglet megállapítását célozza, további megfontolásainkat az (5) reakcióra, mint legkedvezőbb, s egyben legvalószínűbb folyamatra alapozzuk. Eszerint tehát a cinktermelő folyamat 517 kcal hőt igényel egy kg cinkre vonatkoztatva.

A fentiekben kiszámított hőmennyiség azonban csak azt a hőtöbbletet adja meg, melyet be kell fektetnünk a folyamat kikényszerítése végett a színtési reakció endoterm volta miatt, de nem tartalmazza azt a hőt, amit a redukcióhoz szükséges szén képvisel. Ezt a hőmennyiséget (=fűtőértéket) is figyelembe kell vennünk, mivel számításunk célja annak megállapítása, hogy a cinkregeneráláshoz szükséges szén fűtőértékének milyen hányadát lehet a cinkanódú galvánelemből villamos energia formájában kitermelni. Bár az (5) reakcióban CO szerepel, a szénmonoxid széntartalmának tökéletes elégsékor felszabaduló hővel kell számolnunk, mivel a tökéletlen elégsékor felszabaduló hő mindenképpen elvesz (legjobb esetben az anyagok előmelegítésére használható fel). Ha feltesszük azt a kedvező esetet, hogy a CO teljes egészében a Boudouard-folyamatban ($C + CO_2 = 2CO$) termelődik az (5) folyamatban keletkezett széndioxiddal, akkor belátható, hogy egy mól (= 12 g) szén két mól CO-t termel. A cink atomsúlya 65,38 lévén, kiszámítható, hogy 1 kg cink előállításához az (5) reakció szerint 15,3 mól CO, azaz 7,65 mól szén szükséges (folyamatos termelésnél,

ha a szén és a cink körfolyamatosan vesz részt a reakcióban). Az ennek megfelelő hőmennyiség $7,65 \cdot 94\,000$ cal, s ha ezt Q_C -val jelöljük (emlékeztetve arra, hogy ez a reakcióban felhasznált szén égéshője), akkor kiadódik, hogy:

$$Q_C = 720\,000 \text{ cal} = 720 \text{ kcal/kg Zn.}$$

Ezt a hőmennyiséget tehát még hozzá kell adnunk a számított 517 kcal-hoz.

További hőigény jelentkezik azzal, hogy a Boudouard-folyamat is energiabefektetéssel kényszeríthető ki. Az előzőekben megadott entalpiaértékek alapján kiszámítható 1373°K -ra a



folyamat Q_B hőszínezete (energiaszükséglete), mivel

$$Q_B = 2 H_{\text{CO}} - H_{\text{C}} - H_{\text{CO}_2}.$$

Innen

$$Q_B = 50\,070 \text{ cal/mól } ^\circ\text{C} = 7,65 \cdot 50\,070 = 388 \text{ kcal/kg Zn.}$$

A számított energiaszükségleteket összegezve, kapjuk, hogy az elméleti optimális energiaszükséglet:

$$Q_0 = \Delta h_5 + Q_B + Q_C = 517 + 388 + 720 = \underline{\underline{1625 \text{ kcal/kg Zn!}}}$$

Mint láttuk, ez a számítás olyan feltételezéseket tartalmaz, melyek a gyakorlatban nem teljesíthetők, ennek folytán a számított energiaszükségletnél lényegesen több hőre van szükség. Ezek a feltételezések a következők:

1. Feltételeztük, hogy a többféle reakciólehetőség ellenére a cink a legkisebb energiaigényű (5) folyamatban keletkezik.

2. Semmiféle irreverzibilitással nem számoltunk.

3. Mivel a cinkoxid redukciója 1100°C -os környezetben megy végbe, a hatóanyagok felmelegítéséhez tekintélyes hőmennyiségre van szükség. Teljes rekuperációt feltételezve, úgy tekintettük hallgatólagosan, hogy ez a hőmennyiség fedeződik a reakciótermékek hulladékmelegéből. Ugyanakkor semmiféle hővesztéséget sem vettünk figyelembe.

4. Feltételeztük a bevitt anyagok (pl. szén) teljes felhasználását, ami a valóságban sohasem érhető el.

5. Nem vettük figyelembe a galvánelemben keletkező cinkhidroxid kalcinálásának energiaszükségletét, továbbá a nyert cink tömbösítésével, átolvasztásával, ill. az optimális anódalakítással kapcsolatban felmerülő energiaigényt.

Mіндеzen faktor hatását mennyiségileg számításba venni igen nehéz, hosszadalmas, de egyben további fikciókat igénylő úton lehetne. Ezért ahhoz, hogy a rendelkezésre álló üzemi technológiára alapozhassuk a számításunkat, abból kell kiindulnunk, hogy a felsorolt okok folytán mi a világviszonylatban kialakult és elfogadott fajlagos energiaszükséglet a cink színítésére cinkoxid nyersanyagból. Irodalmi adatok alapján [10] a cink kilogrammonkénti energiaszükséglete szén redukció esetén cinkoxid nyersanyagból való kiinduláskor kerekén $10\,000$ kcal, tehát a fentiekben kiszámított optimális elméleti érték hatszorosa! Ez az érték abból adódik, hogy a kialakult és elfogadott szénszükséglet a cink kilogrammjára $2,4$ kg, s ha 4000 kcal/kg fűtőértékkel számolunk, akkor felkerekítve kiadódik ez az átlagérték a különböző ipari eljárások között. Megjegyzendő, hogy az egyes eljárások nem térnek el lényegesen egymástól az energiaszükségletben. (Nyilvánvaló, hogy az elérhető energiaszükségleti minimumot lényegesen meghaladó eljárások a gyakorlatban nem is terjedhettek el.) Mint ismeretes, a hőerőművekben gyakorlatilag elfogadható tájékoztató fajlagos érték az 1 kg szénszükséglet kWh-nként. A hatásfokszámításhoz ki kell számítanunk azt a villamosenergia-mennyiséget, amit egy kg

cink termel, miközben reverzibilis áramtermelés során a (3) reakció szerint oxigénkatódú és szénanódú galvánelemben cinkoxidá alakul. A galvánelem reverzibilis elektromotoros erejének kiszámításához a (3) reakciót célszerű egy mól ZnO-ra felírni: $\text{Zn} + 0,5 \text{O}_2 = \text{ZnO}$.

A galvánelem elektromotoros ereje és az áramtermelő folyamat szabadentalpia-változása közötti, az előző fejezetben utalt összefüggés ($nFE = -\Delta G$) alapján az E elektromotoros erő az alábbiak szerint számítható ki (25 °C-ra vonatkoztatva). A számításához szükséges adatokat a már hivatkozott irodalmi forrásmunkából [11] merítettük, ezek az adatok a következők:

A cinkoxid entalpiája [=képződéshője, a (3) folyamata reakcióhője] 25 °C-on egy mól ZnO-ra vonatkoztatva:

$$H_{\text{ZnO}} = -83,200 \text{ cal/mól.}$$

A cinkoxid entrópiája:

$$S_{\text{ZnO}} = 10,40 \text{ cal/mól } ^\circ\text{K.}$$

Az oxigén entrópiája:

$$S_{\text{O}_2} = 49,02 \text{ cal/mól } ^\circ\text{K.}$$

A cink entrópiája:

$$S_{\text{Zn}} = 9,95 \text{ cal/mól } ^\circ\text{K.}$$

25 °C-on az oxigén és a cink normál entalpiája, mint utaltunk rá, konvencionálisan zérus.

A galvánelem áramtermelő folyamatának szabadentalpia-változását ezen adatok birtokában a Gibbs—Helmholtz-egyenlet alkalmazásával [12] számíthatjuk ki:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S = -83\,200 - 298 \Delta S.$$

Mivel

$$\Delta S = 10,40 - (9,95 + 0,5 \cdot 49,02) = -24,06 \text{ cal/}^\circ\text{K mól ZnO,}$$

innen:

$$\Delta G = -83\,200 + 298 \cdot 24,06 = -83\,200 + 7170 = -76\,030 \text{ cal/mól ZnO.}$$

Számításaink szerint a galvánelem elektromotoros ereje (abszolút értékben):

$$E = \frac{4,19 \cdot 76,030}{2 \cdot 96,496} = 1,66 \text{ V.}$$

Ezt az elméleti elektromotoros erőt a gyakorlatban még terheletlen állapotban sem lehet elérni. Ennek oka, hogy az áramtermelő folyamat a valóságban eltér a felírtól [(3) reakció], mert nem stabil cinkoxid, hanem cinkhidroxid, sőt részben cinkátkomplex keletkezik az elembe (az oldat összetételétől és pH-jától függően), másrészt az oxigén nem tiszta, hanem nitrogénnel erősen hígítva van, és az oxigénkatód reverzibilisen nem működtethető (=elkerülhetetlen az irreverzibilis katód-polarizáció fellépése). A tapasztalat azt mutatja, hogy az ún. „lúgos légző” elemekben az elérhető és nem nagy terhelések mellett tartható feszültség 1,10 V körül mozog. Ebből tehát az következik, hogy a galvánelemnek a cinkanód redukációjához felhasznált szén fűtőértékére vonatkoztatott energiahatásfoka nemcsak a szenes színítés rossz energiahatásfoka miatt alacsony (bár főleg emiatt), hanem részben azért is, mert a galvánelem sem működtethető reverzibilisen, energiavesztés nélkül.

6. Eredmények összegezése

A fentiek alapján megadható az előzőekben hivatkozott hatások értéke, és pedig kétféle módon: ideális esetre számított elméleti értéként, amikor is minden irreverzibilitástól és veszteségtől eltekintünk, és feltesszük, hogy csak a legkedvezőbb folyamatok mennek végbe, ill. gyakorlati értéként, amikor a gyakorlati kohászati fajlagos adatokat és a gyakorlatban elérhető kapocsfeszültséget vesszük alapul.

Még ebben az utóbbi esetben sem számoltunk azzal a körülménnyel, hogy a galván elemben a cink nem reagáltatható el anódikusan teljes egészében, hanem a fém egy hányada visszamarad. Ez a fémmaradék újabb beolvasztással (tehát további energia befektetés árán) visszavihető a körfolyamatba.

Ha figyelembe vesszük, hogy 1 Ah töltésmennyiség előállításához elméletileg 1,22 g cink szükséges, akkor kiszámítható, hogy ebben a rendszerben 1 kg cink 820 Ah töltésmennyiséget termel. Az elméleti 1,66 V feszültséggel számolva, ez 1,36 kWh, a gyakorlati 1,10 V-tal számolva pedig 0,90 kWh villamos energiának felel meg kilogrammonként. Kalóriára átszámítva az elméleti villamos energia $1,36 \cdot 860 = 1,170$ kcal, a gyakorlati pedig $0,9 \cdot 860 = 775$ kcal.

A számított ideális (elméleti) hatások:

$$\eta_{\text{elméleti}} = \frac{1,170}{1,625} = 0,72 = 72\%.$$

A gyakorlati hatások kiszámításához az elérhető kapocsfeszültséggel számított villamos munkával, ill. a kohászati gyakorlatban kialakult fajlagos energiaszükségleti értékkel kell számolnunk. Ezen adatok alapján (még ha el is tekintünk a galván-elemben elkerülhetetlenül végbemenő önkisülési folyamatoktól), oly alacsony hatásfokot kapunk, mely messze alatta marad a hőerőművekben elérhető hatásfoknak:

$$\eta_{\text{gyakorlati}} = \frac{775}{10\,000} = 0,0775 = 7,75\%.$$

E számítás tehát azt mutatja, hogy a gyakorlatban legfeljebb egyharmadát tudjuk ily módon elérni a hőerőművek egyébként is igen kedvezőtlen hatásfokának, tehát közvetlenül nem látszik lehetségesnek az, hogy ezen az úton javítsunk a hőerőművek alacsony hatásfokán. Ugyanakkor, mivel az elméleti hatások többszörösen meghaladja a hőerőművek hatásfokát, továbbá jelen esetben a (bár igen alacsony) gyakorlati hatások növelésével szemben nem jelentkezik olyan elvi korlát, mint a hőerőműveknél a termodinamika második főtétele, a cink közvetítésén (tehát lényegében katalitikus hatáson) alapuló megoldás a szén fűtőértékének villamos energia formájában való kinyerésére változtatlanul igen csábító gondolatnak látszik.

Itt kell megemlíteni azon elgondolásunkat, melyben a szóban forgó tüzelőanyag-elemek járműhajtó primer elemekként szerepeltek. A járművek energiafelvételét oly módon gondoltuk, hogy a cinkhidroxiddá átalakult elemrészeket megfelelő cserélő állomáson a járműben fémcinkre cserélik és így azt ismét kb. 400 km út megtételére teszik alkalmassá. A cinkhidroxid tömbök azután központi helyen kerülnének regenerálásra. Ez az eljárás — mely az elvégzett számítások szerint elméletileg jó, gyakorlatilag azonban nem kielégítő hatásfokot biztosít — azt az előnyt nyújtana, hogy a primer elemek megépítésén kívül semmiféle egyéb, nagyobb volumenű beruházást nem igényel, mivel a cinkhidroxid szénrel történő redukciója a már meglévő cinkkohóinkban menne végbe.

Véleményünk szerint feltétlenül indokolt azon lehetőség tanulmányozása, miként lehetne a cink igen nagy, az elméleti értéknek mintegy hatszorosát kitevő fajlagos regenerálási energiaszükségletét csökkenteni, mivel az alacsony hatásfok, mint láttuk, elsősorban éppen ennek a nagy energiaszükségletnek a következménye.

A nagy energiaszükséglet lényegében főleg azzal magyarázható, hogy igen nagy hőmérsékletkülönbség áll fenn a regenerálás és az áramtermelés folyamatai között. A tapasztalat szerint minden olyan esetben, amikor egy körfolyamat nem izoterm, sőt annak egyes lépései igen eltérő hőmérsékleten mennek végbe, mindig nagy energia-vesztések állnak elő. Ezért oly megoldás látszik célravezetőbbnek, melyben a

cinket ún. „magas hőmérsékletű tüzelőanyag-elemek”-ben [1, 2] használjuk fel anódként. Ha az elem 5—600 °C-on dolgozik, az elem felső része 1100—1200 °C-on működtethető és a cinkoxid regenerálásához szükséges szénpor ide adagolható. Ily módon lehetségesnek látjuk az ipari folyamatban fellépő hőveszteségek kisebbítését, ugyanakkor a reakcióban keletkező hő jobb hasznosítását. Valószínűnek látszik, hogy az elv megvalósítása a gyakorlatban még számos megoldásra váró problémát vet fel, azonban megítélésünk szerint, figyelembe véve a tüzelőanyag-elemek vonalán az utóbbi években tapasztalható rohamos fejlődést, a felvetett lehetőség gyakorlati megvalósítása nem látszik kilátástalannak. Egy ilyen megoldási lehetőségre vonatkozó megfontolásainkra és számításainkra a soron következő közleményünkben kívánunk visszatérni.

Irodalom

- [1] Csorba L. — Kerti J.: Magyar Kémikusok Lapja, **19**, (1964) 189—195. old.
- [2] Csorba L. — Kerti J.: Magyar Kémikusok Lapja, **19**, (1964) 240—249. old.
- [3] Pesty L.: Akkumulátorok—elemek: Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1962.
- [4] Horváth Z.: A cink kohászata, Budapest, Akadémiai Kiadó, 1961. 158. old.
- [5] Ost-Rassow.: Lehrbuch der chemischen Technologie, Leipzig, Johann Ambrosius Barth Verlag, 1953. 1044. old.
- [6] Horváth A.: Kohászati Fizikai Kémia, Budapest, Tankönyvkiadó, 1961.
- [7] Bjeszkov Sz. D.: Ipari Fizikai-Kémiai Számítások. Budapest, Tankönyvkiadó, 1952. 114—121. old.
- [8] Preisich M.: Vegyészek zsebkönyve, Budapest, Nehézipari Könyv- és Folyóirat-kiadó Vállalat, 1954. 214—218. old.
- [9] L. [6] 440. old. *Megjegyzés:* sajtóhiba következtében a táblázatokban a T^{-2} kifejezés exponensében a negatív előjel végig elmarad. Számításainknál ezt a hibát korrigáltuk, vagyis a jelen közleményünkben szereplő formulát használtuk fel.
- [10] Horváth Z.: A cink kohászata, Budapest, Akadémiai Kiadó. 1961.
- [11] L. [6] 443. old.
- [12] Farrington, Daniels.: Outlines of Physical Chemistry, New York, J. Wiley and Sons, Inc. 1948, p. 1439.

9.

Néhány mérési módszer a p-n átmenetek kisebbségi töltéshordozói effektív élettartamának meghatározására

PÁLFY MIKLÓS

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk ismerteti az effektív élettartam mérésének lehetőségeit és kitér annak a VKI Félvezető Laboratóriumában felhasznált alkalmazására. Ismeretes, hogy a p-n átmenet nyitóirányú áramának megszakítása után a feszültség megszűnése, ill. a zárófeszültség megjelenése után a záróáramcsúcs megszűnése az átmenet kisebbségi töltéshordozóinak effektív élettartamától mint egyetlen anyagi paramétertől függ. Így ezek mérése a megadott kapcsolásokkal

$$\tau = -\frac{kT}{q} \cdot \frac{1}{\frac{dU}{dt}} \quad \text{és} \quad \operatorname{erf} \sqrt{\frac{t_n}{\tau}} = \frac{1}{1 + \frac{I_x}{I_n}}$$

egyenletek ésszerű felhasználása esetén lehetővé teszi τ értékének közvetlen kiértékelését.

A cikk a továbbiakban kitér a nagyon rövid élettartamok mérésére, valamint a p-n átmenetek frekvenciafüggő viselkedéséből való τ meghatározására.

НЕСКОЛЬКО МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДОВ В P-N ПЕРЕХОДАХ

М. Палфи

Резюме

В статье описываются возможности измерения эффективного времени жизни неосновных носителей и говорится о применении его в лаборатории полупроводниковых приборов Исследовательского Института Электротехнической Промышленности. Известно, что после прерывания прямого тока p-n перехода, после снятия напряжения или появления обратного напряжения, ограничение обратного пикового тока зависит от эффективного времени жизни неосновных носителей зарядов перехода, как от единственного материального параметра. Таким образом, измерение его при заданной коммутации в случае рационального использования уравнений

$$\tau = -\frac{kT}{q} \cdot \frac{1}{\frac{dU}{dt}} \quad \text{и} \quad \operatorname{erf} \sqrt{\frac{t_n}{\tau}} = \frac{1}{1 + \frac{I_x}{I_n}}$$

позволяет производить непосредственную оценку τ . Далее в статье описывается метод измерения очень короткого времени жизни неосновных носителей τ переходов.

MESSMETHODEN ZUR BESTIMMUNG DER EFFEKTIVEN LEBENSDAUER DER MINORITÄTSTRÄGER VON P-N ÜBERGÄNGEN

M. Pálffy

Zusammenfassung

In der Arbeit werden die Möglichkeiten der effektiven Lebensdauerermessung beschrieben und dann deren Anwendung im Halbleiter-Laboratorium des Forschungsinstitutes der Elektroindustrie behandelt. Es ist bekannt, dass nach Unterbrechung des Stromes des p-n Überganges in der Durchlassrichtung das Verschwinden der Spannung bzw. nach Erscheinen der Sperrspannung das Ausklingen der Sperrstromspitze von der effektiven Lebensdauer der Minoritätladungsträger des Überganges als einzigem materialabhängigen Parameter abhängt. Ihre Messung bei den gegebenen Schaltungen ermöglicht bei sinngemässer Verwendung der Gleichungen

$$\tau = -\frac{kT}{q} \cdot \frac{1}{\frac{dU}{dt}} \quad \text{und} \quad \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I_s}{\tau}} = \frac{1}{1 + \frac{I_s}{I_n}}$$

die unmittelbare Auswertung des Wertes τ .

Die Arbeit behandelt weiterhin die Messung von besonders kurzen Lebensdauern sowie die Bestimmung von τ aus dem frequenzabhängigen Verhalten der p-n Übergänge.

SOME MEASURING METHODS FOR THE DETERMINATION OF THE EFFECTIVE LIFETIME OF THE MINORITY CARRIERS OF P-N JUNCTIONS

M. Pálffy

Summary

The various possibilities of the measurement of the effective lifetime are described and the application of this measurement in the Semiconductor Laboratory of the Research Institute of the Electrical Industry is reviewed. — It is well known that subsequent to the breaking of the forward current through the p-n junction and after the extinction of the potential, resp. after the occurrence of the reverse voltage the disappearance of the reverse current peak depends on the effective lifetime of the minority carriers of the junction, this being the only material parameter. Thus the measurement of these values in the specified circuits and by the purposeful application of equations

$$\tau = -\frac{kT}{q} \cdot \frac{1}{\frac{dU}{dt}} \quad \text{and} \quad \operatorname{erf} \sqrt{\frac{I_s}{\tau}} = \frac{1}{1 + \frac{I_s}{I_n}}$$

enables the direct estimation of the value of τ . In the following, the paper is dealing with the measurement of very short lifetimes and with the determination of τ from the frequency dependent behaviour of the p-n junctions.

1. Bevezetés

A p-n átmeneteket manapság széles körben felhasználgják az ipar területén. Felhasználásuknál elsődleges szempont a villamos jellemzők pontos ismerete. A főbb jellemzőkön túlmenően, amennyiben gyors működésű kapcsoló áramkörökben kívánjuk felhasználni, úgy feltétlenül szükséges, hogy az átmenet kisebbségi töltéshordozóinak τ effektív élettartamát meghatározzuk. Ez azért szükséges, mert a

nyitóirányú üzemállapot megszűnésekor az átmenet záróirányú záróképessége csak egy bizonyos idő eltelte után áll helyre, ami meghatározza az átmenet felhasználhatóságának felső frekvenciahatárát. Továbbá a záróképesség időleges elvesztése szükségképpen záróirányú átmeneti jelenségeket okoz, ami az áramkörben káros túlfeszültségeket hoz létre [1].

Az itt összefoglalt eljárások alapján a VKI Félvezető Laboratóriumában több mérési összeállítást és mérőberendezést készítettünk τ értékének meghatározására.

2. Kikapcsolási jelenség vizsgálata

Vizsgáljuk a p-n átmeneten átfolyó állandósult I_n értékű nyitóáramú árammegszakítás utáni állapotot. Az áram megszakítása után az átmenet feszültsége nem szűnik meg azonnal, hanem a 9-1. ábrán látható módon fog változni. A feszültség változása egy adott hőmérsékleten kizárólag az átmenet kisebbségi töltéshordozóinak τ élettartamától fog függni. Vizsgáljuk meg közelebbről a jelenséget [2]. Kis hordozó injekcióra a kontinuitási egyenlet egydimenziós alakja a p-n átmenet n oldalán levő kisebbségi töltéshordozóira, lyukakra felírható

$$D_p \frac{\partial^2 p_N}{\partial x^2} = \frac{p_N - p_0}{\tau_p} + \frac{\partial p_N}{\partial t} \quad (1)$$

alakban.

Itt feltételeztük azt, hogy a diffúziós lyukáramsűrűség

$$i_{Dp} = -qD_p \frac{\partial p_N}{\partial x} \quad (2)$$

alakú. A megoldáshoz szükséges határfeltételeket a

$$p_N(0, t) = p_0 e^{\frac{qU(t)}{kT}}, \quad (3)$$

$$p_N(\infty, t) = p_0, \quad (4)$$

és

$$p_N(x, 0) = p_0 \left(e^{\frac{qU_0}{kT}} - 1 \right) e^{-\frac{x}{L_p}} + p_0 \quad (5)$$

egyenletek adják; ahol

D_p a lyuk diffúziós állandója;

L_p a lyuk diffúziós hossza;

p_N az n oldali lyuk-koncentráció;

p_0 az n oldali lyuk-koncentráció hőegyensúlyi értéke;

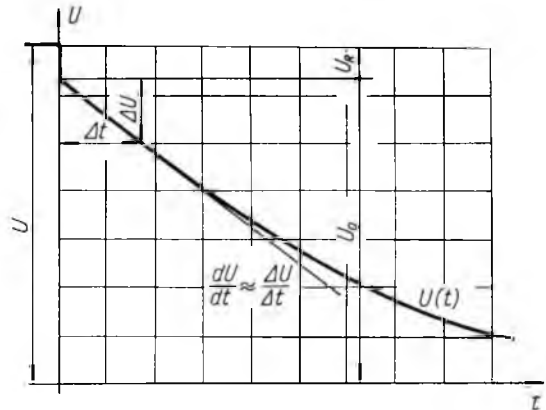
U_0 a p-n átmeneten levő nyitóirányú feszültség;

q az elektron töltése;

k a Boltzmann-állandó;

T abszolút hőmérséklet.

A (3) határfeltételnél feltételeztük azt, hogy a kiürített réteg n oldalán $x=0$ helyen fennálló lyuksűrűsége a Boltzmann-összefüggés érvényes. Az (5) feltétel kifejezi az állandósult állapotnak megfelelő, a kikapcsolás pillanatában fennálló lyuksűrűséget, x távolságra az átmenettől.



9-1. ábra. A p-n átmenet feszültségváltozása a nyitóáram megszakítása után

Ha az (1) kiinduló parciális differenciálegyenletünket Laplace-transzformációval közönséges differenciálegyenletté alakítjuk, majd a határfeltételek figyelembevételével $x=0$ helyen a visszatranszformálást elvégezzük, akkor megkapjuk a p-n átmenet feszültségváltozását a kikapcsolás után.

Tehát a feszültség időben változni fog az

$$U(t) = \frac{kT}{q} \ln \left[1 + \left(e^{\frac{qU_0}{kT}} - 1 \right) \left(1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau_p}} \right) \right] \quad (6)$$

egyenlet szerint,

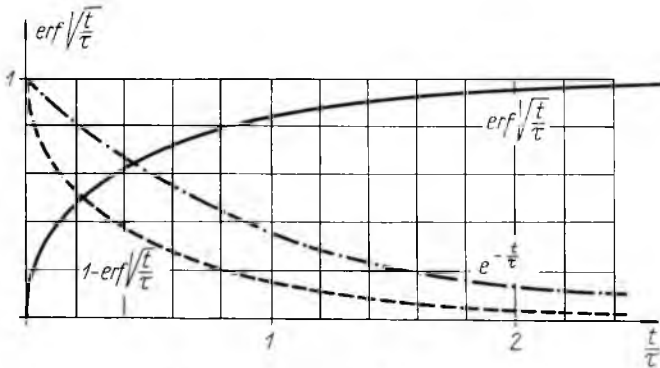
ahol

$$\operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau_p}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\sqrt{\frac{t}{\tau_p}}} e^{-y^2} dy.$$

Ha a $B = e^{\frac{U_0}{kT}}$ helyettesítést elvégezzük és az egyenletet átrendezzük akkor azt kapjuk, hogy

$$\operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau_p}} = \frac{B - B^{\frac{U(t)}{U_0}}}{B - 1}. \quad (7)$$

Ezek után U_0 , $U(t)$ és t ismeretében egy adott p-n átmenet hőmérsékleten mérni tudjuk τ_p effektív élettartam értékét. A 9-2. ábrából láthatóan nem követünk



9-2. ábra. $\operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau}}$; $1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau}}$ és $e^{-\frac{t}{\tau}}$ függvények értékei, ha $0 \leq \frac{t}{\tau} \leq 2,5$

el nagy hibát, ha a (7) egyenletben szereplő $\left(1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau_p}} \right)$ kifejezést helyettesítjük $e^{-\frac{t}{\tau_p}}$ -val és akkor a (6) egyenlet

$$U(t) = \frac{kT}{q} \ln \left[1 + \left(e^{\frac{qU_0}{kT}} - 1 \right) e^{-\frac{t}{\tau_p}} \right] \quad (8)$$

alakra egyszerűsödik. Ha itt is alkalmazzuk a (7) egyenletben már alkalmazott B

kifejezés helyettesítését, akkor τ_p könnyen kifejezhető lesz és azt kapjuk, hogy

$$\tau_p = \frac{t}{\ln \frac{B-1}{B \frac{U(t)}{U_0} - 1}} \quad (9)$$

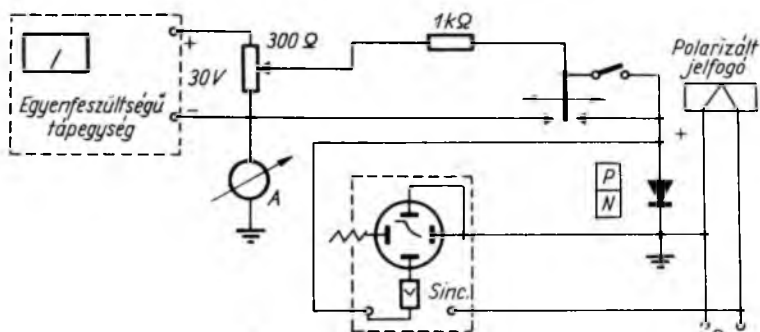
Ha a mérést úgy végezzük el, hogy az

$$U_0 \gg \frac{kT}{q}$$

feltétel teljesül, akkor a (8) egyenletet differenciálva, τ_p -ra a következő egyszerű kifejezést kapjuk:

$$\tau_p = -\frac{kT}{q} \frac{1}{\frac{dU}{dt}} \quad (10)$$

ahol $\frac{dU}{dt}$ értéke kis t értékeknél a kikapcsolási folyamat kezdeti szakaszára értelmezett. A (7), (9), (10) egyenletekben szereplő mennyiségek kimérésére számos kapcsolás készíthető [3, 4]. Ezek közül kettő a 9-3. és 9-4. ábrán látható.

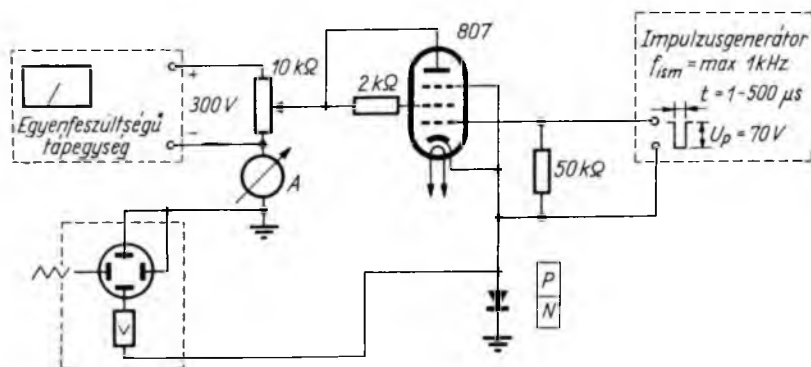


9-3. ábra. Mérési elrendezés a p-n átmenet kikapcsolási feszültségváltozásából történő τ kiértékeléséhez

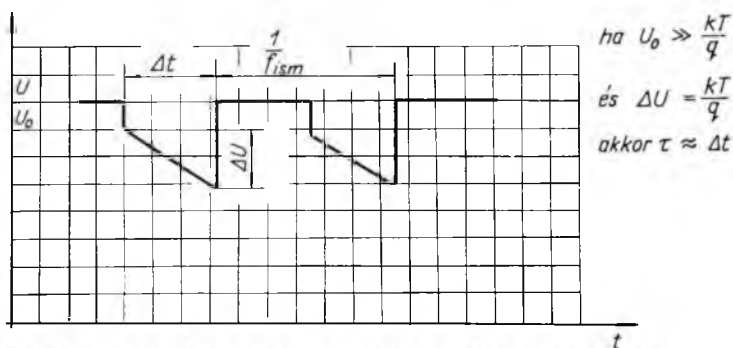
A 9-3. ábrán látható kapcsolással mérni tudjuk τ értékét. A kapcsolatban szereplő 300 Ω -os potenciométerrel — az ábrán szereplő nyomógomb lenyomásával — különböző nyitóirányú áramokat, illetve U_0 értéket állíthatunk be. Az oszcilloszkóp ernyőjén a 9-1. ábrán látható jel fog megjelenni, amelyből a pontossági követelmények figyelembevételével a levezetett egyenletekből az élettartam értékét meghatározhatjuk.

Ha a (10) egyenletünk korlátolt pontosságával megelégszünk, akkor egy nagyon gyors mérési módszerhez jutunk, ha a 9-4. ábrán levő kapcsolással mérünk. Beállítunk egy $U_0 \gg \frac{kT}{q}$ nyitóirányú feszültséget és az oszcilloszkóp ernyőjén megjelenő jel ΔU feszültségésés értékét $\frac{kT}{q}$ értékre állítjuk be. Ezt az impulzus szélességének

szabályozásával érhetjük el. Ekkor Δt értéke — figyelembe véve a (10) egyenletet — éppen τ értékével egyezik meg, amit vagy az oszcilloszkópon, vagy pedig pontosabban az impulzugenérátor impulzusszélesség-szabályozó kalibrált tárcsáján olvashatunk le.



9-4. ábra. τ mérése változtatható impulzusszélességű impulzugenérátorral



9-5. ábra. A 9-4. ábrán lévő oszcilloszkóp ernyőjén megjelenő kép

3. Átkapcsolási jelenség vizsgálata

A második mérési módszer szintén a p-n átmenetek kapcsolási jelenségeiből való élettartam kiértékelését használja fel. Az átkapcsolási vizsgálatok folyamán is a τ élettartam — mint az átmenetre jellemző anyagi tényező — egyértelműen függ a mért villamos jellemzők értékétől.

A kapcsolás elvi felépítése a 9-6. ábrán látható. Ha a kapcsolót egyes állásból kettős állásba fordítjuk, azaz nyitóirányú állapotból a p-n átmenetet záróirányú feszültségforrásra kapcsoljuk, akkor az átmenetben felhalmozódott töltésmennyiség nem tűnik el azonnal. Ez azt jelenti, hogy a nyitóirányú feszültség az átmeneten fennmarad és ennek következtében a záróirányú feszültség megjelenésekor az R ellenállás által meghatározott áram fog folyni a körben addig, míg a diódán levő nyitóirányú feszültség nullára nem csökken. Miután a nyitóirányú feszültség nullára való csökkenése egy kis változás a záróirányú feszültséghez képest, ezért ezen idő alatt az áram értéke jó közelítéssel állandó I_z értékű lesz.

A jelenség leegyszerűsítve számítható az (1) egyenlet Laplace-transzformáltjának megfelelő határfeltételek melletti differenciálegyenlet megoldásából és annak visszatranszformálásából [5, 6].

Figyelembe véve azt, hogy a mérésnél áramokat mérünk, az (5) egyenletet az ideális dióda

$$I_n = I_0 \left(e^{\frac{qU_0}{kT}} - 1 \right) \quad (11)$$

nyitóáram egyenletével átalakítva kapjuk a

$$p_N(x, 0) = p_0 \frac{I_n}{I_0} e^{-\frac{x}{L_p}} + p_0 \quad (12)$$

határfeltételt, ahol I_0 az átmenet telítési árama. Figyelembe véve továbbá azt, hogy $x=0$ helyen — miután a (2) egyenlet i_{Dp} diffúziós áramsűrűsége konstans értékű, mert azt közvetlenül az átkapcsolás után csak a külső kör R ellenállása és a dióda

felülete határozza meg — az n oldalon felhalmozódott lyuksűrűség gradiense állandó értékű, az áramsűrűség által meghatározott értékű lesz. Így $x=0$ helyen a visszatranszformálás elvégzése után a (3) egyenletet figyelembe véve azt kapjuk, hogy

$$U(t) = \frac{kT}{q} \ln \left[1 + \frac{I_n}{I_0} - \frac{I_n + I_z}{I_0} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau_p}} \right]. \quad (13)$$

Az átmenet nyitóirányú feszültsége az átkapcsolás után t_a idő múlva nullára csökken és így a fenti egyenlet

$$\operatorname{erf} \sqrt{\frac{t_a}{\tau_p}} = \frac{1}{1 + \frac{I_z}{I_n}} \quad (14)$$

alakra egyszerűsödik.

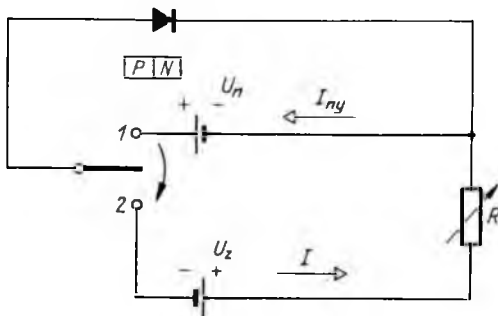
Az átkapcsolás utáni feszültség-, illetve áramalakok a 9-7. ábrán láthatók. Ennek alapján tehát τ_p értékét I_z , I_p valamint t_a ismeretében könnyen meghatározhatjuk. A mérést különböző összeállításban végezhetjük el. Ismeretes több ilyen kapcsolás, melyek közül a 9-8. és 9-9. ábrán látható elrendezéssel τ értékének kiértékeléséhez szükséges adatok kimérhetők.

Az ábrákból a működés könnyen követhető. A 9-8. ábrán a nyitóirányú áramot az ampermérőn olvassuk le, míg a záróáram értékét az R_N ellenálláson keletkező feszültségéből számíthatjuk. A kapcsolás kisebb nyitóirányú mérőáramokkal történő mérésre alkalmas, mert az $R_1 - R_2$ záróirányú impulzus amplitúdó leosztás, továbbá a csöves dióda terhelhetősége a nyitóirányú mérőáramot korlátozza.

A 9-9. ábrán levő kapcsolással kényelmesen lehet szabályozni a nyitó- és záróáram értékét az R_3 , ill. R_2 potenciométerekkel.

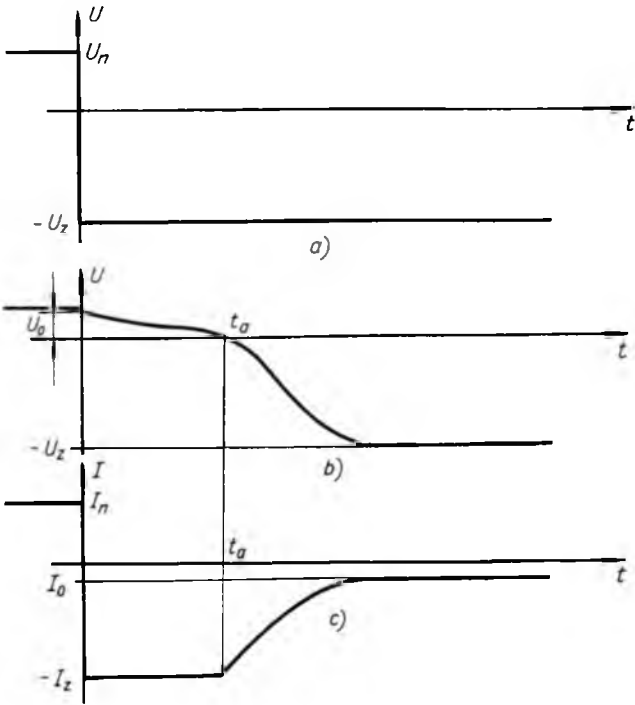
A 9-10. ábrán látható kapcsolással lehetővé válik nagyobb nyitóirányú mérőáramok melletti élettartam-mérés.

A nyitóirányú áramot a 9-10. ábrán látható kapcsolási rajzon levő $10 \text{ k}\Omega$ -os előfeszültség szabályozó potenciométerrel lehet szabályozni. A nyitóáram csak az

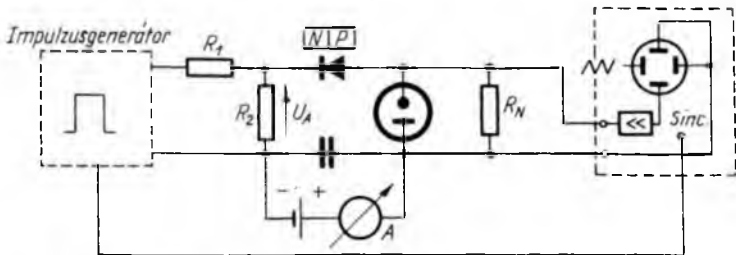


9-6. ábra. Elvi kapcsolás a p-n átmenet átkapcsolási jelenségének vizsgálatához

impulzus megjelenésekor folyik át a 807 csövön és a diódán. A 807 cső vezérlő-rácsán megjelenő pozitív vezérlőimpulzussal egyidejűleg az ECC 82 vezérlőrácsa záróirányú impulzust kap, és így csak az impulzus megszűnése után kapja meg a p-n átmenet a záróirányú feszültséget. Az I_z záróirányú áram csúcstértéket az 5 k Ω -os

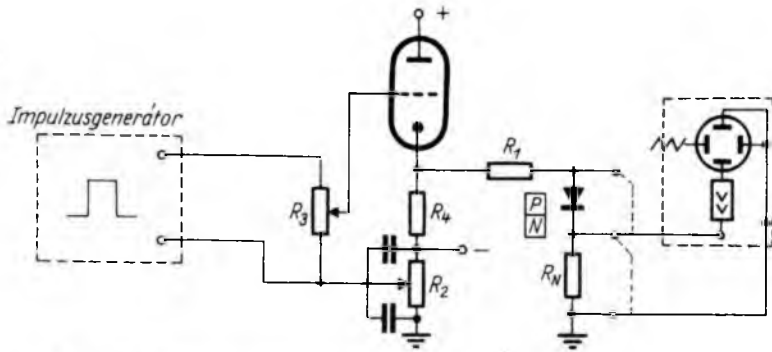


9-7. ábra. Átkapcsolási jelenségek
 a) tápfeszültség; b) p-n átmenet feszültsége; c) a p-n átmeneten folyó áram alakja

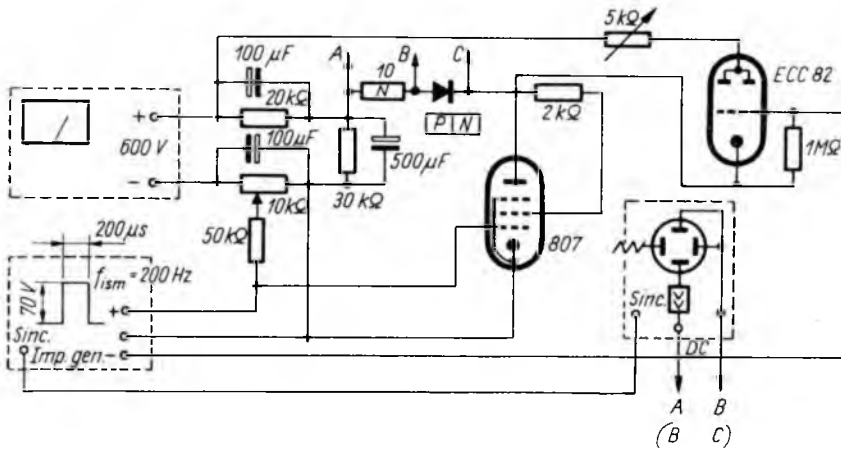


9-8. ábra. Élettartam-mérés elrendezése [7]

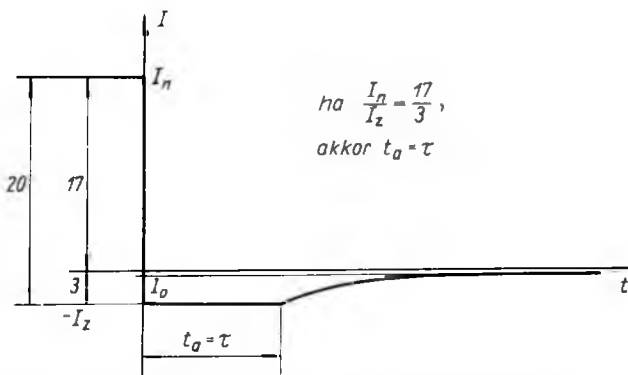
potenciométerrel lehet szabályozni. A mérés lehetővé teszi a τ effektív élettartam közvetlen leolvasását az oszcilloszkóp képernyőjéről, mert ha $t_a = \tau_p$, akkor a 9-2. ábrából láthatóan $\text{erf} \sqrt{\frac{t_a}{\tau_p}} = 0,85$. Ebből adódik, hogy a 9-11. ábrán levő nyitó-



9-9. ábra. Élettartam-mérés elrendezése [6]



9-10. ábra. Élettartam-mérés amper nagyságrendű mérőáramokra



9-11. ábra. A p-n átmeneten folyó áramok aránya, ha $t_a = \tau$

Ha az (1) kiinduló parciális differenciálegyenletünket Laplace-transzformációval közönséges differenciálegyenletté alakítjuk, majd a határfeltételek figyelembevételével $x=0$ helyen a visszatranszformálást elvégezzük, akkor megkapjuk a p-n átmenet feszültségváltozását a kikapcsolás után.

Tehát a feszültség időben változni fog az

$$U(t) = \frac{kT}{q} \ln \left[1 + \left(e^{\frac{qU_0}{kT}} - 1 \right) \left(1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau_p}} \right) \right] \quad (6)$$

egyenlet szerint,

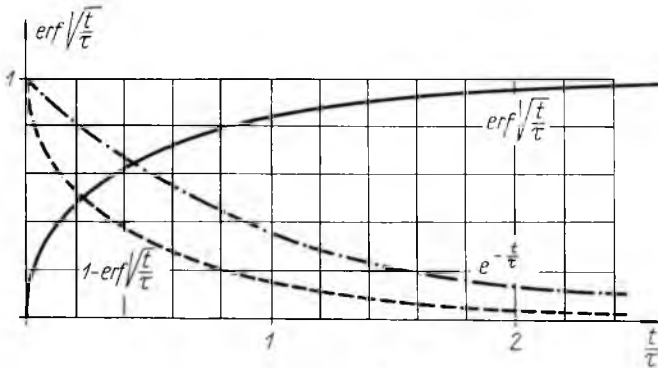
ahol

$$\operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau_p}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\sqrt{\frac{t}{\tau_p}}} e^{-y^2} dy.$$

Ha a $B = e^{\frac{U_0}{kT}}$ helyettesítést elvégezzük és az egyenletet átrendezzük akkor azt kapjuk, hogy

$$\operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau_p}} = \frac{B - B^{\frac{U(t)}{U_0}}}{B - 1}. \quad (7)$$

Ezek után U_0 , $U(t)$ és t ismeretében egy adott p-n átmenet hőmérsékleten mérni tudjuk τ_p effektív élettartam értékét. A 9-2. ábrából láthatóan nem követünk



9-2. ábra. $\operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau}}$; $1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau}}$ és $e^{-\frac{t}{\tau}}$ függvények értékei, ha $0 \leq \frac{t}{\tau} \leq 2,5$

el nagy hibát, ha a (7) egyenletben szereplő $\left(1 - \operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau_p}} \right)$ kifejezést helyettesítjük $e^{-\frac{t}{\tau_p}}$ -val és akkor a (6) egyenlet

$$U(t) = \frac{kT}{q} \ln \left[1 + \left(e^{\frac{qU_0}{kT}} - 1 \right) e^{-\frac{t}{\tau_p}} \right] \quad (8)$$

alakra egyszerűsödik. Ha itt is alkalmazzuk a (7) egyenletben már alkalmazott B

kifejezés helyettesítését, akkor τ_p könnyen kifejezhető lesz és azt kapjuk, hogy

$$\tau_p = \frac{t}{\ln \frac{B-1}{B \frac{U(t)}{U_0} - 1}} \quad (9)$$

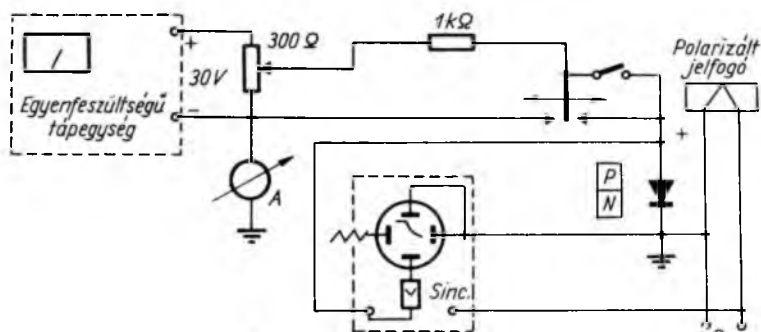
Ha a mérést úgy végezzük el, hogy az

$$U_0 \gg \frac{kT}{q}$$

feltétel teljesül, akkor a (8) egyenletet differenciálva, τ_p -ra a következő egyszerű kifejezést kapjuk:

$$\tau_p = -\frac{kT}{q} \frac{1}{\frac{dU}{dt}} \quad (10)$$

ahol $\frac{dU}{dt}$ értéke kis t értékeknél a kikapcsolási folyamat kezdeti szakaszára értelmezett. A (7), (9), (10) egyenletekben szereplő mennyiségek kimérésére számos kapcsolás készíthető [3, 4]. Ezek közül kettő a 9-3. és 9-4. ábrán látható.

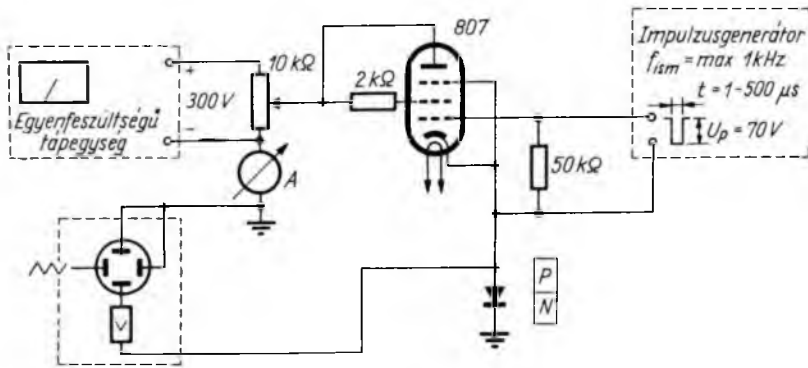


9-3. ábra. Mérési elrendezés a p-n átmenet kikapcsolási feszültségváltozásából történő τ kiértékeléséhez

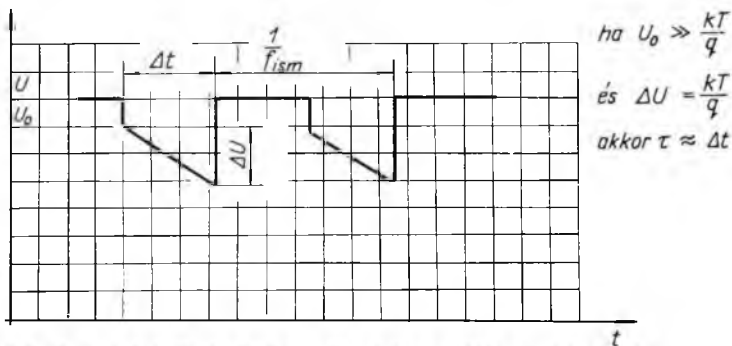
A 9-3. ábrán látható kapcsolással mérni tudjuk τ értékét. A kapcsolatban szereplő 300 Ω -os potenciométerrel — az ábrán szereplő nyomógomb lenyomásával — különböző nyitóirányú áramokat, illetve U_0 értéket állíthatunk be. Az oszcilloszkóp ernyőjén a 9-1. ábrán látható jel fog megjelenni, amelyből a pontossági követelmények figyelembevételével a levezetett egyenletekből az élettartam értékét meghatározhatjuk.

Ha a (10) egyenletünk korlátolt pontosságával megelégszünk, akkor egy nagyon gyors mérési módszerhez jutunk, ha a 9-4. ábrán levő kapcsolással mérünk. Beállítunk egy $U_0 \gg \frac{kT}{q}$ nyitóirányú feszültséget és az oszcilloszkóp ernyőjén megjelenő jel ΔU feszültségesség értékét $\frac{kT}{q}$ értékre állítjuk be. Ezt az impulzus szélességének

szabályozásával érhetjük el. Ekkor Δt értéke — figyelembe véve a (10) egyenletet — éppen τ értékével egyezik meg, amit vagy az oszcilloszkópon, vagy pedig pontosabban az impulzugenérátor impulzusszélesség-szabályozó kalibrált tárcsáján olvashatunk le.



9-4. ábra. τ mérése változtatható impulzusszélességű impulzugenérátorral



9-5. ábra. A 9-4. ábrán lévő oszcilloszkóp ernyőjén megjelenő kép

3. Átkapcsolási jelenség vizsgálata

A második mérési módszer szintén a p-n átmenetek kapcsolási jelenségeiből való élettartam kiértékelését használja fel. Az átkapcsolási vizsgálatok folyamán is a τ élettartam — mint az átmenetre jellemző anyagi tényező — egyértelműen függ a mért villamos jellemzők értékétől.

A kapcsolás elvi felépítése a 9-6. ábrán látható. Ha a kapcsolót egyes állásból kettős állásba fordítjuk, azaz nyitóirányú állapotból a p-n átmenetet záróirányú feszültségforrásra kapcsoljuk, akkor az átmenetben felhalmozódott töltésmennyiség nem tűnik el azonnal. Ez azt jelenti, hogy a nyitóirányú feszültség az átmeneten fennmarad és ennek következtében a záróirányú feszültség megjelenésekor az R ellenállás által meghatározott áram fog folyni a körben addig, míg a diódán levő nyitóirányú feszültség nullára nem csökken. Miután a nyitóirányú feszültség nullára való csökkenése egy kis változás a záróirányú feszültséghez képest, ezért ezen idő alatt az áram értéke jó közelítéssel állandó I_z értékű lesz.

A jelenség leegyszerűsítve számítható az (1) egyenlet Laplace-transzformáltjának megfelelő határfeltételek melletti differenciálegyenlet megoldásából és annak visszatranszformálásából [5, 6].

Figyelembe véve azt, hogy a mérésnél áramokat mérünk, az (5) egyenletet az ideális dióda

$$I_n = I_0 \left(e^{\frac{qU_0}{kT}} - 1 \right) \quad (11)$$

nyitóáram egyenletével átalakítva kapjuk a

$$p_N(x, 0) = p_0 \frac{I_n}{I_0} e^{-\frac{x}{L_p}} + p_0 \quad (12)$$

határfeltételt, ahol I_0 az átmenet telítési árama. Figyelembe véve továbbá azt, hogy $x=0$ helyen — miután a (2) egyenlet i_{Dp} diffúziós áramsűrűsége konstans értékű, mert azt közvetlenül az átkapcsolás után csak a külső kör R ellenállása és a dióda

felülete határozza meg — az n oldalon felhalmozódott lyuksűrűség gradiense állandó értékű, az áramsűrűség által meghatározott értékű lesz. Így $x=0$ helyen a visszatranszformálás elvégzése után a (3) egyenletet figyelembe véve azt kapjuk, hogy

$$U(t) = \frac{kT}{q} \ln \left[1 + \frac{I_n}{I_0} - \frac{I_n + I_z}{I_0} \operatorname{erf} \sqrt{\frac{t}{\tau_p}} \right]. \quad (13)$$

Az átmenet nyitóirányú feszültsége az átkapcsolás után t_a idő múlva nullára csökken és így a fenti egyenlet

$$\operatorname{erf} \sqrt{\frac{t_a}{\tau_p}} = \frac{1}{1 + \frac{I_z}{I_n}} \quad (14)$$

alakra egyszerűsödik.

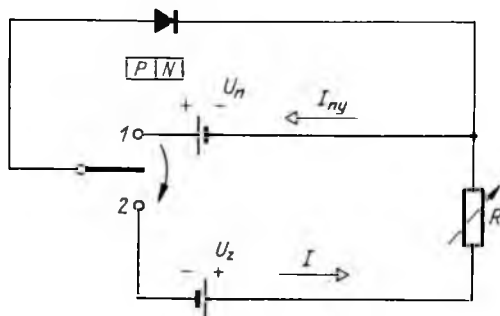
Az átkapcsolás utáni feszültség-, illetve áramalakok a 9-7. ábrán láthatók. Ennek alapján tehát τ_p értékét I_z , I_p valamint t_a ismeretében könnyen meghatározhatjuk. A mérést különböző összeállításban végezhetjük el. Ismeretes több ilyen kapcsolás, melyek közül a 9-8. és 9-9. ábrán látható elrendezéssel τ értékének kiértékeléséhez szükséges adatok kimérhetők.

Az ábrákból a működés könnyen követhető. A 9-8. ábrán a nyitóirányú áramot az ampermérőn olvassuk le, míg a záróáram értékét az R_N ellenálláson keletkező feszültségéből számíthatjuk. A kapcsolás kisebb nyitóirányú mérőáramokkal történő mérésre alkalmas, mert az $R_1 - R_2$ záróirányú impulzus amplitúdó leosztás, továbbá a csöves dióda terhelhetősége a nyitóirányú mérőáramot korlátozza.

A 9-9. ábrán levő kapcsolással kényelmesen lehet szabályozni a nyitó- és záróáram értékét az R_3 , ill. R_2 potenciométerekkel.

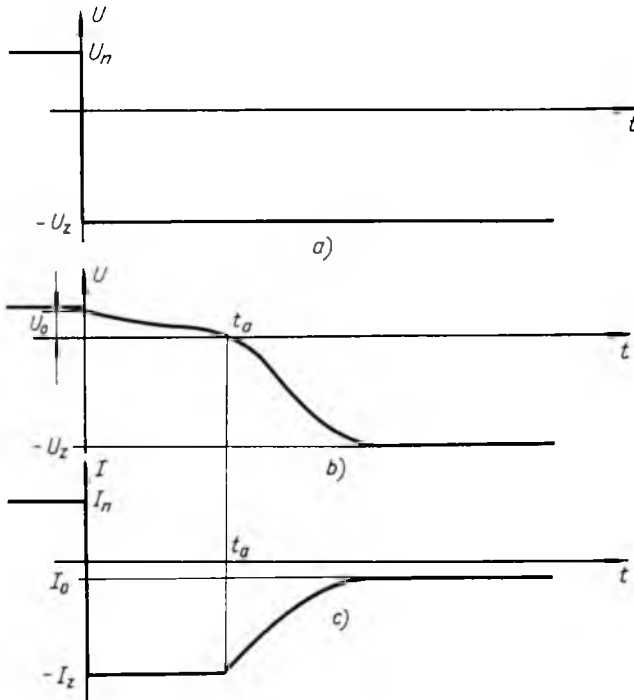
A 9-10. ábrán látható kapcsolással lehetővé válik nagyobb nyitóirányú mérőáramok melletti élettartam-mérés.

A nyitóirányú áramot a 9-10. ábrán látható kapcsolási rajzon levő $10 \text{ k}\Omega$ -os előfeszültség szabályozó potenciométerrel lehet szabályozni. A nyitóáram csak az



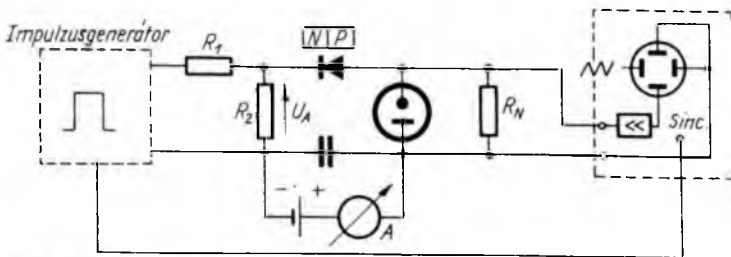
9-6. ábra. Elvi kapcsolás a p-n átmenet átkapcsolási jelenségének vizsgálatához

impulzus megjelenésekor folyik át a 807 csövön és a diódán. A 807 cső vezérlő-rácsán megjelenő pozitív vezérlőimpulzussal egyidejűleg az ECC 82 vezérlőrácsa záróirányú impulzust kap, és így csak az impulzus megszűnése után kapja meg a p-n átmenet a záróirányú feszültséget. Az I_z záróirányú áram csúcstértéket az 5 k Ω -os



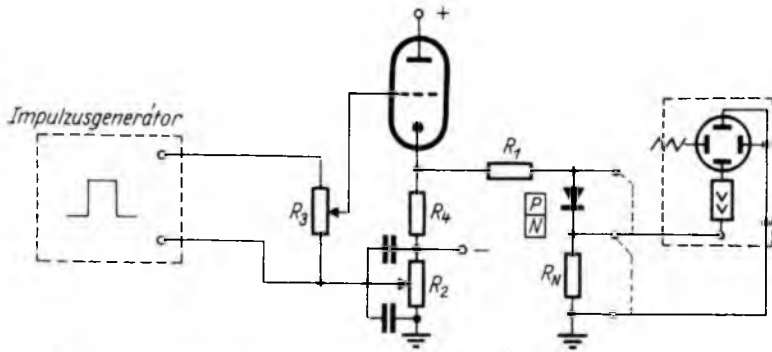
9-7. ábra. Átkapcsolási jelenségek

a) tápfeszültség; b) p-n átmenet feszültsége; c) a p-n átmeneten folyó áram alakja

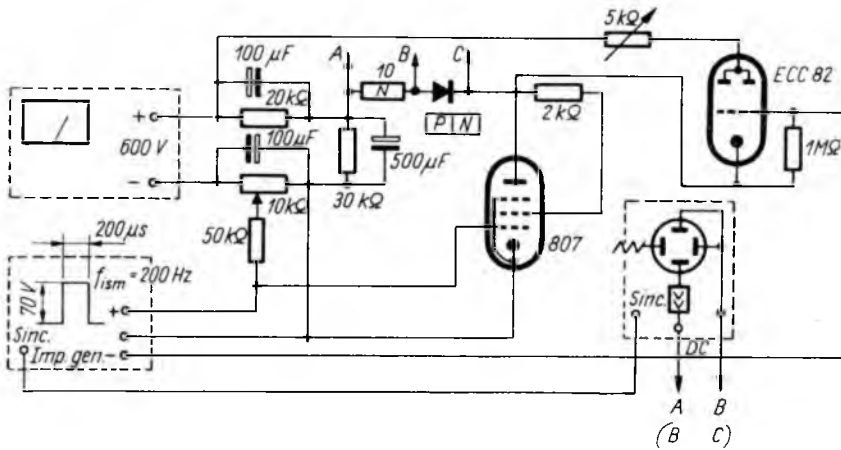


9-8. ábra. Élettartam-mérés elrendezése [7]

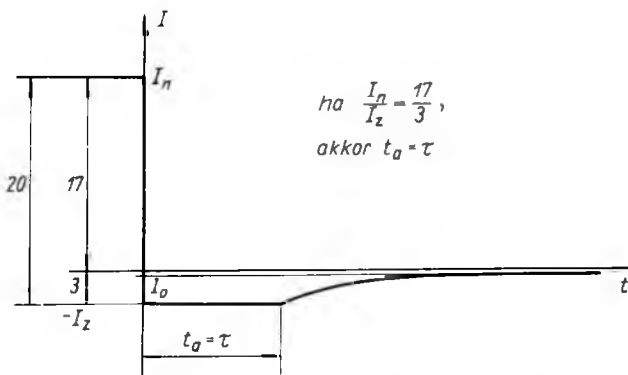
potenciométerrel lehet szabályozni. A mérés lehetővé teszi a τ effektív élettartam közvetlen leolvasását az oszcilloszkóp képernyőjéről, mert ha $t_a = \tau_p$, akkor a 9-2. ábrából láthatóan $\text{erf} \sqrt{\frac{t_a}{\tau_p}} = 0,85$. Ebből adódik, hogy a 9-11. ábrán levő nyitó-



9-9. ábra. Élettartam-mérés elrendezése [6]



9-10. ábra. Élettartam-mérés amper nagyságrendű mérőáramokra



9-11. ábra. A p-n átmeneten folyó áramok aránya, ha $t_a = \tau$



9-12. ábra. Élettartammérő készülék panelje

és záróáram-arányok mellett közvetlenül τ_p -t olvashatjuk le a DC bemenetű oszcilloszkóp ernyőjén.

Az elkészült berendezés panelje a 9-12. ábrán látható. A berendezést több árammérési lehetőséggel egészítettük ki, továbbá a nyitóáramot vezérlő 807 cső helyett PL 36-os csövet használtunk fel.

A p-n átmenet diffúziós és tértöltésréteg kapacitásának feltöltés-kisütéséből egy másik módszer adódik élettartam mérésére, amely lényegében véve az előzőkhöz hasonlóan az átkapcsolási jelenséget használja fel élettartam-mérésre azzal a különbséggel, hogy az áramok helyett itt töltéssel kell számolni.

A diffúziós kapacitás által tárolt töltés értékét megkapjuk, ha a 9-7c ábra alapján a

$$Q_0 = \int_{t=0}^{\infty} (I_z - I_0) dt = Aq \int_{x=0}^{\infty} [p_N(U > 0) - p_N(U < 0)] dx$$

egyenletet kiszámítjuk, ahol A az átmenet felülete.

Az (5) egyenlet behelyettesítésével az integrálás elvégezhető. Az $L_p = \sqrt{D_p \tau_p}$ egyenlet felhasználásával, továbbá az $I_0 = \frac{qD_p p_0}{L_p}$. A telítési lyukáram helyettesítésével kapjuk, hogy

$$Q_0 = (I_n + I_0) \tau_p \approx I_n \tau_p, \quad (15)$$

ami tulajdonképpen azt jelenti, hogy I_n nyitóirányú áram hatására $I_n \tau_p$ töltésmennyiség tárolódik az átmenetben.

Miután az átmenet továbbá rendelkezik egy ún. tértöltésréteg-kapacitással, így a tárolt összes töltésmennyiség

$$Q_t = Q_0 + Q_c \quad (16)$$

értékű lesz, ahol Q_c a tértöltésréteg-kapacitás által tárolt töltésmennyiség. A μs nagyságrendű élettartamoknál és mA nagyságrendű nyitóirányú mérőáramoknál Q_c értéke dominál a (16) egyenletben. Ellenben ns nagyságrendű élettartamoknál Q_c értéke Q_0 -hoz képest nem lesz elhanyagolható. Így kis élettartamok mérésénél feltétlenül számolnunk kell Q_c jelenlétével. A 9-13. ábrán látható a kapcsolat, mellyel a mérés elvégezhető [9].

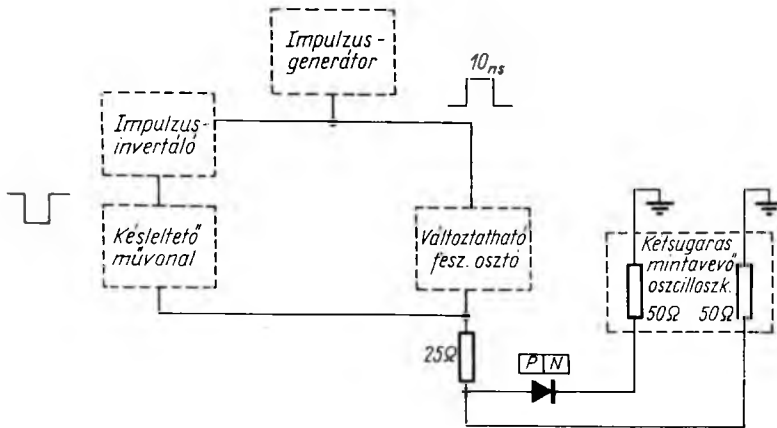
Ezek után a mérés menete a következő.

Nyitóirányú áramimpulzus nélkül, csak különböző amplitúdójú záróirányú impulzusokkal felvesszük Q_c értékének a záróirányú feszültségamplitúdótól való függését. Ha ezt felvettük, akkor ismerjük már, hogy tetszőleges feszültségváltozás-hoz mekkora töltésmennyiség tartozik. A töltést a fellépő áramalak alatti területből lehet leolvasni az idő- és áramlépték ismeretében. Utána beállítunk egy nyitó-, ill. záróáram amplitúdó-értéket az impulzusgenerátorral, ill. a változtatható feszültségosztóval és az impulzusok közötti időt a késleltetővonallal szabályozzuk. Ezen amplitúdóértékek ismeretében az előbbi görbéből Q_c értékét meg tudjuk határozni. Q_0 hatása Q_t -re a késleltetéssel változik, mert az átmenet kontaktusán befogott

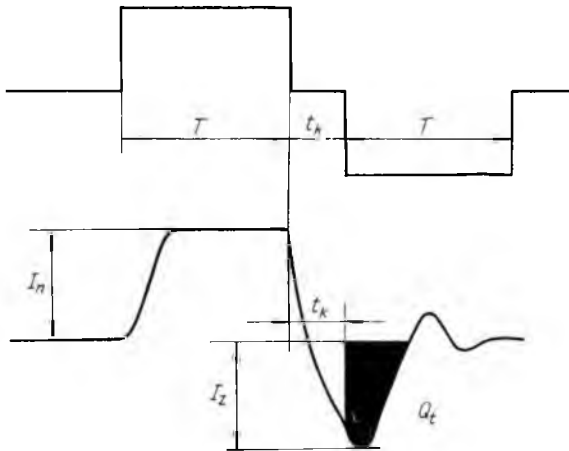
töltésmennyiség csak $t_k = 0$ késleltetési időnél lesz Q_0 értékű. Azaz a befogott töltés kifejezhető a

$$Q_b = Q_0 e^{-\frac{t_k}{\tau_p}} \quad (17)$$

egyenlettel.



9-13. ábra. Rövid élettartam mérésére alkalmas elrendezés [9]



9-14. ábra. A 9-13. ábrán lévő oszcilloszkóp ernyőjén megjelenő kép [9]

A 9-14. ábrán látható áramalakból a befektített terület Q_t teljes töltésmennyiséggel arányos. Ebből levonva a feszültségugráshoz tartozó Q_c értékét Q_b -t fogjuk kapni. Különböző t_k késleltetés mellett Q_b értékét meghatározzuk és ábrázoljuk azt t_k függvényében. Ezek után a (17) egyenlet alapján τ_p értéke leolvasható a $Q_b(t_k)$ görbéből a t_k tengely mentén ott, ahol $Q_b(t_k) = Q_0/e$ értékű, miután tudjuk, hogy $Q_b(0) = Q_0$.

4. A p-n átmenet frekvenciafüggésének vizsgálata

A p-n átmenet frekvenciafüggő viselkedése szintén lehetőséget nyújt az átmenet kisebbségi töltéshordozói effektív élettartamának meghatározására [10].

Ha az átmenetre

$$U = U_0 + u_1 e^{j\omega t} \quad (18)$$

U_0 egyenfeszültségre szuperponált u_1 amplitúdójú váltakozófeszültséget adunk, akkor a (3) egyenletet figyelembe véve az n oldalon $x=0$ helyen levő kisebbségi töltéshordozó lyuksűrűségét behelyettesítés és sorfejtés után a

$$p_N(0, t) \approx p_0 e^{\frac{qU_0}{kT}} + p_0 \frac{qu_1}{kT} e^{\frac{qU_0}{kT}} e^{j\omega t} \quad (19)$$

egyenlet fogja leírni.

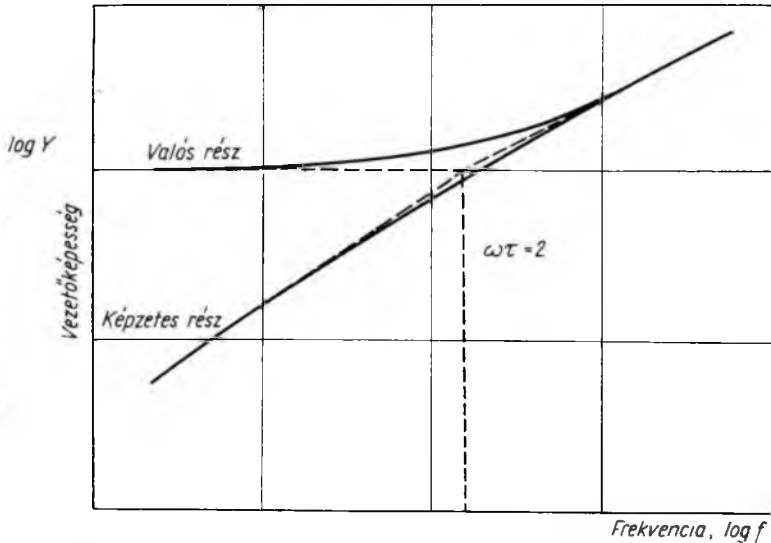
Az egyenlet csak akkor igaz, ha $u_1 \ll \frac{kT}{q}$ egyenlőtlenség fennáll, mert a sor-

fejtést csak a második tagig végeztük el. Az egyenlet második tagja a tulajdonképeni időben változó rész, mely felírható, mint a kristályban v sebességgel terjedő töltéshordozó hullám.

$$\bar{p}_N = \text{const} \cdot e^{j\omega \left(t - \frac{x}{v}\right)} \quad (20)$$

Ha ezt az (1) kontinuitási egyenletbe behelyettesítjük és $1/v$ -re megoldjuk, továbbá átírjuk az $x=0$ helyen levő lyukáramsűrűsége a (2) egyenlet segítségével, akkor kapjuk, hogy

$$\bar{I}_D = A \frac{qD_p p_0}{L_p} \cdot \frac{u_1 q}{kT} e^{\frac{U_0 q}{kT}} \sqrt{1 + j\omega\tau_p} e^{j\omega t}, \quad (21)$$



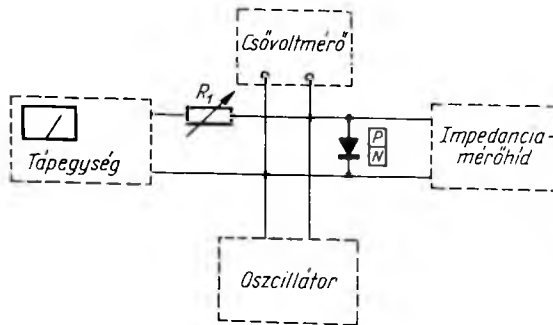
9-15. ábra. A p-n átmenet admittancia reális és képzetes részének frekvenciafüggése [10]

ahol az áramsűrűség helyett már közvetlenül az átmenet áramára fejeztük ki egyenletünket.

Az áram kifejezhető az admittancia és a feszültség szorzataként is az

$$\vec{I}_D = (G_p + j\omega C_D) u_1 e^{j\omega t} \quad (22)$$

egyenlettel, ahol G_p vezetés és C_D diffúziós kapacitás parallel kapcsolásának eredő áramáról van szó.



9-16. ábra. Mérési elrendezés a p-n átmenet admittancia-méréséből kiértékelhető τ mérésére

Ha $\omega\tau_p \ll 1$, akkor a (21) egyenlet négyzetgyökjel alatti tagja kifejezhető:

$$\sqrt{1 + j\omega\tau_p} = 1 + j\frac{1}{2}\omega\tau_p, \quad (23)$$

amiből látható, hogyha

$$\omega\tau_p = 2,$$

akkor az admittancia valós és képzetes része megegyezik. A 9-15. ábrán látható az admittancia valós és képzetes részének frekvenciafüggése. Ha alacsony frekvenciás értékekhez meghúzzuk az érintőket, akkor az érintők metszéspontja $\omega\tau_p = 2$ értéknél lesz. Így ω ismeretében τ_p meghatározható.

A mérés elvi felépítése a 9-16. ábrán látható. A kapcsolási rajzon szereplő R_1 ellenállással U_0 értékét változtatjuk. A csővoltmérővel mérjük U_0 és $U_{1\text{eff}}$ értékét, és az admittancia-mérőhídon a valós és képzetes részt értékeljük ki. Ügyelni kell u_1 beállításakor arra, hogy $\frac{kT}{q}$ értékénél jóval kisebb értékre álljunk be, mert különben a levezetéseink által meghatározott egyenleteink, és ennek következtében mérésünk is hamis lesz.

5. Összefoglalás

A fentiekben összefoglaltunk néhány lehetőséget a τ kisebbségi töltéshordozó effektív élettartamának mérésére. Levezettünk néhány egyenletet, melynek segítségével mérések szerkeszthetők. Levezetéseinkben általában feltételeztük azt, hogy az alkalmazott technológiai eljárás következtében az átmenet n oldalán levő kisebbségi lyuktöltéshordozó-koncentráció lényegesen nagyobb, mint a p oldali kisebbségi

elektron töltéshordozó-koncentráció. Így egyszerű egyenleteket kaptunk, mint pl. a kikapcsolási jelenség vizsgálatokor a

$$\tau_p = -\frac{kT}{q} \frac{1}{\frac{dU}{dt}} \quad (10)$$

egyenletet, az átkapcsolási jelenség vizsgálatokor az

$$\operatorname{erf} \sqrt{\frac{I_n}{\tau_p}} = \frac{1}{1 + \frac{I_z}{I_n}} \quad (14)$$

egyenletet, melyek segítségével az ismertett kapcsolások alapján meghatározhatjuk τ_p értékét. Rövid élettartamok mérésénél figyelembe kellett venni a tértöltés-réteg-kapacitás hatását, ha átkapcsolási jelenségből akartuk az élettartam értékét meghatározni.

Ha az átmenet admittanciájának valós és képzetes részét vettük fel a frekvencia függvényében, akkor az

$$\omega\tau_p = 2$$

egyenlet felhasználásával τ_p nagypontosságú meghatározásának lehetőségéhez jutottunk, amely pl. előnyösen használható kis τ_p értékek kiértékeléséhez.

Irodalom

- [1] *Cihelka, J.*: O Mereni A Typovani Polovodicovych Ventilů. Sbornik Referatu ze seminare, 1962. p. 113—137.
- [2] *Házman I.*: Félvezető eszközök alkalmazása I. Tankönyvkiadó, 1964. 104—116. old.
- [3] *Pálffy M.*: P-n átmenetek árammegszakítási tranzisenseink felhasználása a réteg kapacitásának és a kisebbségi töltéshordozó élettartamának meghatározására. Elektrotechnika 1966. 5—6. 229—232. old.
- [4] *Evans, J.*: Fundamental Principles of Transistors. Heywood & Company Ltd. 1957. p. 161—162.
- [5] *Lax, B. — Neustädter, S. F.*: Transient Response of a p-n Junction Journal of applied Physics, 1954. IX. V. 25. N. 9. p. 1148—1154.
- [6] *Ko, W. H.*: The Reverse Transient Behavior of Semiconductor Junction Diodes. I. R. E. Transaction on Electron devices, 1961. III. p. 123—131.
- [7] *Seiler, K. — Wucherer, H.*: N. T. F. 1.3 1955.
- [8] *Seiler, K.*: Physik und Technik der Halbleiter. Springer Verlag, 1964. p. 119—127.
- [9] *Fell, C. F. — Johnson, W. A.*: Effective Lifetime, A Figure of Merit for Nanosecond Diodes IEEE Transaction on Electron devices, 1964. VI. p. 306—308.
- [10] *Gouchel, F. S. — Pearson, G. L. — Sparks, M. — Teal, G. K. — Shockley, W.*: Phys. Rev. 81. 1951. p. 637.

10.

Diffúziós rétegvastagságok mérésének új módszere

JÓKUTHY ZOLTÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

Új módszert ismertet, mely a szilíciumban diffúzió útján létrehozott p-n átmenetek mélységeinek meghatározására szolgál. Részletesen ismerteti az új eljárás előnyeit a korábban alkalmazott módszerekkel szemben, melyek alkalmatlanná tették a vizsgált mintát további felhasználásra. Az eljárás geometriájának ismertetése mellett egyszerű végképletet ad a diffúziós mélység meghatározására. Összefüggéseket közöl az egyes paraméterek közötti kapcsolatokról, melyek segítségével az optimális értékek minden esetben könnyen meghatározhatók.

НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ДИФФУЗИОННЫХ СЛОЕВ

3. Ёкути

Резюме

Описывается новый метод, который служит для определения глубины *p-n* переходов, созданных в кремнии путем диффузии. Подробно описываются преимущества нового процесса по сравнению с применяемыми методами, которые делали испытанные образцы непригодными для дальнейшего использования. Наряду с геометрическим описанием процесса дается простая предельная формула для определения глубины диффузии. Приводятся зависимости между отдельными параметрами, с помощью которых во всех случаях можно легко определить оптимальные значения.

NEUE METHODE ZUR MESSUNG VON DIFFUSIONS-SCHICHTSTÄRKEN Z. Jókuthy

Zusammenfassung

In der Arbeit wird eine neue Methode beschrieben, die zur Bestimmung der Tiefen der in Silizium durch Diffusion hergestellten *p-n* Übergänge dient. Es werden die Vorteile des neuen Verfahrens gegenüber den früher angewandten Methoden ausführlich dargelegt, demzufolge die geprüften Proben zur weiteren Verwendung unbrauchbar wurden. Neben der Beschreibung der Geometrie des Verfahrens werden einfache Endformeln zur Bestimmung der Diffusionstiefe gegeben. Es werden schliesslich Beziehungen über die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Parametern mitgeteilt, mit deren Hilfe die Optimalwerte in jedem Fall leicht bestimmt werden können.

A NEW METHOD OF THE MEASUREMENT OF DIFFUSION FILM THICKNESS

Z. Jókuthy

Summary

The author describes a new method serving for the determination of the depth of diffused p-n junction in silicon. The paper is dealing with the advantage of the new method over the processes earlier applied which resulted in the deterioration of the specimen and prevented its further use. In addition to the description of the geometry of the process, a simple final formula is given for the determination of the diffusion depth. Relations are given on the correlations among the various parameters which enable, in all cases, the easy determination of the optimum values.

1. Bevezetés

A különböző félvezető elemekben a p-n átmeneteket kezdetben kizárólag ötvözéssel állították elő. Erősáramú félvezető elemek vonatkozásaiban — elsősorban diódák esetén — az ötvözési eljárásnak ma is jelentős szerepe van, azonban a többrétegű átmenetek előállításánál során mindinkább előtérbe kerül a p-n átmenetek diffúziós kialakítása.

A diffúziós technológia térhódítása szükségessé tette a diffúzióval előállított rétegek vastagságának gyors, megbízható mérésére szolgáló mérési módszerek kidolgozását.

Happ és *Shockley* már 1956-ban bemutattak „Grooving Method” néven egy eljárást a diffúziós rétegek mélységének meghatározására.

Diffúziós rétegvastagságok mérésére szolgál még a hagyományos ferdefelületű szögcsiszolós módszer, valamint *B. Jansen* által 1961-ben ismertetett törési felületeken való mélységmérés.

Az általunk kidolgozott és alkalmazott eljárás egyesíti a fenti mélységmérési módszerek előnyeit, s emellett egyszerűbb, gazdaságosabb. Nem igényel külön berendezést, s egyik legnagyobb előnye, hogy — ellentétben az eddig alkalmazott eljárásokkal — a mért minta továbbra is felhasználható.

2. A minta előkészítése

Az erősáramú p-n átmeneteket korong alakú szilícium lemezben hozzuk létre. A szilícium korongot gömbsüveg alakú achátcsészében 800-as szemcsefinomságú alumíniumoxid szuszpenzióval körbecsiszoljuk. Az elrendezés geometriájából adódóan a lemeznek csak a széle csiszolódik le. A csiszolást addig folytatjuk, amíg a lemez teljes vastagságában átciszolódik. A csiszolást kézzel végezhetjük, mert a geometriai viszonyokból adódóan az achátcsésze és a szilícium lemez egymáshoz viszonyított helyzete tetszőlegesen változhat a csiszolás folyamata alatt. A csiszolás időtartama néhány perc nagyságrendű, a geometriai méretektől függően.

A csiszolás után a rétegvastagságokat a szokásos kémiai eljárásokkal „hívjuk” elő. Az általunk alkalmazott oldat összetétele:

100 cm³ HF; 1 cm³ HNO₃.

A csiszolt mintát a fenti oldatba helyezük és infralámpával néhány másodpercig megvilágítjuk. A mintán a „p” típusú réteg sötétbarnás színt nyer az „n” típusú réteg eredeti színével szemben, így a rétegek mikroszkóp alatt jól megkülönböztethetők.

3. Mérés

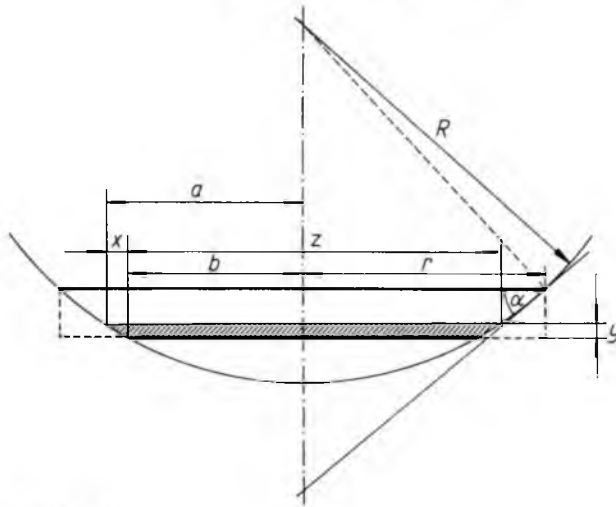
A 10-1. ábrán láthatók a csiszolással előállított geometriai méretek. Az ábra jelölései alapján kimért vetületből az alábbiak szerint határozhatjuk meg az y diffúziós rétegvastagságot.

$$x = a - b,$$

$$z = a + b.$$

$$y = \sqrt{R^2 - b^2} - \sqrt{R^2 - a^2},$$

$$y = R \left[\sqrt{1 - \frac{b^2}{R^2}} - \sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}} \right].$$



10-1. ábra

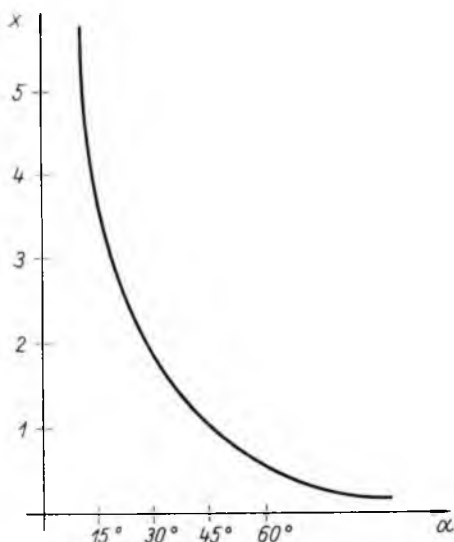
Mivel $b \ll R$:

$$y = R \left[\sqrt{\left(1 - \frac{1}{2} \frac{b^2}{R^2}\right)^2} - \sqrt{\left(1 - \frac{1}{2} \frac{a^2}{R^2}\right)^2} \right],$$

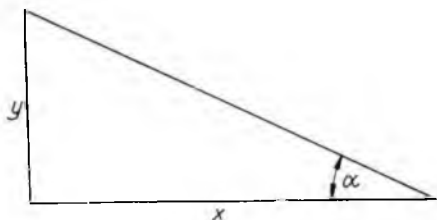
$$y = R \frac{a^2 - b^2}{2R^2} = \frac{(a+b)(a-b)}{2R},$$

$$y = \frac{xz}{D}.$$

A diffúziós réteg vastagsága tehát egyszerűen adódik az x és z értékeiből.



10-2. ábra



10-3. ábra

Az x és z méreteket nagy pontossággú mikroszkóp segítségével határozzuk meg. A pontosabb és kényelmesebb leolvasás érdekében célszerű a mérendő x távolságot minél nagyobbra választani. A 10-2. ábrán láthatjuk, hogyan változik x értéke az α szög függvényében:

$$x = \frac{y}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

y értékét egységnek véve, a 10-3. ábra mutatja x változását.

Tekintettel a lemeztvastagság R -hez viszonyított igen kis értékére, a csiszolt körívet a vizsgált intervallumban a kör érintőjének megfelelő darabkájával helyettesíthetjük, s így a kívánt paramétereket a nevezett érintő és a koordinátatengely által bezárt hegyesszög függvényében vizsgáljuk. A koordináta-rendszert úgy választjuk meg, hogy az egyik tengelye merőleges legyen a szilícium lemez síkjára. Az érintő meredeksége az ív mentén az alábbi egyenlet szerint változik (10-4. ábra):

$$\frac{dy}{dr} = \frac{-2r}{2\sqrt{R^2 - r^2}},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{r}{\sqrt{1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2}}.$$

A 10-5. ábrán látható, hogyan változik a csiszolás szöge az r/R viszony függvényében. Innen tájékoztató értéket is kaphatunk a különböző átmérőjű szilícium lemezekhez választandó csiszolócsesze sugarára.

Tekintve, hogy a rétegvastagság mérésére előkészített lemezt nem csupán vizsgálati mintadarabnak szánjuk, hanem a továbbiakban is használjuk, a csiszolási felület növelésének határt szab az a körülmény, hogy elegendő hasznos lemezfelületnek kell csiszolásmentesnek maradni. A b/r hányadost az α szög függvényében vizsgálva, tájékoztató értékeket kapunk a felületek optimális arányára. A 10-6. ábra jelölései alapján a hasonló háromszögek geometriájából:

$$\frac{r \operatorname{tg} \alpha}{r} = \frac{r \operatorname{tg} \alpha - h}{b},$$

$$\frac{b}{r} = \frac{r \operatorname{tg} \alpha - h}{r \operatorname{tg} \alpha} = \frac{\operatorname{tg} \alpha - \frac{h}{r}}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

A $\frac{b}{r} = \frac{\operatorname{tg} \alpha - \frac{h}{r}}{\operatorname{tg} \alpha}$ függvény képe a

10-7. ábrán látható. A h/r érték a vizsgált lemeznél adott, jelen vizsgálatnál a nálunk leginkább előforduló 0,04 értéket választottam. Az ettől való eltérés a görbe jellegén nem változtat, amíg $r \ll R$.

A fenti számítások, ill. vizsgálatok alapján kiválasztott geometriai értékekkel a lemez szélét lecsiszoljuk.

A rétegvastagság kiszámításához két méretet kell meghatározunk az előkészített lemezen. Ha a mérési, ill. a leolvasási pontatlanság $\pm \Delta$, akkor ez a hiba kétszer jelentkezik, s ezáltal a rétegvastagság értéke az alábbiak szerint alakul:

$$y_f = \frac{(x + \Delta)(z + \Delta)}{D} =$$

$$= \frac{xz + \Delta z + \Delta x + \Delta^2}{D},$$

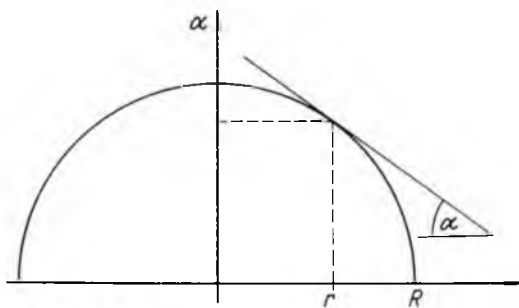
$$y_a = \frac{(x - \Delta)(z - \Delta)}{D} =$$

$$= \frac{xz - \Delta z - \Delta x + \Delta^2}{D},$$

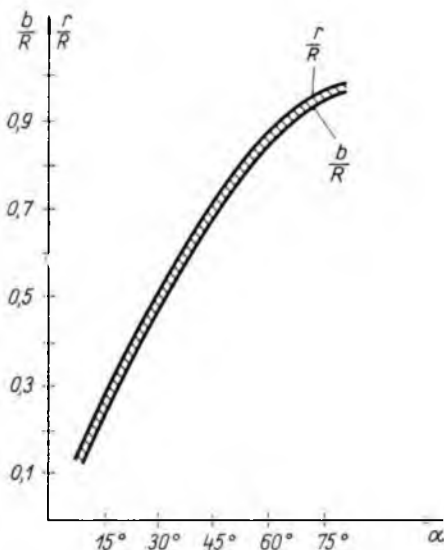
$$y_f - y_a = \frac{2\Delta(z + x)}{D}.$$

A rétegvastagság tehát

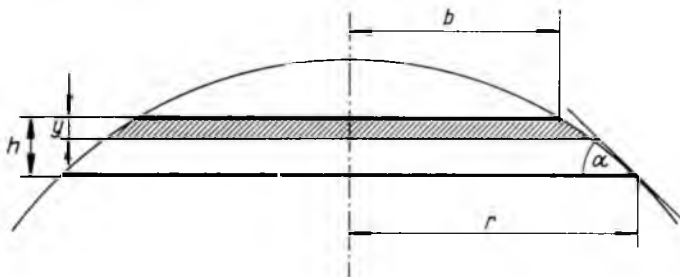
$$y = \frac{xz}{D} \pm \Delta \frac{x + z}{2R}.$$



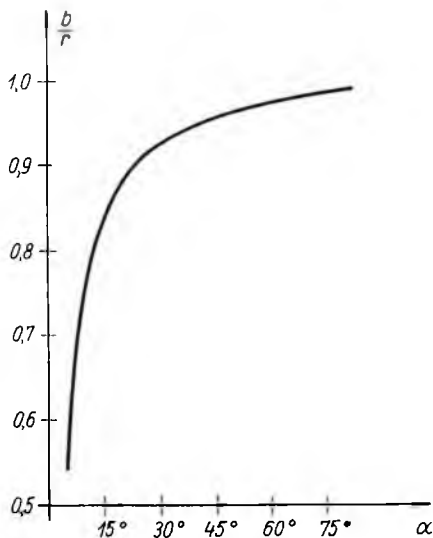
10-4. ábra



10-5. ábra



10-6. ábra



10-7. ábra

Az $\frac{x+z}{2R}$ hányados értéke viszont a

$$\frac{b}{R} < \frac{x+z}{2R} < \frac{r}{R}$$

egyenlőtlenség alapján korlátok közé szorítható. Az $\frac{x+z}{2R}$ hányados az α szögnek függvénye, s így a fenti egyenlőtlenséget a 10-5. ábrán a két görbe közötti terület reprezentálja, mert

$$b \operatorname{tg} \alpha = r \operatorname{tg} \alpha - h,$$

$$\frac{b}{R} = \frac{r}{R} \frac{\operatorname{tg} \alpha - \frac{h}{r}}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Tehát az α szög helyes megválasztásával a hiba nagysága is csökkenthető.

A fentiekben ismertetett eljárással a diffúziós rétegek mélysége kényelmesen, pontosan meghatározható. Nagyon vékony rétegek mérésére is alkalmazható, s gyorsasága, egyszerűsége mellett nagy előnye, hogy a minta a továbbiakban felhasználható, s a vizsgálat nem igényel semmiféle speciális berendezést.

Irodalom

- [1] *Mc Donald, B. — Goetzberger, A.*: Measurement of the Depth of Diffused Layers in Silicon by the Grooving Method. Electrochemical Society, 1962. Febr.
- [2] *Fuller, C. S. — Ditzinger, J. A.*: Diffusion of donor and acceptor elements in silicon. J. of Electrochemical Physics, 1956.
- [3] *Jansen, B.*: A Rapid and accurate method for measuring the thickness of diffused layers in silicon and germanium. Solid State Electronics, 1961. Jan.

11.

Termovillamos anyagok mérésének ipari vonatkozásai

EGRI JÁNOS

ÖSSZEFOGLALÁS

A félvezető hűtőelemek alaptulajdonságát három anyagi állandó, a hővezetőképesség, a villamos vezetőképesség és a termofeszültség szabja meg. E három tényező külön-külön mérhető nagy pontossággal. A Peltier-elemek ipari alkalmazása szükségessé teszi a nagy mennyiségű félvezető rudak megfelelő pontosságú mérését, osztályozását. Ez a leírás magába foglalja a gyorsan elvégezhető jóságítványozó-mérést, az összehasonlítás alapján történő osztályozást és a pontosabb laboratóriumi mérés elvét is.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Я. Эгри

Резюме

Основное свойство полупроводникового охлаждающего элемента определяется тремя материальными постоянными: теплопроводностью, электрической проводимостью и термонапряжением. Эти три фактора могут измеряться по отдельности с большой точностью. Промышленное измерение элементов Peltier вызывает необходимость измерения при соответствующей точности большого количества полуготовых полупроводниковых стержней. В статье дается описание метода измерения коэффициента добротности.

INDUSTRIELLE RELATIONEN DER MESSUNG THERMOELEKTRISCHER WERKSTOFFE

J. Egri

Zusammenfassung

Die Grundeigenschaften der Halbleiter-Kühlelemente werden durch drei Materialkonstanten, die Wärmeleitfähigkeit, die elektrische Leitfähigkeit und die thermoelektrische Spannung bestimmt. Diese drei Faktoren sind getrennt mit grosser Genauigkeit messbar. Der industrielle Einsatz von Peltier-Elementen erfordert eine entsprechend genaue Messung und Klassifikation von halbfertigen Halbleiterstäben in grossen Mengen. Diese Beschreibung beinhaltet die schnell vornehmbare Messung des Gütefaktors und beschreibt auch das Prinzip der auf Grund des Vergleichs erfolgenden und genaueren Laboratoriumsmessung.

INDUSTRIAL ASPECTS OF THE MEASUREMENTS OF THERMOELECTRIC MATERIALS

J. Egri

Summary

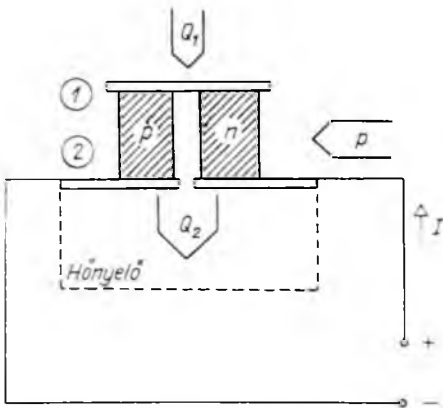
The fundamental properties of the semiconductor cooling elements are governed by three material constants, the thermal conductivity, the electric conductivity and the thermoelectric power. Each of these factors can be measured separately and with high accuracy. The industrial application of the Peltier's cells enables the measurement and classification at satisfactory accuracy of considerable lots of half-finished semiconductor rods. This description covers the figure of merit measurement which can be carried out swiftly, further also the principle of more accurate laboratory measurement based on comparison.

Jelölések:

Q hőteljesítmény, W	z jósági tényező, $1/^\circ\text{K}$
P teljesítmény, W	I áramerősség, A
T hőmérséklet, $^\circ\text{K}$	η hatásfok
ΔT hőmérsékletkülönbség, $^\circ\text{K}$	U feszültség, V
K hővezetőképesség, $\text{W}/^\circ\text{K}$	U_+ egyenfeszültség, V
κ fajlagos hővezetőképesség (hővezetési tényező), $\text{W}/\text{cm}^\circ\text{K}$	U_{\sim} váltakozófeszültség, V
S Seebeck-tényező, $\mu\text{V}/^\circ\text{K}$	t idő,
R ellenállás, Ω	h $4\sigma\epsilon T^3$
ρ fajlagos ellenállás, Ωcm	σ Stefan—Boltzmann-állandó
	ϵ hőemittáló képesség

1. A Peltier-elem tulajdonságai

A p és az n típusú félfém rúdból álló Peltier-hűtőelem az egyenáram hatására kialakuló teljesítmény szállítást használja fel hőelvonás, azaz hűtés céljára. Ha a 11-1. ábrán vázolt elrendezés szerinti Peltier-elempáron a bejelölt iránynak megfelelően egyenáram folyik keresztül, a következő összefüggések érvényesek a teljesítmény-áramlásra. Hűtött oldali hőelvonás:



11-1. ábra. Peltier-elem elrendezési vázlata

$$Q_1 = SI \frac{T_1 + T_2}{2} -$$

$$- 0,5I^2R - (T_1 - T_2)K \quad \text{W.}$$

A tápegységből felvett teljesítmény:

$$P = I[RI + S(T_2 - T_1)] \quad \text{W.}$$

Melegoldalon leadott hőteljesítmény:

$$Q_2 = Q_1 + P \quad \text{W.}$$

A hűtés hatásfokát a hűtött oldali teljesítmény-elvonásnak és a betáplált teljesítménynek a hányadosa adja meg:

$$\eta = \frac{Q_1}{P}.$$

Ez a hatásfok I függvényében más-más érték lesz. Képezve a $d\eta/dI$ deriváltat a hatásfok maximumára

$$\eta_{\max} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \beta$$

adódik (T_1 a hideg-, T_2 a melegoldali hőmérséklet °K-ban).

A szorzat első tényezője a reverzibilis Carnot-ciklus termodinamikai hatásfokát adja, a második tényező az elsőt módosítja, értéke:

$$\beta = \frac{\sqrt{1 + z\overline{T}} - T_2/T_1}{\sqrt{1 + z\overline{T}} + 1},$$

ahol

$$z = S^2/RK,$$

$$\overline{T} = \frac{T_1 + T_2}{2}.$$

A képletből is látható, hogy a z jósági tényező csak anyagi jellemzők függvénye. Meghatározott üzemeltetési feladat kielégítésére az anyag jósági számán, tehát az anyagi jellemzőkön kívül még a p és n darabok méretét és számát is meg kell adni. Mindezek ismeretében a hűtési követelménynek megfelelő elem kialakítható [2].

A termovillamos anyag kutatása és az ipari hűtőelemhez készülő termovillamos anyagok osztályozása ennek a három jellemzőnek, a Seebeck-tényezőnek (termovillamos feszültségnek) a villamos ellenállásnak és a hővezetőképességnek, megfelelő pontossággal mérését teszi szükségessé.

2. A tényezők mérése

A jellemzők kétféleképpen mérhetők. Az egyik módszer szerint a tényezőket egymástól elválasztva, külön-külön mérjük, a laboratóriumi kutatások céljaira szükséges pontossággal. A másik eljárás az összetett mérés elvén alapszik, az összes jellemzőket egy készülékkel, egyidejűleg mérjük; pontossága az ipari felhasználáshoz megfelelő.

S mérése

A mintára kényszerített hőmérsékletkülönbség hatására a félvezetőben feszültség generálódik. Az S -mérés pontosságát a hő- és feszültségmérés pontossága szabja meg, ehhez a méréshez célszerű $1 \mu\text{V}$ pontosságú kompenzátort használni.

R mérése

Lényegében váltakozóáramú ellenállást mérünk. A félvezető rúdon 50 Hz frekvenciájú áramot vezetünk át, és feszültségsondákkal csatlakozva egy érzékeny feszültségmérővel közvetlenül mérjük a rúd szondák közötti hosszán eső feszültséget. Ebből, a geometriai méreteket ismerve, számolhatjuk a fajlagos ellenállást. Ha a

mérőkörbe iktatott hiteles ellenálláson eső feszültséget is mérjük, a viszonyító ellenállás pontossága folytán a mérés pontatlansága csökken. A mérőműszer érzékenysége $10^{-3} \Omega$ nagyságrendű ellenállással számolva, legalább 10^{-4} V -nak kell lennie.

K mérések

A hővezetőképesség mérése — a hő egyirányú áramlásának elérése végett — a minta környezettől való nagyfokú hőszigetelését teszi szükségessé. Ezért ezt a mérést célszerű 10^{-6} Hg mm-es térben, a sugárzó hőt is leárnyékolva, elvégezni. Ha ez a követelmény teljesül, az átáramló hő:

$$Q(t) = -K dT(t).$$

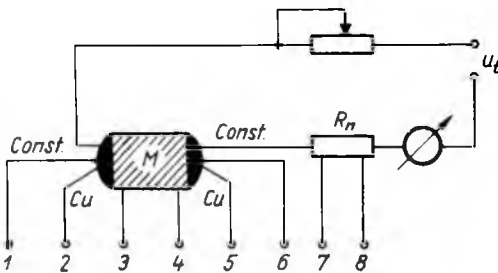
A mérendő mintán állandó teljesítményt áramoltatva, K mérése hőmérsékletkülönbség és teljesítmény méréseire egyszerűsödik.

3. Összetett mérés

Ipari gyártásban a félvezető anyagok mérését elég a sorozat beindításakor 50 ... 100-as nagyságrendű darabszámú összetett mérési módszerrel mérni. Ha a mérés azt mutatja, hogy a gyártásból kikerülő félvezető anyagok egyenletes tulajdonságúak, akkor elegendő egyszerű összehasonlító mérést végezni és csak hosszabb periódusonként beiktatni, ellenőrzésképpen, egy-egy komplett mérést.

Az összetett méréshez a következőképpen készítjük elő a mintát:

A mérendő anyagból 1 ... 1,5 cm hosszú mintát vágva, két végét finom csiszolóvásznon simára csiszoljuk, oldalát szennyeződéstől megtisztítjuk. Az így előkészített minta két végét forrasztanyaggal vonjuk be és ebbe a forraszrétegbe ágyazzuk az áram- és a hőmérsékletmérés célját szolgáló egy-egy 0,2 mm átmérőjű rézhuzalt és egy-egy réz—konstantán hőmérővéget is. A minta oldalfelületére két feszültségsondát forrasztunk, 0,15 mm átmérőjű vörösrézhuzalból. Az így előkészített mintát minimum 10^{-5} Hg mm-es vákuumtérbe téve, megkezdjük az összetett mérést, a 11-2. ábrán látható kapcsolás szerint.



11-2. ábra. Mérési összeállítás

M minta; L teljes hossz, L_{34} a 3 és 4 szonda közti hossz; a minta sugara

Először a minta váltakozóáramú ellenállását mérjük meg úgy, hogy U_t egy 50 Hz-es feszültségforrás. A mérés menete: a beállított konstans áramértéknél (1 cm^2 -es mintakeresztmetszetenél kb. 0,1 ... 0,2 A) a hőmérő 12 vagy 56 pontjain kompenzátorral mérjük a hőmérsékletet, majd nagyérzékenyséű csővoltmérővel a 3 4, 2 5, 7 8 pontok feszültségviszonyát. A mért feszültségviszonyokból a minta fajlagos ellenállása hengeres minta esetén:

$$\rho = \frac{U_{34}}{I} \cdot \frac{a^2 \pi}{L_{34}}$$

ahol

$$I = \frac{U_{78}}{R_n},$$

R_n a normállenállás. A minta forrasztási ellenállással mért együttes ellenállása

$$R = R_c + R_m = \frac{U_{25}}{I}.$$

A minta ellenállása

$$R_m = \frac{U_{34}}{I} \cdot \frac{L}{L_{34}},$$

a forrasztási kontaktellenállás pedig:

$$R_c = \frac{U_{25}}{I} - \frac{U_{34}}{I} \cdot \frac{L}{L_{34}}.$$

Ezután a minta termovillamos feszültségét és hővezetőképességét együtt mérjük, úgy, hogy az U_t -t egy akkumulátor szolgáltatja, az áramot ugyancsak 0,1 és 0,3 A közötti értékre állítjuk be. Mintegy 5...15 min várakozás után, ami a hőegyensúly kialakulásához szükséges, megmérjük a termopárok és az U_{25} szonda feszültségét. A mérést $1 \mu V$ érzékenységű kompenzátorral célszerű végezni. A mérés pontosságát fokozhatjuk oly módon, hogy fordított áramiránnyal is elvégezzük a mérést. Ezzel ui. kiküszöböljük az irreverzibilis folyamatokból (az egyenlőtlen Joule-hőeloszlás és a különböző anyagú érintkezők) származó, legfeljebb 2%-os hibát. Az így kapott eredmények abszolút értékéből számított számtani közepet véve, az irreverzibilis folyamatok által okozott hiba kiesik.

A számítás menete:

$$\Delta T = \frac{|\Delta T^+| + |\Delta T^-|}{2},$$

$$U_s = \frac{|U_{25}^+| + |U_{25}^-|}{2} - \frac{\Sigma R(I^+ + I^-)}{2},$$

(a kitevőben levő + és - jelek az áram irányára vonatkoznak). Az előbbi két értékből a Seebeck-feszültség:

$$S = \frac{U_s}{\Delta T}.$$

A fajlagos hővezetőképesség pedig a

$$K\Delta T = \frac{SI(T_1 + T_2)}{2}$$

képletből:

$$\kappa = \frac{SI(T_1 + T_2)}{2\Delta T} \cdot \frac{L}{\pi a}.$$

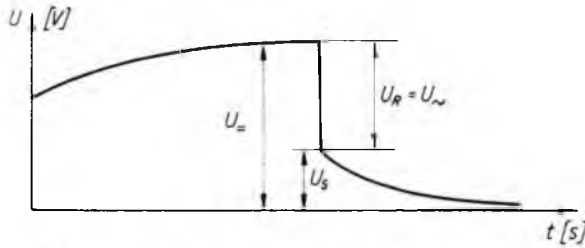
A jósági tényező tehát:

$$z = \frac{S^2}{\rho\kappa} = \frac{U_s}{IRT}.$$

U_s értéke felfogható úgy is, mint az egyen- és váltakozóáramú mérésekből kapott feszültségek különbsége. Ennek alapján:

$$z = \frac{U_{=} - U_{\sim}}{U_{\sim} \bar{T}}$$

Az így mért jósági szám 5%-os pontosságon belül van, figyelembe véve a hővezetés okozta hibából adódó korrekciós tényezőt (értéke szobahőmérsékleten max. + 10%). A mérésnek ez a rendszeres hibája számítható a minta és a rézvezetékek méreteiből.



11-3. ábra. Feszültségváltozás lefolyása

Ezt a hibaszámítást egy henger alakú mintára mutatja be a következő példa. A minta adatai: $L = 1$ cm, $a = 0,5$ cm, $S_m = 180 \mu\text{V}/^\circ\text{K}$; a mérőszál $0,2$ mm átmérőjű és 10 cm hosszú rézhuzal, $I = 0,3$ A, $\Delta T = 1,3$ °K, $T = 300$ °K.

Felírjuk az energiaegyenletet:

$$I(S_m - S_{Cu})\bar{T} = (K_m + K_{Cu})\Delta T + \frac{\pi a(a + L/3)h\Delta T}{2}$$

Az egyenlet összetevői:

$$S_m I \bar{T} = 180 \cdot 0,3 \cdot 300 \cdot 10^{-6} = 1,62 \cdot 10^{-2} \quad \text{W};$$

$$S_{Cu} I \bar{T} = 3 \cdot 0,3 \cdot 300 \cdot 10^{-6} = 2,7 \cdot 10^{-4} \quad \text{W};$$

$$K_{Cu} \Delta T = \frac{4,18 \cdot 3,15 \cdot 10^{-4}}{10} \cdot 1,3 = 1,7 \cdot 10^{-4} \quad \text{W}.$$

Az egyenlet utolsó tagja a sugárzás okozta teljesítményáramot veszi figyelembe, értéke:

$$\frac{\pi a(a + L/3)h}{2} \Delta T = \frac{\pi \cdot 0,5(0,5 + 0,33) \cdot 4 \cdot 5,7 \cdot 10^{-12} \cdot 0,35 \cdot 2,7 \cdot 10^7}{2} \cdot 1,3 = 1,82 \cdot 10^{-4} \quad \text{W},$$

ahol $h = 4\sigma\epsilon T^3$, itt $\epsilon \approx 0,35$ -nek vehető [2].

Az energiaegyenletből

$$K_m \Delta T = 1,62 \cdot 10^{-2} - (2,7 + 1,7 + 2,54) \cdot 10^{-4} = 1,56 \cdot 10^{-2} \quad \text{W},$$

ebből a fajlagos hővezetőképesség értéke:

$$z = \frac{1,56 \cdot 10^{-2} \cdot 1}{1,3 \cdot 0,785} = 1,53 \cdot 10^{-2} \quad \text{W/cm}^\circ\text{K}.$$

A korrekció nélkül mért érték:

$$\alpha_{\text{mért}} = \frac{1,62 \cdot 10^{-2} \cdot 1}{1,3 \cdot 0,785} = 1,59 \cdot 10^{-2} \quad \text{W/cm}^{\circ}\text{K.}$$

Ez azt jelenti, hogy a fajlagos hővezetőképesség jelen esetben közel 4%-kal nagyobbra adódik, mint a tényleges érték. Ez z értékében ugyanilyen százaléku eltérést okoz.

Ipari mérésnél, ha nagy darabszámú, azonos méretű, azonos összetételű, azonos technológiával készített anyag gyártását indítják be, elég viszonyító mérést végezni. Ez azon alapszik, hogy a mérendő anyagot az összetett mérésből már ismert tulajdonságú, azonos anyagú mintával hasonlítjuk össze.

A Seebeck-tényezőt illető összehasonlítás: a félvezető rudat egy állandó hőmérsékletű rézlapra tesszük és a rézlapnál 40...50 °C-kal nagyobb hőmérsékletű szondával végigtapogatjuk úgy, hogy a művelet közben a szonda hőmérséklete ne változhasson. Eközben regisztráljuk a lap és a szonda közötti feszültséget a távolság függvényében, amiből a termovillamos feszültségváltozásra következtethetünk. Az eredményeket a már korábban jónak elfogadott mintadarab ugyanezzel az eljárással mért feszültségeivel összehasonlítva, információt kaphatunk a félvezetőanyag felhasználhatóságáról.

Ellenállásváltozáson alapuló mérés: egy Q (jósági tényező)-mérő megfelelően illesztett — és a készülő anyagok átmérőjénél 1...2 mm-rel nagyobb belső átmérőjű — tekercsbe helyezve a mérendő félvezető anyagot, az ellenállásváltozás arányában megváltozik a tekercs jósági tényezője. A Q -mérőt ismert ellenállású félvezető rudakkal kell hitelesíteni. Az egyes meghatározott ellenállású rúdhoz tartozó műszerkitéréseket megjelölve, pontos kalibráció készíthető.

A fenti két összehasonlító mérés alapján az anyag jósági tényezője számára elegendő információ nyerhető, és így megtakarítható az időigényes mérési előkészítés.

Irodalom

- [1] *Heikes, R. R.—Ure, R. W.*: Thermoelectricity; science and engineering. Interscience Publishers, New York, 1961.
- [2] *Egli, P. H.*: Thermoelectricity, Wiley, New York, 1960.
- [3] *Dr. Gramberg, G.—Dr. Plust, H. G.*: Entwicklungsarbeiten aus dem Gebiet der Thermoelektrizität. Brown Boveri Mitteilungen, 11—12 (1962) p. 501—518.
- [4] *Drable—Goldsmid*: Thermal Conduction in semiconductors. Pergamon Press Ltd, London, 1961.
- [5] *Cadoff—Miller*: Thermoelectric materials and devices. Reinhold, London, 1960.

12.

Szilíciumkarbid porok villamos minősítéséről

MARTIN RÓBERT

ÖSSZEFOGLALÁS

A nemlineáris ellenállások készítésénél alkalmazható szilíciumkarbid kristályokról általában. A porok mechanikai viselkedése. Összenyomhatóság, szemcseméret, nyomás vizsgálata. — A villamos térerősség, áramsűrűség, nyomás összefüggései. A nemlinearitási tényező változása. — Összehasonlítás a valóságos körülmények között működő porokkal.

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КАЧЕСТВЕ ПОРОШКА ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ

P. Martin

Резюме

Вообще о кристаллах карбида кремния, применяемых при изготовлении нелинейных сопротивлений. Механическое поведение порошка. Исследованы сжимаемость, размера зерен, давления. Взаимосвязь между напряженностью электрического поля, плотностью тока, давлением. Изменение коэффициента нелинейности. Сравнение с используемыми в фактических условиях видами порошков.

ELEKTRISCHE QUALIFIZIERUNG VON SILIZIUM-KARBID-PULVERN

R. Martin

Zusammenfassung

Es wird allgemein über die zur Fertigung von nichtlinearen Widerständen verwendbaren Silizium-Karbid-Kristalle berichtet. Mechanisches Verhalten der Pulver, Zusammendrückbarkeit, Korngröße, Druckprüfung. — Zusammenhänge zwischen elektrischer Feldstärke, Stromdichte und Druck. Änderung des Nichtlinearitätsfaktors. — Vergleich der unter realen Verhältnissen eingesetzten Pulver.

ELECTRIC QUALIFICATION OF SILICON CARBIDE POWDERS

R. Martin

Summary

General aspects of crystals used in production of the non-linear resistances. Mechanical behaviour of the powders. Compressibility, grain size, compression studies. Relations between the electric field strength, current density and compression. Variations of non-linearity factor. Comparison with powders in actual application.

Az ismert korszerű szelephatású túlfeszültség-levezetőekben alkalmazott nemlineáris ellenállások aktív anyaga polikristályos szilíciumkarbid. Ennek szemcseméretét és egyéb jellemzőit, a mindenkori felhasználási igény alapján határozzák meg. A választott kötőanyag az alkalmazott gyártási technológiától függ [1].

A nemlineáris ellenállások készítéséhez használt SiC szemcsehalmazok vizsgálata hasznos tájékoztatást ad az anyag kötött állapotban várható viselkedéséről. Ilyen minősítő vizsgálat különböző fizikai és kémiai sajátágok meghatározására terjed ki. Mérésünk részleteiben a szemcsehalmazok különböző nyomás alatti viselkedésével és az ezt kísérő főbb villamos változásokkal foglalkozik.

Előljáróban ismertetjük a levezetőellenállásokhoz alkalmazható elektrotechnikai szilíciumkarbid néhány jellemzőjét [2]:

Fizikai jellemzők:

Fajsúly	3,2 p/cm ³
Fajhő (31...98,5 °C)	0,2 cal/g °C
Hővezetőképesség (0...1100 °C)	0,17...0,044 cal/cm/s °C
Hőtágulási tényező (25...1400 °C)	4,4...4,7·10 ⁻⁶ /°C
Keménysége Mohs szerint	kb. 9
Leggyakrabban előforduló kristálymódosulat	Mod III. (4H)
Cellaállandók	$a = 3,079 \text{ \AA};$ $c = 10,257 \text{ \AA};$ $c/a = 2,0 \times 1,632$
A kristály vezetési típusa	p
Színhatás	sötétkék (kéktől feketéig terjedő árnyalatokkal).

Vegyí összetétel, % [3]:

Tiszta SiC min.	98,2
Szennyezések max.	
szabad C	0,4
szabad Si	0,8
szabad SiO ₂	0,7
Fe tart. Fe ₂ O ₃ -ra számolva	0,15
Al tart. Al ₂ O ₃ -ra számolva	0,25
Ti, Ca, Mg (oxidokban) összesen	0,05
alkáliák (oxidokban) összesen	0,001
kimutatható egyéb nyomszennyezések	Mn, Ni, V, Cu.

A szemcsehalmazok vizsgálatokor nyert eredményeket SiC alapanyagú, feszültségtől függő ellenállások készítésénél lehet célszerűen felhasználni. Ezért a jelenségeket olyan szempontból kell vizsgálnunk, hogy a nyert tapasztalatok a kötött állapotban működő szemcséknél is felhasználhatók legyenek.

Mivel a szemcsék aránylag nagy villamos térben dolgoznak, igen lényeges, hogy a szemcsehalmaz elemei közel azonosan viselkedjenek. Mechanikai hasonlattal élve: csak azonos szilárdságú építőkövekből célszerű egy jól terhelhető rendszert összeállítani. Ez a szilíciumkarbidnál a szemcsefrakciónak olykor igen erős szűkítésével jár. Ezen túlmenően az erőtér hirtelen változásaival járó káros hatások kiküszöbölése érdekében fontos a szemcsék geometriai formája is. Azt az örleményt tekinthetjük kielégítőnek, amelyben — megfelelő nagyítás (kb. 100×) alatt vizsgálva a szilíciumkarbidot — a szemcsék lesarkított élű, kokszt-szemcsékhez hasonló alakot mutatnak. A laphasadásos, vagy túszerű kristályképződmények a villamos teret torzító hatásuk, valamint a későbbiekben tárgyalt mechanikai tulajdonságuk miatt is károsak.

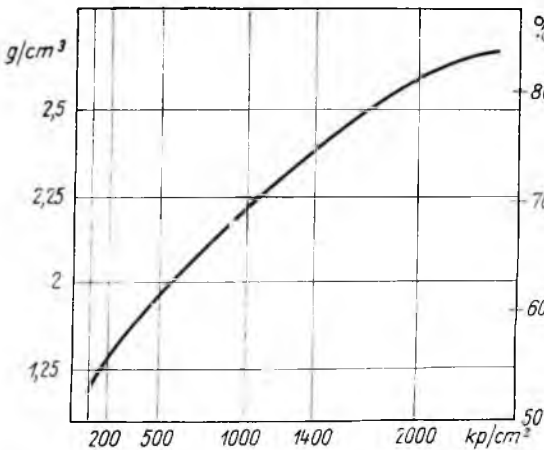
A szilíciumkarbid nyomás alatti viselkedését a 12-1. ábrán bemutatott elrendezésű mérőhüvelyben vizsgáltuk. A dugattyúk anyaga nagyszilárdságú acél. A plexi

szigetelőcsövet a felületi viszonyok megóvása érdekében prespánpapír béléssel látuk el és ezt — szükség szerint — többször cseréltük. A vizsgálat folyamán különböző l/D hányadosok beállítása céljából az átmérőt 12 és 55, a magasságot 5 és 25 mm között változtattuk. A mérés tartalmi részét az ábrán feltüntetett $\varnothing 22 \times 10$ mm-es mintákon végeztük.

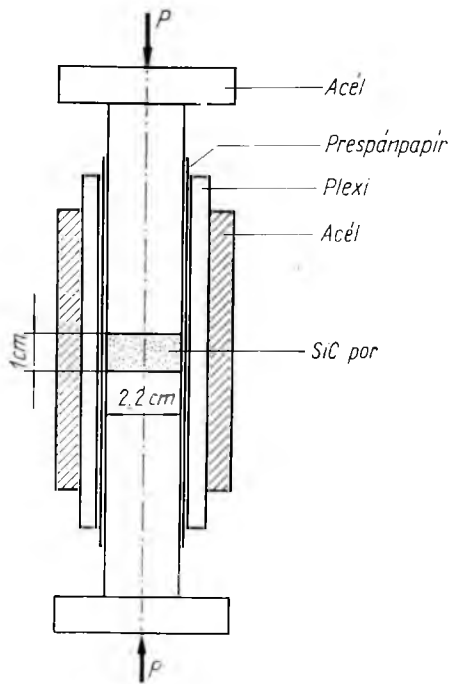
Ha egy teret azonos méretű, merev gömbökkel töltünk meg, kb. 52%-os kitöltést kapunk. Ha a kitöltést többféle átmérőjű gömbbel végezzük, a kitöltési tényező növelhető. Ha az előbbieken körülírt alakú, viszonylag szűk mérettartományra korlátozott szemcséket helyezünk a mérőhengerbe és azt nyomóerő alkalmazása nélkül rendezzük, kb. 55%-os kitöltést mérhetünk. Ez jól egyezik az elméletileg számított értékkel.

A mérőkészüléket présbe helyezve, a nyomás függvényében vizsgálhatjuk a kitöltés alakulását. A szemcsehalmaz sem mérhető rugalmasságot, sem képlékenységet nem mutat, ezért a nyomást lehetőség szerint statikus jelleggel kell a mintával közölni. 0,2...1-ig terjedő l/D tartományban jól egyező eredményeket mértünk. A 12-2. ábrán a sűrűség és a kitöltési tényező alakulását ábrázoltuk a nyomás függvényében. 2000 kp/cm² nyomásnál a kitöltési tényező kb. 80%-ra való növekedése a szemcsetörésből bekövetkező nagymértékű frakciókiszéledésre mutat.

A szemcsenagyság elosztásának ábrázolására haranggörbéket szokás használni.



12-2. ábra

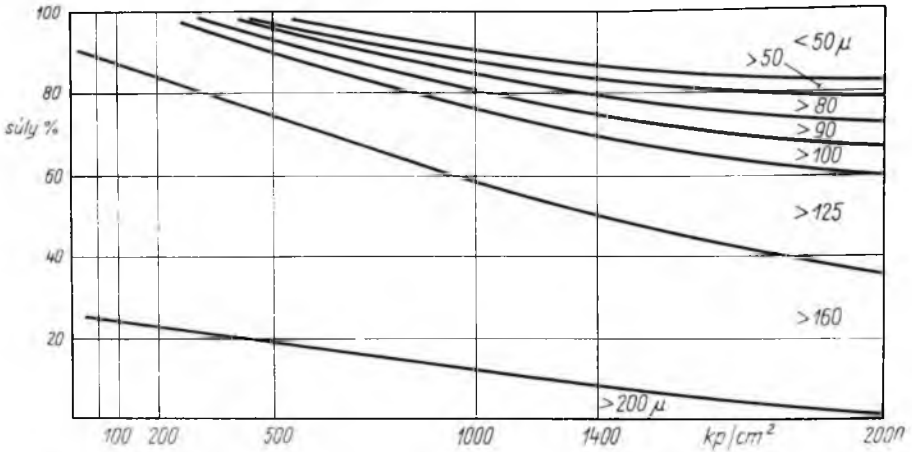


12-1. ábra

Egyedi esetekben ez nagyon képies ábrázolási mód, nyomás-sorozat hatásának folyamatos ábrázolására azonban nem alkalmas. Az általunk bemutatott rendszerben (12-3. ábra) tetszőleges nyomásértékek mellett vizsgálható a szemcsék mérete és azok százalékos előfordulása. Az ábrán 100-as szemcseosztályú szilíciumkarbid porlását dolgoztuk fel [4]. A mérésre került anyag az Elektroschmelzwerk G. m. b. H. Kempen-i cégtől származik.

A kiinduló anyagban 70%-nyi volt a 160...200 μ méretű kristály, amely a nyomássorozat végére közel 30%-ra esett. A döntő súlyt

az elején elenyésző mennyiségben jelenlevő apró szemcsék vették át. Az eloszlási képből megállapíthatjuk, hogy kb. 500 kp/cm² nyomásig nem történik lényeges változás a szemcseméretben.



12-3. ábra

A szemcsehalmazok mechanikai viselkedésének megismeréséhez szükséges nagyszámú mérést — a VKI Félvezető Laboratóriumában 1964. év folyamán végeztük el. Eredményeink helyességét egyéb, később nyilvánosságra hozott adatok [8] is igazolják.

A nemlineáris ellenállások két fő üzemi állapot:

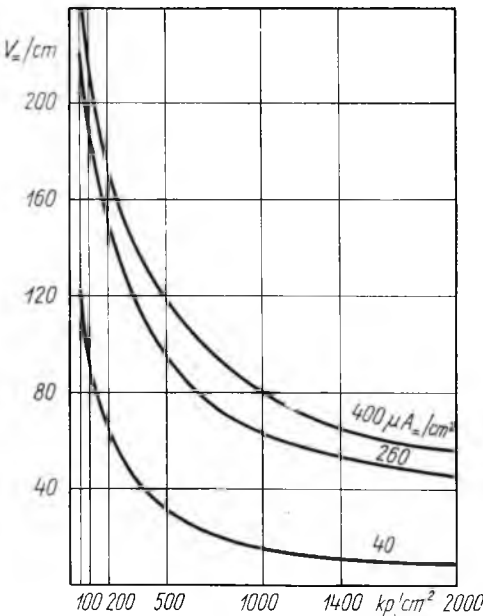
a) egyen- vagy váltakozófeszültségen, kis áramsűrűségeknél (pl.: vezérlő-, szabályozóelemek);

b) nagy áramsűrűséget előidéző impulzusüzemben (pl.: túlfeszültség-levezetők munkaellenállásai).

Ezen két üzemi állapotot kívántuk leképezni a szemcsehalmazok mérésekor, hogy összevethessük a valóságos körülmények között működő porokkal.

A 12-4. ábrán látható térerősség-diagramot egyenárammal vettük fel — a jelzett áramsűrűségek vonalán — a nyomás függvényében.

A kezdeti szakaszban igen meredek a görbék esése, mutatva a kis áramoknál a kontaktusok erős nyomásfüggését. Feltetésünk szerint a vezetőképesség növelését az átfúródott borítórétegek, valamint a friss törési felületek okozzák. A vízszinteshez való tartás a SiC vezetőképességé-



12-4. ábra

nek egy meghatározott értékhez való közeledését jelzi. A mérés megerősíti azokat a megállapításokat is [2], hogy a borítórétegek — normális körülmények között — csak igen lassan regenerálódnak.

A szemcsehalmoz vezetőképességének változását jól tükrözi a nemlinearitási tényező [5] alakulása, amit a 12-5. ábrán mutatunk be.

Az impulzusmérést közel $300 \text{ A}_{cs}/\text{cm}^2$ áramsűrűségig végeztük (12-6. ábra), $8/20 \mu\text{s}$ alakú hullámokkal [6]. Az összefüggéseket térerősség—nyomás koordináta-rendszerben ábrázoltuk. Ezzel kapcsolatban néhány megállapítást tehetünk:

a) A kisáramú tartományokban (kb. $5 \text{ A}/\text{cm}^2$ -ig) a térerősség—nyomás-görbe közel lineáris, emelkedő jellegű.

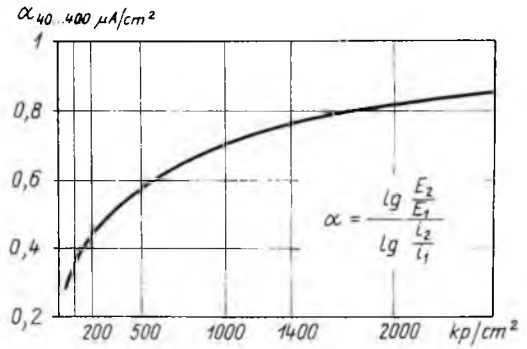
b) Az áramsűrűség növekedésével a görbék jól értékelhető minimumot mutatnak. A kezdeti süllyedő szakasz (a szemcsetörés beállta előtt) az átmeneti ellenállások csökkenését mutatja. A minimum után a nyomás függvényében a görbe emelkedő jellege hasonló, mint a kisáramú tartományban.

A 12-7. ábrán az impulzus-üzemmódra számított nemlinearitás-változást láthatjuk.

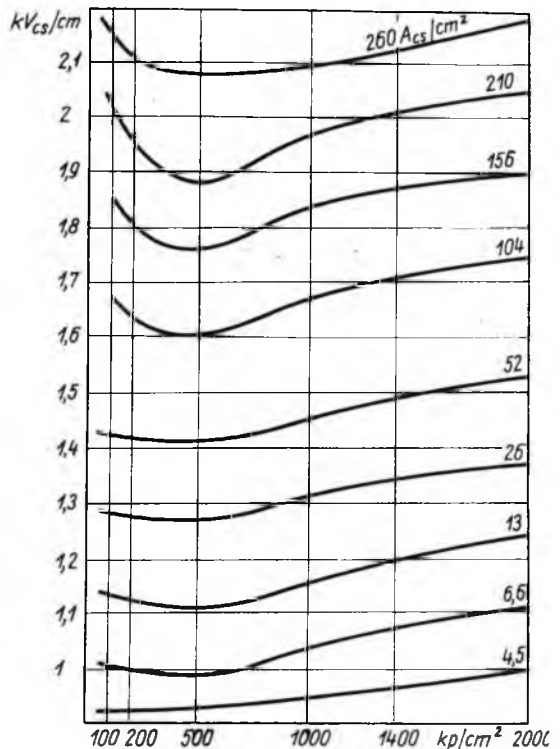
Az elvégzett mérésekből (az előzőekben említett két üzemmódnak megfelelő esetben) látható, miként reagálnak a szemcsehalmozok a változó nyomásra. Megállapíthatjuk, hogy kb. $500 \text{ kp}/\text{cm}^2$ az optimális nyomás; ezen felül a kristályok zúródásával kell számolni.

A kötőanyag jelenléte több vonatkozásban okoz változást:

- A hőkezelés alkalmával a SiC felületén mindig jelenlevő borítóréteggel olykor diffúziós kapcsolatba lép a kötőanyag és egy nagyobb ohmos ellenállású, esetleg nemlineáris jellegű réteg keletkezik. Ez a réteg akkor is létrejön, ha a hőfolyamat egy korábbi szakaszában részben feloldjuk a borí-



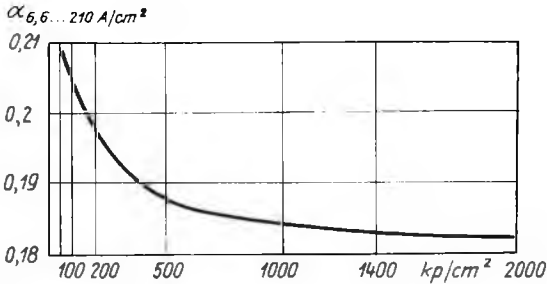
12-5. ábra



12-6. ábra

tóréteget. Ilyen jelenségnek tulajdonítható, hogy a túlfeszültség-levezető munkaellenállásoknál használatos áramsűrűség-tartományban ($5 \dots 300 \text{ A/cm}^2$) — a kezdeti értékhez mérten — az ellenállás $1/6 \dots 1/12$ -ére csökken, míg szemcsehalmaz alakjában ez az érték $1/10$ körüli.

- A kötőanyag a szemcsék között kialakult villamos térben helyezkedik el. Annak fajlagos vezetőképessége az alkalmazás módjától függ. Levezető-ellenállások esetében kb. $10^5 \Omega \text{cm}$ értékű. Ilyen kötőanyag alkalmas a belső villódzások megakadályozására.



12-7. ábra

Ezzel szemben a szemcsehalmaz alakjában vizsgált SiC kedvezőtlenebb helyzetben van.

- A kötőanyag a szemcseátmenetknél keletkező hő elvezetésében is részt vesz. Ez lassítja a SiC vezetőképességének termikus eredetű növekedését, s megfelelő anyagi sajátságok mellett a kristálykontaktusok oxidációját is, ennek hatása aránylag gyenge.

- A kötőanyagában a SiC szemcsék nyomás alatti törése kb. 50%-kal nagyobb értéken következik be.

Az ellenállások készítésével foglalkozó érdekeltségeknek egy-egy SiC szállítvány feldolgozása előtt számos anyagi paramétert meg kell vizsgálni. Ilyenek: szemcseméret eloszlása, kémiai összetétel, nemlineáris vill. vezetőképesség stb. Ellenkező esetben a gyártmány minőségének nagymértékű hullámzásával kell számolni. Megállapításunk szerint:

- A szemcseméret, présnyomás és a kötőanyag mennyiségi és minőségi viszonya alapvetően kihat az ellenállás nyert porozítására.
- Ha az alkalmazott présnyomás mellett szemcsezúródás következik be, az azonos áramsűrűséghez tartozó térerősség növekedésével kell számolni. Ez egyrészt a maradékfeszültség növekedését okozza, másrészt a termikus igénybevehetőséget csökkenti, ami elsősorban az ún. négyzöghullám-állóságnál nyilvánul meg. Az ilyen jelenség egyúttal rámutat arra a tényre, hogy a SiC nemlinearitásának fokozása nem történhet az egyéb jellemzők rovására. [7].

A nemlineáris ellenállások villamos jellemzőit döntő mértékben az alkalmazott SiC felsorolt tulajdonságai határozzák meg. Ezek jobb megismerését célozták a szemcsehalmazokon elvégzett vizsgálatok.

Irodalom

- [1] *Bogoly I.*: Túlfeszültségvédelmi célokra szolgáló SiC alapanyagú ellenállások. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1958.
- [2] *O'Connor—Smiltens*: Silicon Carbide. Pergamon Press, Oxford, 1960.
- [3] Chemische Analyse von Siliciumcarbid. DIN 51 075
- [4] Sieb-Tabelle. DIN 4188 (1957)
- [5] *Lukács J.*: Weitere Verbesserung Nichtlinearer Widerstände. Energietechnik, 1963. okt.
- [6] *Eisler J.*: Bevezetés a nagyfeszültségű technikába. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1965.
- [7] *Bogoly I.*: Túlfeszültségvezetők védelmi jellemzőinek néhány kérdése. Elektrochnika, 1964. 11—12.
- [8] *Konopický, K.*: Die Verschiebung der Körnung beim Pressen von Korngemischen, vorzugsweise von feuerfesten Massen. Ber. Dtsch. Keram. Ges. 42. (1965) H. 11.

13.

Mérési módszer levezetőellenállások működését utánzó próbákhoz

SZENT-IVÁNYI GYÖRGY

ÖSSZEFOGLALÁS

Tűlfeszültség-levezetők egyik előírt vizsgálata a komplex működési próba. A próba végrehajtásához nagyteljesítményű hálózati csatlakozás és transzformátor szükséges. Mérési módszert ismertetünk, melynek segítségével a működést utánzó próba kis teljesítményű csatlakozásról is elvégezhető.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ УТЕЧКИ

Д. Сент-Ивани

Резюме

Предусмотренным испытанием нелинейных сопротивлений является комплексное испытание работы. Для проведения испытания требуется мощная сеть и трансформатор. Описывается метод измерения, с помощью которого можно произвести испытание на подражание посредством маломощного подсоединения.

MESSMETHODE FÜR PROBEN VON ABLEITWIDERSTÄNDEN, DIE DEN BETRIEB NACHAHMEN

Gy. Szent-Iványi

Zusammenfassung

Die vorgeschriebene Prüfung von Überspannungsableitern ist die komplexe Wirkungsprobe. Zur Vornahme dieser Probe ist ein Hochleistungs-Netzanschluss und ein Transformator erforderlich. Es wird eine Messmethode beschrieben, mit deren Hilfe die nachahmende Wirkungsprobe auch von einem Niederleistungsanschluss vorgenommen werden kann.

MEASURING METHOD FOR TEST, IMITATING THE OPERATION OF NON-LINEAR RESISTANCES

Gy. Szent-Iványi

Summary

A complex operating test is required for testing the surge arresters. A power mains connection and a transformer are necessary to perform the test. A measuring method is described, by the aid of which, the test imitating the operation, can be performed by a low power connection.

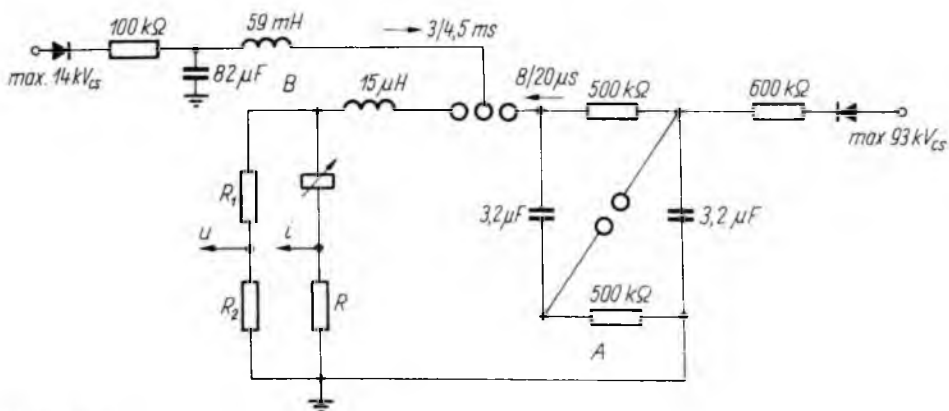
Amikor a túlfeszültség-levezetőt megszóllaltató, vagy annál nagyobb értékű feszültséglökések éri, a készülék szikraközei átütnek. A túlfeszültség által felhalmozott töltések levezetésével egyidejűleg — az átütött szikraközökön keresztül — a hálózati feszültség ún. utánfolyóáramot tud megindítani. Ennek nagyságát azonban a szikraközökkel sorosan kapcsolt nemlineáris ellenállások olyan értékre korlátozzák, amit a feszültség nullátmenetekor a szikraközök meg tudnak szakítani. Helyes működés esetén tehát max. fél periódus időtartamig kell a nemlineáris ellenállásoknak az utánfolyó áramot elviselni.

A nemlineáris ellenállások vizsgálatára a szabványok előírják a valóságos körülményeknek megfelelő működési próbát. A próba alkalmával a levezetőt, vagy nagyobb feszültség esetén annak egy arányos részét a max. megengedett üzemi feszültségre kapcsolva, $8/20 \mu\text{s}$ alakú, névleges levezetőáramú lökőhullámmal kell megszóllaltatni, kb. 60 villamos fokkal a hálózati feszültség csúcserőtelé előtt.

A nemlineáris ellenállások vizsgálata szempontjából a próba lényeges része az utánfolyóáram okozta igénybevétel. Az ellenállásoknak az utánfolyóáram következtében fellépő hőigénybevételt átütés nélkül kell kiállniuk.

A komplex működési próbához több MVA teljesítményű hálózat szükséges, mivel a próbák rövid terhelési ideje alatt a hálózati feszültségnek 10%-nál nagyobb mértékben nem szabad csökkennie. Az ellenállások kutatásával, vagy készítésével foglalkozók számára nem mindig áll rendelkezésre megfelelő hálózati csatlakozás.

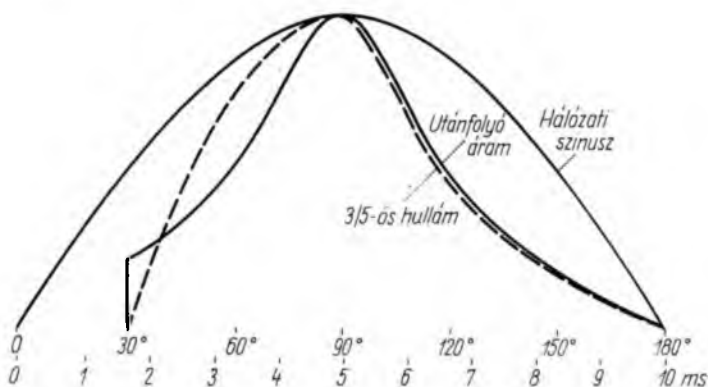
Laboratóriumi vizsgálatok céljára létrehozható olyan kapcsolás, amelyben az ellenállás a működéskor fellépő igénybevételnek tehető ki. Lényegében két lökésgerjesztő együttes üzemét kell létrehozni. Egyik szolgáltatja a túlfeszültség lökőhullámát, a másik a hálózati feszültség által — félperióduson át — fenntartott utánfolyóáramot.



13-1. ábra

A $8/20 \mu\text{s}$ alakú lökőhullámot szolgáltató lökésgerjesztőt és a kb. $3/5 \text{ ms}$ alakú utánfolyóáramot szolgáltató generátort a 13-1. ábra szerinti módon, egy három gömbből álló szikraköz segítségével kapcsoljuk össze. Ha a lökésgerjesztőket feltöltjük, a szikraközön beállított feszültségértéknél megszóllálás következik be. A megszóllaltatásra a $8/20 \mu\text{s}$ alakú áramhullámot adó egység (A) hivatott. A háromtagú szikraköz átütése folytán a hosszúhullámú generátor (B) a próbatestre kapcsolódik, mely az utánfolyóáramhoz hasonló időbeli lefolyású félhullámot szolgáltat.

A szikraközökkel beállítható $8/20\ \mu\text{s}$ -os áramlökés csúcsértéke. A hosszúhullámú generátort (B) úgy kell beállítani, hogy kondenzátorai az A lökésgerjesztő töltési ideje alatt pontosan akkora feszültségre töltsenek, mint amennyi a kívánt utánfolyóáram előállításához szükséges.



13-2. ábra

A két generátorral adott áramhullámok csúcsértékét előre megállapítjuk. A $8/20\ \mu\text{s}$ alakú áramhullám csúcsértéke a vizsgálandó ellenállás névleges vezetőáramának felel meg. Az utánfolyóáramot adó áramhullám csúcsértékét — a kívánásoknak megfelelően — széles határokra belül változtathatjuk. Helyes szikraköz és töltőfeszültség beállítása után a komplex áramhullámok a kikapcsolásig önműködően ismétlődhetnek. Az ismétlődés gyakoriságát a lökőgenerátor töltőfeszültségének állításával lehet szabályozni.

A teljes hullám oszcillogramja egyszerre nem rögzíthető, mert a kétféle hullám csúcsértéke között nagyságrendi eltérés van. Figyelemre méltónak tartjuk azonban a 13-2. ábrát, melyen a hálózati feszültség szinusz hullámát, valamint a nemlineáris ellenállás hatására eltorzult hálózati utánfolyóáram görbét is megszerkesztettük, összehasonlítva a szóban forgó kb. $3/5$ ms alakú hullámmal.

Az összehasonlításból látható, hogy a kb. $3/5$ ms alakú áramhullám jól megközelíti a valóságos utánfolyóáram alakját. Ilyen áramhullám csúcsértékének megfelelő változtatásával helyettesíthetjük a hálózati oltási mérésnél lejátszódó folyamatokat. Természetesen a megfelelő hálózati csatlakozás helyett külön lökésgerjesztőre van szükség, melyre célszerűen alkalmazhatók a laboratóriumokban egyébként is rendelkezésre álló, négyszöghullámú próbákhoz szolgáló generátorok.

VILLAMOS
KÉSZÜLÉK
LABORATÓRIUM

14.

Újtípusú, DIN 43 625 előírásai szerinti, közép feszültségű, nagy megszakítóképességű áramkorlátozó biztosítók

DR. MOCSÁRY JÓZSEF

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány ismerteti az Intézet Villamos Készülék Laboratóriumában kidolgozott NNGfe-típusú, egységes érintkezőjű, közép feszültségű, nagy megszakítóképességű áramkorlátozó olvadóbiztosítókat és az azokkal elért eredményeket.

A biztosítóbetétek a teljes áramtartományra kiterjedően biztos működést eredményez — az Intézetben korábban kidolgozott — sűrű osztásban folyamatosan változó keresztmetszetű olvadószálakkal készülnek, külső méreteik (teljes hossz, aljzathoz csatlakozó érintkező átmérője) megfelelnek a DIN 43 625 szabvány előírásainak. A biztosítóbétét egyik végén — ugyancsak a DIN 43 625 előírásainak megfelelő műszaki adatokkal rendelkező — nagy rugóerejű kioldószerkezet van, amely a kioldás jelzésén túlmenően alkalmas arra is, hogy külön közbeiktatott segédértároló-szerkezet nélkül, közvetlenül működtesse pl. a biztosítóval kombinált terhelésszakasztól. Ezáltal a közép feszültségű biztosító felhasználási területe tovább bővíthető.

A zárlati vizsgálatok eredményeinek tanúsága szerint az NNGfe-típusú biztosítók nemcsak hogy egyenrangúak a hasonló célú külföldi gyártmányokkal, hanem lényegesen túl is haladják azok megszakítóképesség adatait.

A biztosítókat az 1967-évi Budapesti Nemzetközi Vásáron „Budapest Főváros Nagydíj”-val tüntették ki.

СРЕДНЕВОЛЬТНЫЕ ТОКООГРАНИЧИТЕЛЬНЫЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ НОВОГО ТИПА С ВЫСОКОЙ РАЗРЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ, РАЗРАБОТАННЫЕ НА ОСНОВЕ УСЛОВИЙ СТАНДАРТА ДИН 43 625

Др. И. Мочари

Резюме

Статья описывает средневольтные токоограничительные плавкие предохранители с высокой разрывающей способностью, типа NNGfe, обладающие типовым контактом, разработанные лабораторией Научно-Исследовательского Института Электротехнической Промышленности, и достигнутые в этой области результаты.

Предохранительные вставки выпускаются с плавкими итиями переменного сечения, ранее разработанными Институтом: они дают надежное срабатывание в полном диапазоне тока. Наружные размеры их (общая длина, диаметр разьема, присоединяющегося к подставке) удовлетворяют требованиям условий стандарта ДИН 43 625. Один из концов вставки предохранителя, технические данные которого также соответствуют условиям стандарта ДИН 43 625, оснащен разрывающим механизмом с большим пружинным усилием, который кроме сигнализации расплавления пригоден также для непосредственного привода треншальтера нагрузки, комбинированного с предохранителем, без отдельного промежуточного механизма для накопления вспомогательных усилий. Это позволяет расширить область применения средневольтных предохранителей.

На основании результатов испытаний на короткое замыкание, предохранители типа NNGfe не только равноценны аналогичным изделиям заграничного

производства, но обладают даже лучшими по сравнению с этими данными по разрывающей способности.

На Будапештской Международной Ярмарке 1967 г. предохранителям был присужден „Большой приз столицы, Будапешта.”

NEUE STROMBEGRENZENDE HH-SICHERUNGEN NACH DIN 43 625

Dr. J. Mocsáry

Zusammenfassung

Es werden die im Schaltgerätelaboratorium des Institutes ausgearbeiteten, strombegrenzenden HH-Sicherungen Typ NNGfe mit einheitlichen Kontakten, sowie die mit ihnen erzielten Ergebnisse beschreiben.

Die Sicherungen werden mit den im Institut bereits früher ausgearbeiteten modulierten Schmelzleitern mit Mehrfachunterbrechung gefertigt, die das zuverlässige Funktionieren der Sicherungen im gesamten Strombereich ergeben. Die Aussenabmessungen der Sicherungen (Gesamtlänge, Durchmesser der zu den Unterteilkontakten passenden Sicherungseinsatzkontakten) entsprechen den DIN 43 625 Vorschriften.

An einem Ende des Sicherungseinsatzes befindet sich auch den Kennwerten der DIN 43 625 Vorschriften gemäss eine Auslösevorrichtung von grosser Federkraft. Diese Auslösevorrichtung kann gleichzeitig zwei Aufgaben erfüllen, u. zw. erstens sie zeigt den ausgeschmolzenen Zustand der Sicherung an und zweitens kann sie ein mit HH-Sicherungen kombiniertes Schaltgerät z. B. Lasttrennschalter direkt — ohne Hilfskraftspeicher — betätigen. Dadurch kann das Verwendungsgebiet der HH-Sicherungen noch mehr erweitert werden.

Auf Grund der erzielten Ergebnisse der Kurzschlussversuche kann festgestellt werden, dass die Sicherungen Typ NNGfe mit den ähnlichen ausländischen Erzeugnissen nicht nur gleichwertig sind, sondern verfügen auch über ein wesentlich grösseres Abschaltvermögen.

Die Sicherungen wurden auf der Budapester Internationalen Messe 1967 mit dem grossen Preis („Grand Prix“) der Hauptstadt Budapest ausgezeichnet.

NEW TYPE MEDIUM-VOLTAGE HIGH RUPTURING-CAPACITY CURRENT-LIMITING FUSES COMPLYING WITH THE SPECIFICATIONS OF DIN 43 625

Dr. J. Mocsáry

Summary

The study describes the medium-voltage high interrupting-capacity current-limiting fuses type NNGfe provided with uniform contacts, developed by the Switchgear Laboratory of the Institute and the results obtained with these fuses.

The fuse-links are manufactured with close pitched continuously varying section fusible filaments developed earlier by the Institute, resulting safe and reliable operation within the full current range; the overall dimensions of these fuse-links correspond to the stipulations of the DIN 43 625 Specification (including overall length, the diameter of the contacts of the fuse-link).

At one end of the fuse-link there is a striker complying with the data of DIN 43 625. In addition to the indication of the melting of the fuse-elements, this device is also suitable to actuate directly, without any separate interconnected auxiliary energy storage mechanism, e.g. a load isolating switch combined with the fuse-link. This provides a further extension of the applications of medium-voltage fuses. As confirmed by the results of the short-circuit tests, the fuse-links of the type NNGfe are not only equal to foreign products for the same purpose but their breaking-capacity considerably exceeds that of other similar devices.

At the Budapest International Fair of 1967, these fuses were rewarded with the „Grand Prix“ of Budapest.

1. A biztosítók feladata. Követelmények

A villamos berendezésekben (középfeszültségű hálózatok, elosztóállomások, erőművek stb.) a túláramok és zárlati áramok megszakítására igen gyakran középfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítókat is alkalmaznak, részben önálló védelmi eszközként, részben más védőeszközzel (pl. terhelésszakaszoló) kombinált megoldásban.

Az áramkorlátozó olvadóbiztosítók a zárlati működés során az áramot jelentős mértékben korlátozzák azért, hogy a zárlati áramot nem engedik annak teljes értékére kifejlődni, hanem azt jóval a legnagyobb értékének kialakulása előtt levágják. Az ily módon korlátozott áram a *tényleges megszakítási áram* vagy *levágott áram*. A biztosítók ilyen áramkorlátozása a védendő berendezések *termikus és dinamikus igénybevételét* nagymértékben csökkenti és ez az olvadóbiztosítókkal való hatásos védelemből származó igen nagy előny.

A korszerű középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal szemben támasztott lényeges követelmény, hogy a *teljes áramtartományban* — a túláramok, kis és nagy zárlati áramok tartományában — megbízhatóan működjenek. Ez alatt azt kell érteni, hogy a biztosítónak a legkisebb kiolvadási áramértéktől (minimum fusing-current) kezdve a szavatolt megszakítóképeségértéknek (breaking-capacity) megfelelő zárlati áramig bezárólag az áramkört hiba nélkül meg kell tudni szakítani. Ezenkívül még a következő követelményeket kell kielégíteniük: A nagy megszakítóképeségen túlmenően nagy áramkorlátozó-képességgel rendelkezzenek, működésükkor ne okozzanak veszélyes túlfeszültséget és névleges terhelésen ne melegedjenek a szabványokban megengedettnél nagyobb mértékben.

Lényeges követelmény az is, hogy a biztosítóbetétek hosszmeretei és az aljzathoz csatlakozó csőszerű érintkezőfoglalataik átmérője lehetőleg egységesítve legyen azért, hogy az azonos feszültségű, különböző névleges áramerősségű biztosítók azonos szerkezeti elemekből felépített, egységes aljzatokba behelyezhetőek legyenek.

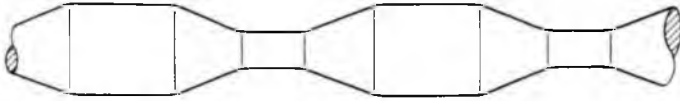
A további követelmény még az is, hogy a biztosítók rendelkezzenek olyan *kioldószerkezettel* (striker), amely a kioldás jelzésén túlmenően alkalmas arra, hogy külön közbeiktatott segédértároló-szerkezet nélkül, közvetlenül működtethesse pl. a biztosítóval kombinált terhelésszakaszolót.

A korábban gyártott NNG- és a jelenleg gyártásban levő NNGf-típusú középfeszültségű biztosítók a felhasználók kívánságára — az országos energiarendszerben igen nagy számban beépített régi típusú aljzatoknak megfelelően — a régi hossz- és átmérméretekkel, kizárólag kioldásjelző szerkezettel készültek, ill. készülnek. Ezen olvadóbetétek kioldásjelző szerkezetének rugóereje kicsi és így nem alkalmas a biztosítóval kombinált terhelésszakaszoló közvetlen működtetésére. Részben emiatt, részben a méretek egységessé váló törekvése miatt került sor az egységes méretű érintkezőkkel és nagy rugóerejű kioldószerkezettel rendelkező NNGfe-típusú középfeszültségű biztosítószorozatok kidolgozására.

Az Intézet Villamos Készülék Laboratóriumában kidolgozott NNGfe-típusú biztosítóbetétek teljes mértékben kielégítik a korszerű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal szemben támasztott követelményeket mind villamos és mechanikai szempontból, mind pedig a külső méretek egységessége szempontjából.

2. Az NNGfe-típusú biztosítóbetétek szerkezete

A biztosítók *sűrű osztású, folyamatosan változó kör keresztmetszetű szinezüst olvadószálakkal* készülnek. A 14-1. ábra a biztosítók készítéséhez használatos, különleges kiképzésű olvadószál alakját mutatja. Az olvadószálak tűzálló kerámiai anyagból készültek, hosszanti bordákkal ellátott csőre csavarmenetben vannak feltekercselve.



14-1. ábra. NNGfe-típusú közép feszültségű biztosítók olvadószála

A száltartó belső furatában rugószerűen gombolyított, nagy ellenállású szál van, amelynek az a szerepe, hogy a biztosítóbetét egyik végén beépített kioldószerkezetet működteti a biztosító kiolvadása után. A biztosító kiolvadt állapotát a kioldószerkezetből kb. 30 mm távolságra kiugró hengeres dugó jól észrevehető módon mutatja. A kioldószerkezet a DIN 43 625 előírásainak megfelelően összenyomott állapotban legalább 3 kp, 20 mm út megtétele után pedig legalább 2 kp erővel rendelkezik és így módon alkalmas arra, hogy külön közbeiktatott segéderőtároló-szerkezet nélkül a biztosítóval kombinált terhelésszakaszoló, vagy egyéb kapcsolókészüléket közvetlenül működtessen.



14-2. ábra. NNGfe-típusú, 20 kV feszültségű biztosítóbetétek

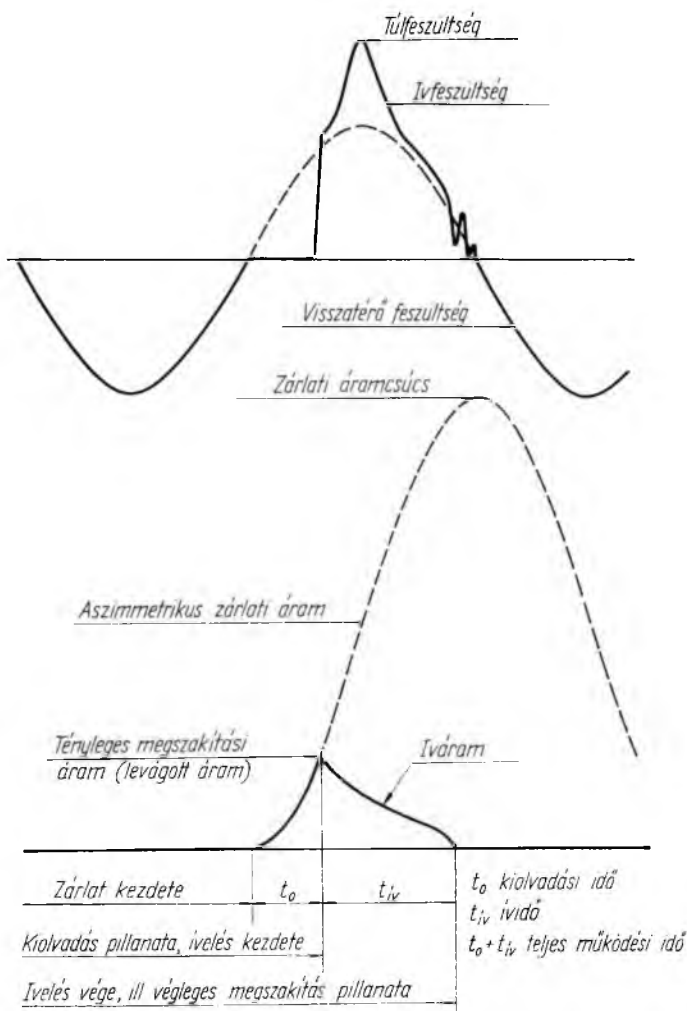
DIN 43 625 előírásainak megfelelően — adott névleges feszültségen 63 A névleges áramerősséggig bezárólag azonosak.

A 14-2. ábra az NNGfe-típusú, 20 kV feszültségű biztosítóbetétek fényképét mutatja. A fényképen jól látható, hogy az azonos névleges feszültségű, különböző névleges áramerősségű olvadóbiztosítók hosszmérete azonos, de különböző átmérőjű porcelán csővel készültek és a betétek mindhárom típusnál azonos méretű, csőszerű érintkezőkkel rendelkeznek. A fényképen ugyancsak jól látható a biztosítóbetétek kioldó-szerkezete (a középső betéten összenyomott állapotban, a két szélsőn működés utáni állapotban).

3. Az NNGfe-típusú biztosítók működése és működési tartománya

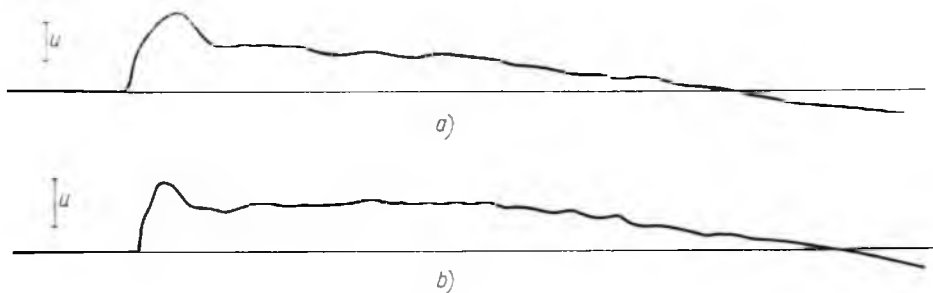
Az áramkorlátozó olvadóbiztosítók működését tekintve különbséget kell tenni a biztosítónak zárlati áramok, ill. túláramok hatására történő működése között. A biztosítók működésének mechanizmusával jelen tanulmányban csak egészen röviden kívánunk foglalkozni, minthogy azzal korábbi tanulmányainkban már részletesen foglalkoztunk [3...9].

Zárlati működés során az áramkorlátozó olvadóbiztosítók a zárlati áramot nem engedik annak teljes értékére kifejlődni, hanem azt jóval a legnagyobb értékének kialakulása előtt levágják. Az ily módon ténylegesen kifejlődött áramot *tényleges megszakítási áramnak* vagy az angol műszaki szóhasználat szerint *levágott áramnak* (*cut-off current*) nevezzük. A 14-3. ábra a biztosítók zárlati működésére jellemző oszcillogramot mutat.



14-3. ábra. NNGfe-típusú olvadóbiztosító zárlati működése

Zárlati áramok hatására az olvadószálak azonos keresztmetszetű részei egyidejűleg, nagyon hirtelen olvadnak és gőzölögnek el és így az áramkörbe hirtelen nagy ellenállás iktatódik be. Ha az ellenállás növekedése túl gyors, veszélyes *túlfeszültségek* keletkezhetnek. Avégett, hogy az ellenállás-növekedés ne legyen túl gyors, gondoskodni kell arról, hogy az olvadószál ne olvadjon és gőzölögjön el egész hosszában egyszerre, hanem csak fokozatosan. Az NNGfe-típusú biztosítók olvadószálai ezért sűrű osztásban folyamatosan változó keresztmetszetűek. A biztosítók működése során fellépő kapcsolási túlfeszültségek értéke a CESI (*Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano*) milánói zárlati laboratóriumában elvégzett zárlati vizsgálatok tanúsága szerint a BS 2692:1956 angol szabványban [1] és az IEC 32 A (Secretariat) 11 dokumentben [2] foglalt megengedett értékek alatt marad. A 14-4. ábra példaképpen NNGfe-típusú, 10 kV feszültségű, 80 A és a 20 kV feszültségű, 25 A névleges áramerősségű biztosító zárlati vizsgálatának katódsugár-oszcillogramját mutatja.



14-4. ábra. NNGfe-típusú biztosítók zárlati vizsgálatának katódsugár-oszcillogramjai

a) 10 kV, 80 A névleges áramerősségű betét, $U = 11,5$ (10) kV, $I_{rz} = 59,0$ kA_{eff}, $P = 1200$ MVA, $U_{max} = 28,2$ kV_{csucs} ;
 b) 20 kV, 25 A névleges áramerősségű betét, $U = 25,5$ (22,2) kV, $I_{rz} = 40$ kA_{eff}, $P = 1760$ MVA, $U_{max} = 46,3$ kV_{csucs}

Túlterheléseknél az olvadószálak egy, esetleg több helyen megolvadnak; ezeken a helyeken ívek keletkeznek. Az ívek hossza mindaddig nő, amíg az oltáshoz szükséges hosszát el nem éri. Több párhuzamos olvadószál esetén ez a folyamat az egyes szálak között váltakozva zajlik le és az olvadószálak számának megfelelően ismétlődik, amíg végülis az utolsónak maradt szál helyén kialakult ív kialakása után az áramkör véglegesen megszakad. Túláramok megszakításakor a kiolvadási és ividő a zárlatokhoz viszonyítva hosszabb.

Az NNGfe-típusú olvadóbiztosítók különleges kiképzésű — sűrű osztású, folyamatosan változó keresztmetszetű — olvadószálai a *kis- és közepes túláramok* tartományában is rövid ividejű megszakítást eredményeznek, szemben a hosszú szakaszokból álló lépcsős, vagy folyamatosan változó keresztmetszetű olvadószálakkal készülő biztosítókkal. Utóbbiak a kis túláramok tartományában — különösen egyfázisú feszültségigénybevétel esetén — általában nem tudják megszakítani az áramkört [3, 5, 8, 9].

Az NNGfe-típusú, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók — korszerű olvadószál-szerkezetük előnyös tulajdonságai következtében — a legkisebb kiolvadási áramtól (minimum fusing-current) kezdődően a névleges megszakítási áramig bezárólag kifogástalanul működnek, a legnagyobb üzemfeszültségnek (IEC szerinti névleges feszültségnek) megfelelő egyfázisú feszültségigénybevétel esetén is. Ennek megfelelően a biztosítók az IEC 32A szerinti *általános célú biztosítók* (*general-purpose fuses*) kategóriába tartoznak és így az összes védelmi feladat megoldására, a gyakorlatban szóbajöhető összes területen használhatók.

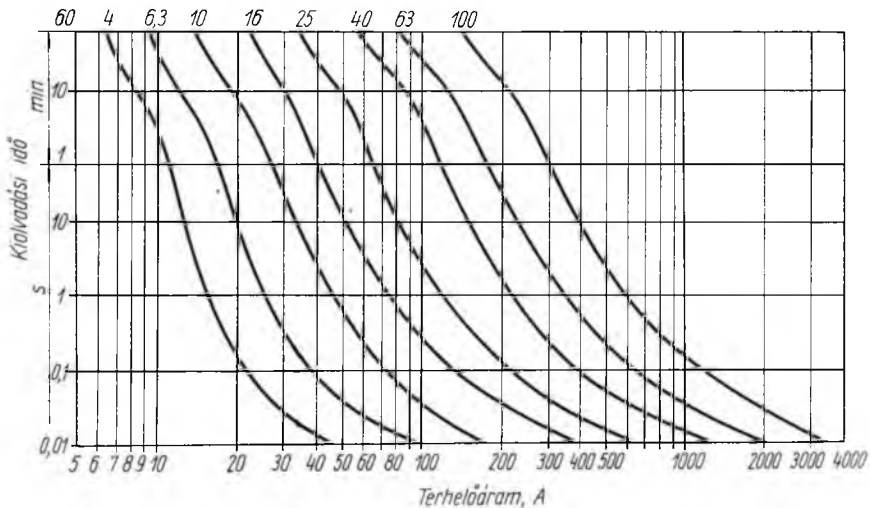
4. Melegedési viszonyok

A biztosítók minőségének megítélésénél egyik lényeges körülmény, hogy azok normális üzemi viszonyok mellett (névleges terhelésen) és túláramokkal terhelve milyen mértékben melegszenek. A névleges árammal terhelt biztosítók hőmérséklete bizonyos idő után állandósul. A biztosítóbetétek különböző helyein megengedhető legmagasabb hőmérsékletek a különböző szabványelőírásokban rögzítve vannak. Az NNGfe-típusú biztosítóbetétek melegedési szempontból megfelelnek az összes ismert szabvány előírásainak.

A biztosítót melegedés szempontjából nem a névleges áram, hanem a kis túláramok veszik a legjobban igénybe. A hosszú kiolvadási idő következtében nemcsak az olvadószálak, hanem az azt körülvevő kvarchomok és ezen keresztül maga a porcelán cső is felmelegszik. A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a legmagasabb hőmérséklet kb. 1,5—2-szeres túláramnál lép fel. Az NNGfe-típusú biztosítók ezeket a hőmérsékleteket is minden károsodás nélkül elbírják.

5. Kiolvadási (idő—áram) jelleggörbék

Az NNGfe-típusú, sűrű osztású folyamatosan változó keresztmetszetű olvadószálakokkal készülő olvadóbiztosítók kiolvadási idői az 1,3 és $2I_n$ vizsgálati áramokat illetően — ahol I_n a biztosítóbétét névleges áramerősségét jelenti — megfelelnek az



14-5. ábra. NNGfe-típusú biztosítóbetétek kiolvadási (idő—áram) jelleggörbéi

MSZ 1583—51 szabvány [10] 5.4 pontjában foglalt előírásoknak és a vonatkozó külföldi szabványok előírásainak is.

Az NNGfe-típusú 4...100 A névleges áramerősségű biztosítóbetétek *kiolvadási jelleggörbéit* a 0,01...3600 s-ig (1 h) terjedő kiolvadási idő tartományban a 14-5. ábra mutatja.

6. Megszakítóképesség

A megszakítóképesség-vizsgálatokat az IEC 32A (Secretariat) 11 tervezet 1. vizsgálati feladatára (Series 1) vonatkozó előírásai szerint [2] egyfázisú kapcsolásban, a biztosító legnagyobb üzemszfűltsége (IEC 32A ajánlás szerint ez a biztosító névleges feszűltsége) 0,87-szeresének megfelelő feszűltséggel hajtottuk végre úgy, hogy az

14-1. táblázat

NNGfe-típusú biztosítóbetétek megszakítóképessége

Névleges feszűltség U_n kV	Legnagyobb üzemszfűltség U kV	Névleges áramerősség* I_n A	3 fázisra számított névl. megszakítási teljesítmény P MVA	Névleges megszakítási áram I_{rz} kA _{eff}		
3	3,6	6,3	600	100		
		10	300	50		
		16				
		25				
		40				
6	7,2	63	600	50		
		100				
		6,3			1200	100
		10				
		16				
25						
10	12	40	1000	50		
		63				
		100				
		6,3			2000	100
		10				
16						
25						
20	24	40	1000	25		
		6,3	2000	50		
		10	1500	40		
		16	1000	31,5		
25						
30**	36	6,3	2000	31,5		
		10	1000	17		
		16	600	10		
25						

Megjegyzés: * Kívánságra minden egyes névleges feszűltségen a 6,3 A névleges áramerősségű betétekkel azonos méretű és megszakítóképességű 4 A névleges áramerősségű betétek, továbbá a 10 kV feszűltségű, 100 A névleges áramerősségű betétekkel azonos méretű és megszakítóképességű 10 kV, 80 A-es betétek is készíthetők.

** A biztosítóbetétek 35 kV névleges feszűltségre is (40,5 kV legnagyobb üzemszfűltséggel) használhatók.

ívelés egy kapcsolásnál 40...60 villamos fokkal, két kapcsolásnál pedig 65...90 villamos fokkal a feszültség természetes nullátmenete után kezdődött. A visszatérő feszültséget az áram megszakítása után 15 s-ig fenntartottuk a biztosító kapcsain. A vizsgálatokat vízszintes helyzetű biztosítóaljzatba helyezett olvadóbetétekkel végeztük.

Az NNGfe-típusú biztosítók szavatolt megszakítóképeségét a teljes 3...30 (35) kV feszültségű biztosítósorozatra vonatkozóan a 14-1. táblázat tartalmazza.

A táblázatban megadott *névleges megszakítóképeségek* a biztosító legnagyobb üzemi feszültségével azonos feszültséggel (IEC szerinti névleges feszültséggel) végrehajtott egyfázisú próbák eredményeinek három fázisra átszámított értékei, azaz

$$P = \sqrt{3}UI_{Tz},$$

ahol P a három fázisra számított szimmetrikus megszakítási teljesítmény, MVA;

U a legnagyobb üzemi feszültség (IEC szerinti névleges feszültség), kV;

I_{Tz} a biztosító névleges megszakítási árama, kA_{eff} .

A *névleges megszakítási áram* az a legnagyobb független zárlati áram (szimmetrikus rész effektív értéke), amelyet a biztosító még — hiba nélkül — megszakít. A *független zárlati áram* az a zárlati áram, amely a zárlati áramkörben abban az esetben lépne fel, ha a biztosítót elhanyagolható impedanciájú átkötéssel helyettesítenénk.

A táblázatban a 10, 20 és 30 kV névleges feszültségű biztosítókra megadott megszakítóképeségek a CESI milánói zárlati laboratóriumában elvégzett zárlati vizsgálatok eredményei. Meg kell jegyezni, hogy a táblázatban a szavatolt megszakítóképeség-értékeket kellő biztonsággal vettük figyelembe a vizsgálatok során ténylegesen elért értékekhez képest. Az NNGfe-típusú 10 és 20 kV névleges feszültségű biztosítókkal ténylegesen elért eredményeket illetően példaképpen szolgáljon a 14-2. táblázat.

A 14-1. és 14-2. táblázat megszakítóképeség (kA_{eff})-adatait összehasonlítva megállapítható, hogy pl. a 10 kV feszültségű 10...80 A névleges áramerősségű biztosítók szavatolt megszakítóképeségét illetően a biztonsági tartalék kb. 20%, a 20 kV feszültségű 6,3 A névleges áramerősségű biztosítóra vonatkozólag pedig 26%, tehát utóbbi esetben több, mint a névleges megszakítóképeség egynegyede.

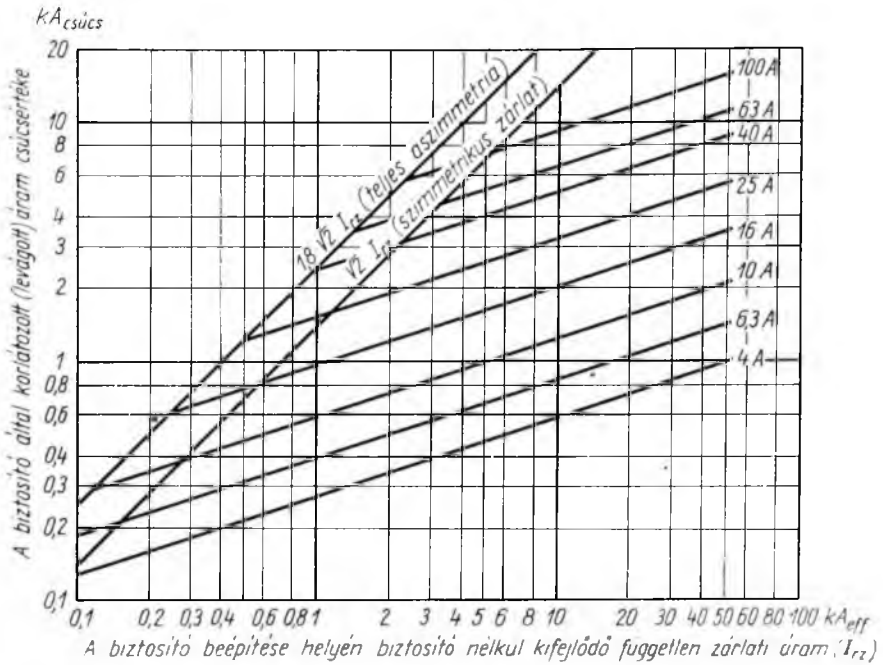
14-2. táblázat

NNGfe-típusú 10 és 20 kV feszültségű biztosítók zárlati vizsgálatának eredményei

Névleges feszültség U_n kV	Legnagyobb üzemi feszültség U kV	Névleges áramerősség I_n A	Vizsgálati (visszatérő) feszültség U_v kV	Független zárlati áram I_{Tz} kA_{eff}	3 fázisra számított szimmetrikus megszakítási teljesítmény P MVA
10	12	6,3	12 (10,5)	103	2100
		16	11,5 (10,0)	59	1200
		25			
		40			
20	24	6,3	25,5 (22,2)	63	2780
		16		40	1760
		25			

7. Áramkorlátozóképeség

A szemcsés ívöltőközeggel, pl. kvarchomokkal töltött, ún. áramkorlátozó olvadóbiztosítók — így az NNGfe-típusú biztosítók is — a biztosító nélkül kifejlődő független zárlati áramot már kis áramértéknél *levágják* (l. 14-3. ábra). Ezekkel a biztosítókkal tehát igen *hatásos áramkorlátozás* érhető el.



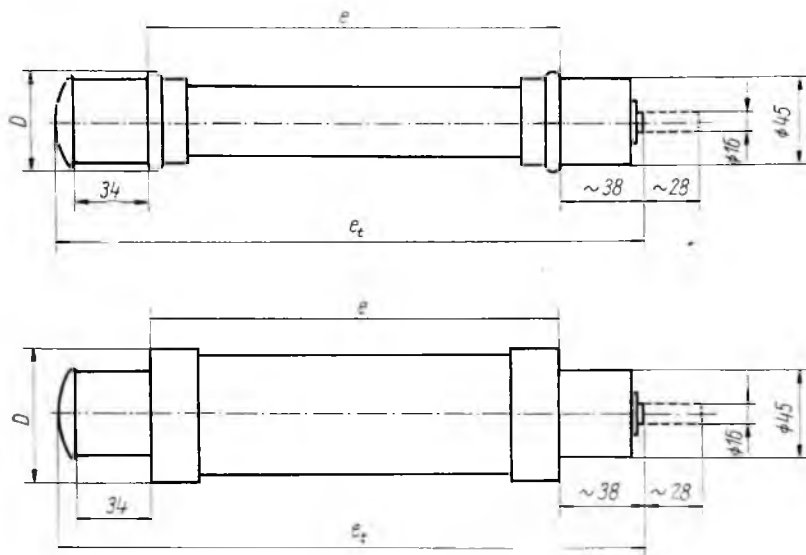
14-6. ábra. NNGfe-típusú biztosítóbetétek áramkorlátozóképesége

A 14-6. ábra az NNGfe-típusú 4...100 A névleges áramerősségű biztosítók *áramkorlátozási jelleggörbéit* mutatja a független zárlati áramok függvényében. A függőleges tengelyen ábrázolt *levágott áram*, vagy *tényleges megszakítási áram* az áramnak az a csúcserőértéke, amelyet a biztosító a független zárlati áramból valóban ki enged fejlődni. A vízszintes tengelyen a biztosító beépítése helyén biztosító nélkül kifejlődő független zárlati áramok (I_{rz}) szimmetrikus effektív értékeit tüntettük fel. A tengelyekhez 45° alatt hajló két egyenesen vannak a független zárlati áramok csúcserőértékei a szimmetrikus zárlat ($\sqrt{2} I_{rz}$), ill. a teljesen aszimmetrikus zárlat ($1,8 \cdot \sqrt{2} I_{rz}$) esetében. A korlátozási görbék az $1,8 \cdot \sqrt{2} I_{rz} \approx 2,5 I_{rz}$ egyenesen nem terjednek túl, mert kisebb zárlatoknál már nincs áramkorlátozás, hanem a teljes zárlati áramnak megfelelő áramcsúcs kifejlődik.

Az ábrából látható, hogy az áramkorlátozó hatás annál nagyobb, minél kisebb a biztosító névleges áramerőssége.

8. Kidolgozott típusok, méretek

Az NNGfe-típusú biztosítók névleges feszültségeit, névleges áramerősségeit és jellemző külső méretadatait (körvonalméreteit) a 14-7. ábra és a 14-3. táblázat tartalmazza.



14-7. ábra. NNGfe-típusú biztosítóbetétek körvonalrajza

A 14-3. táblázat adataiból látható, hogy adott névleges feszültségű biztosítóbetétek hosszmeretei a 63 A névleges áramerősségig bezárólag azonosak, a névleges áramerősségtől függően csupán a biztosítóbetét kerámiai tokozatának külső átmérője változik. A 63 A-nél nagyobb névleges áramerősségű betétek, ugyancsak a táblázatból láthatóan, az adott névleges feszültségnél nagyobb névleges feszültséghez tartozó hosszmeretekkel készülnek (pl. a 10 kV névleges feszültségű, 100 A névleges áramerősségű betét hossza a 20 kV névleges feszültséghez tartozó hosszmerettel azonos).

Megoldható a táblázatban megadott névleges áramerősségű biztosítókéknál nagyobb névleges áramerősségű betéttípusok kidolgozása is. A kidolgozott típusoknál nagyobb névleges áramerősségű biztosítóbetétek megvalósítását a korszerű, sűrű osztású folyamatosan változó keresztmetszetű olvadószálak előnyös tulajdonságai teszik lehetővé. Elméleti megfontolások alapján és vizsgálataink eredményei szerint is ez a korszerű, többszörös megszakítást biztosító olvadószál-konstrukció, azonos olvadószál-hossz mellett, a korábban használt kis átmérőjű ($\varnothing 0,10 \dots 0,33$ mm) olvadószálakénál lényegesen nagyobb átmérőjű olvadószálak alkalmazását teszi lehetővé, ami azt jelenti, hogy azonos külső méretű porcelán csővel a jelenleginél nagyobb névleges áramerősségű betétek is készíthetők.

Az NNGfe-típusú biztosítókat a Villamos Berendezés és Készülék Művek 11. sz. Kaposvári Villamossági Gyára gyártja.

A biztosítókat az 1967. évi Budapesti Nemzetközi Vásáron *Budapest Főváros Nagydíjával* tüntették ki.

14-3. táblázat

NNGfe-típusú biztosítóbetétek külső méretei és súlyadatai

Névleges feszültség kV	Névleges áramerősség A	Méretek mm-ben			Súly kp
		<i>e</i>	<i>e_t</i>	<i>D</i>	
3	6,3...16	192	272	52	0,7
	25	192	272	70	1,4
	40...63	192	272	88	2,2
	100	292	372	88	3,2
6	6,3...16	192	272	52	0,7
	25	192	272	70	1,4
	40...63	192	272	88	2,2
	100	292	372	88	3,2
10	6,3...16	292	372	52	1,1
	25	292	372	70	2,0
	40...63	292	372	88	3,2
	100	442	522	88	4,9
20	6,3...16	442	522	52	1,4
	25	442	522	70	2,8
	40	442	522	88	4,9
30	6,3	537	617	52	1,7
	10...16	537	617	70	3,3
	25	537	617	88	5,8

9. A biztosítóbetétek alkalmazhatósága

Az NNGfe-típusú biztosítóbetétek műszaki adatai olyanok, hogy a biztosítóbetétek a gyakorlatban előforduló összes védelmi feladat ellátására alkalmasak. Az NNGfe-típusú biztosítóbetétek nemcsak zárlatvédelemre, hanem — a teljes áramtartományra kiterjedően biztos működést eredményező, előnyös tulajdonságaik folytán — *túláram- és zárlatvédelemre egyaránt alkalmazhatók*. A biztosítók a gyakorlatban önálló túláram- és zárlatvédelmi eszközként, továbbá — a DIN 43 625 előírásai szerinti nagy rugóerejű kioldószerkezetük birtokában — terhelésszakaszolókkal kombinált megoldásokban kerülhetnek felhasználásra. Utóbbi esetben a normál terhelőáramok gyakori ki- és bekapcsolását a viszonylag kis kikapcsolóképeséggel rendelkező terhelésszakaszoló, míg a túláramok és a zárlati áramok megszakítását a vele sorbakapcsolt NNGfe-típusú, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosító végzi. Az ilyen biztosítóval kombinált terhelésszakaszoló igen sok esetben helyettesítheti az igen költséges középfeszültségű, nagy megszakítási teljesítményű megszakítót és mint olcsó túláram- és zárlatvédelmi eszköz igen gazdaságos megoldást képvisel.

Az NNGfe-típusú biztosítóbetétek szerkezeti kialakítása olyan, hogy a betétek mind *belsőtéri*, mind *szabadtéri*, sőt *trópusi felhasználásra* is alkalmasak. Trópusi alkalmazás esetén figyelembe veendő, hogy a biztosítóbetétek névleges áramerőssége a környezeti hőmérséklet növekedésének mértékétől függően csökken.

A biztosítóbetétek — a felhasználási, ill. beépítési követelményeknek megfelelően — *vízszintes, függőleges és ferde helyzetű felszerelésre egyaránt alkalmasak*.

10. Összefoglalás

Röviden ismertettük a Villamosipari Kutató Intézetben kidolgozott NNGfe-típusú egységes foglalatú, közép feszültségű, áramkorlátozó olvadóbiztosítókat. A biztosítók külső méretei (teljes hossz, aljzathoz csatlakozó érintkező átmérője) megfelelnek a DIN 43 625 szabvány előírásainak. A biztosító egyik végén — ugyancsak a DIN előírásainak megfelelő műszaki adatokkal rendelkező — nagy rugóerejű kioldószerkezet van, amely egyrészt a biztosító működése után annak kioldott állapotát jelzi, másrészt alkalmas pl. biztosítóval kombinált terhelésszakaszoló közvetlen működtetésére, külön közbeiktatott segéderőtároló-szerkezet nélkül.

A tanulmány ismerteti a kidolgozott biztosítók műszaki adatait (névleges feszültség, névleges áramerősség, megszakítóképesség, áramkorlátozó-képesség, kioldási jelleggörbék stb.) és a biztosítók körvonalméreteire, továbbá súlyadataira vonatkozóan is felvilágosítást ad.

A biztosítók a teljes áramtartományra kiterjedően biztos működést eredményező különleges olvadószálakkal készülnek, az IEC 32A szerinti „általános célú biztosítók” (general-purpose fuses) kategóriájába tartoznak, és ily módon a gyakorlatban szóba jöhető összes védelmi feladat ellátására alkalmasak.

A zárlati vizsgálatok eredményeinek tanúsága szerint az NNGfe-típusú biztosítók megszakítóképesség szempontjából nemcsak hogy egyenrangúak a hasonló célú külföldi gyártmányokkal, hanem lényegesen túl is haladják azok megszakítóképesség-adatait. Az NNGfe-típusú biztosítók működési tartomány szempontjából is jobbak a legtöbb ismert külföldi típusnál.

A biztosítókat a Villamos Berendezés és Készülék Művek 11. sz. Kaposvári Villamossági Gyára gyártja.

Irodalom

- [1] *British Standard B. S. 2692:1956. Fuses for Alternating Current Circuits above 660 Volt*
- [2] *IEC 32 A (Secretariat) 11 — May 1966 : Draft IEC Recommendation for High-Voltage Current-Limiting Fuses*
- [3] *Mocsáry J.: Középfeszültségű, nagy megszakítóképességű áramkorlátozó olvadóbiztosítók elméleti és gyakorlati kérdései. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1961.*
- [4] *Dr. Mocsáry J.: Neuere Untersuchungen an Hochspannungs-Hochleistungssicherungen mit sehr hohem Abschaltvermögen und niedrigen Schaltüberspannungen. Elektrie, 17. (1963), p. 305—307.*
- [5] *Dr. Mocsáry J.: Középfeszültségű, nagy megszakítóképességű áramkorlátozó olvadóbiztosítók újfajta olvadószál-konstrukciói. Elektrotechnika, 57. (1964), 554—560. old.*
- [6] *Dr. Mocsáry J.: Középfeszültségű, nagy megszakítóképességű áramkorlátozó olvadóbiztosítók vizsgálata. Elektrotechnika, 58. (1965), 1—7. old.*
- [7] *Dr. Mocsáry J.: Untersuchungen von strombegrenzenden Hochspannungs-Hochleistungssicherungen in Stromkreisen mit unterschiedlichen Netzeinschwingfrequenzen. E und M, 81. (1964) p. 655—661.*
- [8] *Dr. Mocsáry J.: Schmelzleiterkonstruktionen strombegrenzender Sicherungen und ihr Verhalten bei Unterbrechung kleiner Ströme. Elektrie, 19. (1965), p. 310—312.*
- [9] *Dr. Mocsáry J.: Medium-Voltage Current-Limiting Fuses of Extra-High-Rupturing-Capacity (realized by the application of New Fusing-Element Designs). Transelektro News, 1965, No 3, p. 21—28.*
- [10] *MSZ 1583—51: 3—35 kV-os váltakozófeszültségű olvadóbiztosítók.*

15.

Kutatási feladatok a kisfeszültségű váltakozóáramú mágneskapcsolók korszerű kialakításához

DR. NÉVERI ISTVÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk ismerteti a kisfeszültségű mágneskapcsolók fontosságát és fejlesztésükkel kapcsolatos kutatási munka jelentőségét. A legfontosabb kutatási feladatok a működtető-mágnesek korszerű kialakításával, az érintkezőrendszerek megfelelő megválasztásával, a villamos iv oltására alkalmazható megoldási módokkal és az alkalmazandó anyagok minőségének és méreteinek megválasztásával kapcsolatos méretezési eljárások kidolgozása. A szerző részletesen tárgyalja az egyes kérdések megoldási lehetőségeit és ismerteti az Intézetben belül elért kutatási eredményeket.

Megállapítható, hogy a kezdeti lépések megtörténtek abban az irányban, hogy a kisfeszültségű mágneskapcsolók területén a fejlesztők és szerkesztők számára olyan méretezési eljárások szülessenek, amelyek a transzformátorokhoz és villamos forgógépekhez hasonlóan lehetővé teszik az optimális adatokkal rendelkező, magas színvonalon álló új gyártmányok kialakítását.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЗАДАЧИ ПО РАЗРАБОТКЕ СОВРЕМЕННЫХ НИЗКОВОЛЬТНЫХ КОНТАКТОРОВ ДЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Др. И. Невери

Резюме

Статья указывает на важность низковольтных контакторов и значение исследовательских работ, связанных с их разработкой. Важнейшей исследовательской задачей считает разработку методов расчета, связанных с разработкой современных конструкций рабочих магнитов, соответствующим подбором систем контактов, методами решения, применяемыми для электрического дугогашения, и выбором качества и размеров применяемых материалов. Автор подробно рассматривает возможности решения некоторых вопросов и описывает результаты исследований, проведенных в Институте.

На основе перечисленного можно сделать вывод, что в области низковольтных контакторов уже приняты меры по разработке для конструкторов таких методов расчета, которые аналогично трансформаторам и электрическим вращающимся машинам позволяют разрабатывать новые изделия высокого качества, обладающие оптимальными данными.

FORSCHUNGSAUFGABEN FÜR DIE MODERNE AUSLEGUNG VON WECHSELSTROM NIEDERSpannungSSCHÜTZE

Dr. I. Néveri

Zusammenfassung

In dem Aufsatz werden die Wichtigkeit der Niederspannungsschütze und die Bedeutung der mit ihrer Weiterentwicklung verbundenen Forschungsarbeit beschrieben. Zu den wichtigsten Forschungsaufgaben gehört die Ausarbeitung von Bemessungsverfahren, die mit der modernen Konstruktion der Steuermagneten, der entsprechenden Auswahl

von Kontaktsystemen mit den zur Löschung des elektrischen Lichtbogens geeigneten Methoden und der Auswahl der Qualität und der Masse der zu verwendenden Werkstoffe verbunden sind. Der Autor behandelt eingehend die Möglichkeiten zur Lösung der einzelnen Fragen und gibt die im Institut erzielten Forschungsergebnisse bekannt.

Auf Grund der Arbeit kann festgestellt werden, dass die ersten Schritte zur Erarbeitung von Bemessungsverfahren bereits getan wurden, die für die Konstrukteure auf dem Gebiet der Planung und Entwicklung von Niederspannungsschütze, ähnlich wie bei den Transformatoren und elektrischen Drehmaschinen, die Ausgestaltung von neuen Erzeugnissen ermöglichen, die mit ihren optimalen technischen Daten dem Höchststand entsprechen.

TASKS OF THE RESEARCH ON THE UP-TO-DATE DEVELOPMENT OF THE A. C. LOW VOLTAGE CONTACTORS

Dr. I. Néveri

Summary

The importance of low-voltage contactors and the significance of the research work on their development are dealt with in this paper. The most important tasks of the research work include the elaboration of the dimensioning processes connected with the up-to-date shaping of the actuating magnets, with the suitable selection of the system of contacts, with the solution methods applicable for eliminating the arc and with the quality and sizes of the materials to be employed. The author deals with the possible solutions of the research work carried out in the institute.

It can be stated that the initial steps in the elaboration of dimensioning processes of low voltage contactors to be used by development experts and designers, are already under way; these new methods will permit as in the case of transformers and electric rotary machines, the development of the new products having optimal data and characterised by a high engineering standard.

1. Bevezetés

Villamos Készülék Osztályunkon az utóbbi néhány évben kezdtünk el kiefeszültségű váltakozóáramú mágneskapcsolók kutatási kérdéseivel alaposabban foglalkozni. Bár tisztában vagyunk azzal, hogy egy mágneskapcsoló korszerű kialakításához a készüléken belül szereplő összes alkatrészek működését egyöntetűen, egymásra való hatásuknak figyelembevételével kell vizsgálni, a kutatási munkák eredményessé tétele érdekében az egyes főbb szerkezeti egységeket a vizsgálódások szempontjából külön kell választanunk. Így már a kutatási munkák megindításakor — figyelembe véve a külföldi és hazai kutatási és fejlesztési tapasztalatokat — az alábbi témakörökre osztottuk feladatainkat:

- az érintkezők anyagának és méretének meghatározása a felhasználási területtől függően,
- a villamos ív oltására alkalmazható megoldási módok meghatározása, figyelembe véve az áramutak kialakítását és az alkalmazandó ívöltő szerkezetet,
- a működtetőmágnesek korszerű kialakítása és méretezése,
- a mágneskapcsolókhoz alkalmazandó mechanizmusok kiválasztása és méretezése, különös tekintettel az érintkezők visszapattanásának megakadályozására,
- a kiefeszültségű mágneskapcsolókban alkalmazandó legmegfelelőbb szerkezeti anyagok, szigetelések kiválasztása.

A kutatási munkák természetesen nem indulhattak el egyszerre, a felsorolt területek mindegyikén párhuzamosan, mivel nem állt megfelelő kapacitás rendelkezésre.

zésünkre. Figyelembe véve a készülékekkel szemben támasztott legfőbb igényeket, első feladatunknak a készülékek élettartamának növelését tekintettük. Legfőbb nehézségeket az érintkezők nagy anyagfogyása jelentette, amely készülékes szaknyelven a villamos élettartam csekély voltát jelenti. A vezérlésekben és a különféle automatizált folyamatokban, valamint a szerszámgépekben alkalmazásra kerülő mágneskapcsolók kis villamos élettartama a készülékek áránál több nagyságrenddel nagyobb termelés kiesést okozhat. Ezért elsősorban az érintkezőanyagok vizsgálatával foglalkoztunk.

Természetesen nem lehet különválasztani egy készüléken belül az egyes szerkezeti elemek működését a többi részek hatásaitól. Így a megfelelő érintkezőanyag kiválasztása mellett foglalkoznunk kellett a készülékekben kikapcsoláskor keletkező villamos ív minél gyorsabb kioltásának kérdésével, mert hiszen a villamos ív okozza elsősorban az érintkezők igénybevételeit és gyors fogyását.

A fenti kérdések tisztázásával együtt el kellett kezdenünk a váltakozóáramú működtetőmágnesek méretezési eljárásainak és vizsgálati módszereinek tanulmányozását is. Az egyenáramú működtetőmágnesekre vonatkozóan ui. már elég nagy számú irodalmi adat és tapasztalat állt rendelkezésünkre, a váltakozóáramú mágnesek területén azonban sok esetben új utakon kellett elindulnunk. A működtetőmágnes üzeme pedig nagymértékben befolyásolja a villamos élettartamot is, de természetesen magának a mágnesnek korszerűtlen kialakítása, vagy nem megfelelő üzembiztossága értelmetlenné teheti a nagy villamos élettartammal rendelkező érintkezők használatát is.

A mágneskapcsolók mechanizmusával kutatási szinten, elmélyülten foglalkozni még nem tudunk, ennek a kérdésnek alapos tisztázását a következő évekre tervezzük. Itt csak a mágneskapcsolók üzemvitele szempontjából legfontosabb kérdéssel, a visszapattanás jelenségével tudunk alaposabban foglalkozni, amely kérdés — mint látni fogjuk — nagymértékben visszahat a készülékek villamos élettartamára is.

A szerkezeti anyagok, különféle szigetelőanyagok kiválasztásával kapcsolatos fejlesztési munkák Intézetünk Villamos Készülék Osztályán csak a jövőben fognak megindulni, ezekkel elsősorban a különféle anyagtechnológiai osztályaink foglalkoztak eddig, de nem kifejezetten csak készülékes vonatkozásban. Osztályunk ilyen jellegű témákkal csak a húzómágnesek vasanyagának kiválasztása és a mértékadó paraméterek meghatározása területén, valamint érinkezőanyagok területén foglalkozott és ért el eredményeket.

A következőkben az egyes témakörök terén elért kutatási eredményeinket kívánjuk ismertetni és rá fogunk mutatni azokra a feladatokra és célokra, amelyeket az elkövetkezendő néhány éven belül meg kívánunk oldani annak érdekében, hogy a hazai mágneskapcsoló-fejlesztés számára megfelelő méretezési elveket és gyakorlatban jól használható eljárásokat tudjunk nyújtani.

2. Érintkezőanyag-kutatás

Első lépésként meghatároztuk azokat a vizsgálati feltételeket, amelyeket a különféle nemzetközi és országos szabványok előírnak a kifeszültségű, váltakozóáramú mágneskapcsolók számára, a villamos élettartam szempontjából. Olyan vizsgálati eljárásokat kellett kidolgoznunk, amelyek lehetővé teszik az érintkezők élettartamát befolyásoló egyes paraméterek hatásának külön-külön történő vizsgálatát. Így tudtuk csak különválasztani az egyes hatások mértékét és a megfelelő intézkedéseket ennek alapján lehetett megtenni az élettartam növelésére. A ma már klasszikusnak számító

réz- és ezüstérintkezők viselkedésének vizsgálata alapján léptünk tovább az újfajta érintkezőanyagok minőségének és használhatóságának megállapítása felé.

Érintkezőanyag-vizsgáló berendezéseket állítottunk össze és vizsgálati eredményeinket különféle hazai és külföldi mágneskapcsolókba épített érintkezőanyagok vizsgálati eredményeivel hasonlítottuk össze. A Vasipari Kutató Intézettel, majd később az Állami Pénzverővel együttműködve sikerült olyan ezüstkadmiumoxid (AgCdO) érintkezőt biztosítani a készülégyártó vállalatok részére, amellyel az ezüstérintkezőkhöz képest közel kétszeres érintkező-élettartam érhető el.

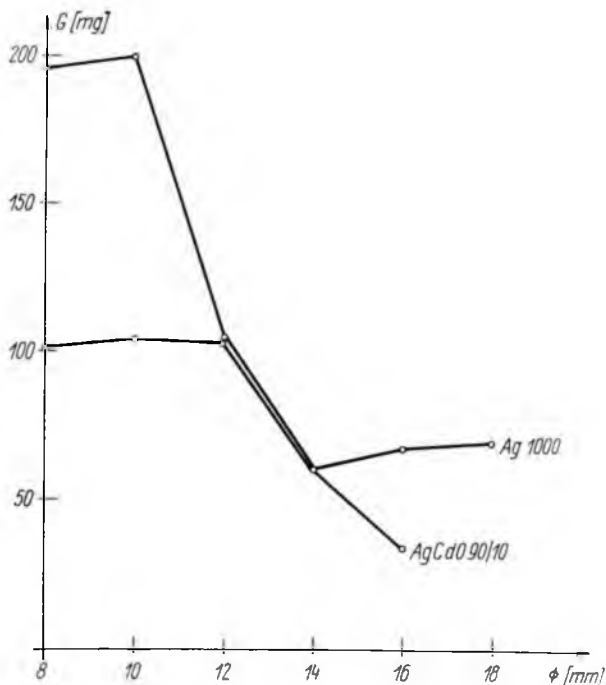
A kialakított vizsgálóberendezésünk nemcsak a kutatási munkák elvégzésére alkalmas, hanem minden esetben a sorozatban gyártott érintkezők minőségvizsgálatát is szolgálja. Vizsgálóberendezésünk használhatóságát tükrözi — saját vizsgálati eredményeinken túlmenően — az a számos külföldi érdeklődés is, amely berendezésünk iránt az utóbbi években megnyilvánult.

A kutatási munkák részletes eredményeivel jelen cikkben nem kívánunk foglalkozni, az megtalálható a témakörben már megjelent számos publikációnkban [1, 2, 3, 4].

Legújabb eredményeink a különféle névleges áramerősságú mágneskapcsolókban alkalmazandó korszerű érintkezőanyagok (10 és 13% CdO-val rendelkező AgCdO) méreteinek meghatározására, valamint az új érintkezők felületének kialakítására vonatkoznak. Az érintkezési helyeken fellépő átmeneti ellenállások számításával való pontos meghatározásával is foglalkozunk, figyelembe véve az érintkezők el-

használódását, vagyis a kikapcsoláskor keletkező ív roncsoló hatásait is. Mindezek alapján olyan számítási eljárások vannak kidolgozás alatt Laboratóriumunkban, amelyekkel az irodalomban található empirikus képleteknél pontosabban számolhatnak a készülékek tervezői és arról is képet nyernek, hogy a kapcsolási szám függvényében hogyan fog alakulni az érintkezési helyek átmeneti ellenállása.

Kutatási eredményeinkről a téma lezárása után részletesen be fogunk számolni, most csak példaképpen ismertetünk néhányat legújabb eredményeinkből. A 15-1. ábrán látható, hogyan változik az érintkezők anyagfogyása az érintkező átmérőjének függvényében, adott kapcsolási szám esetén 90/10%-os AgCdO érintkezőanyagoknál. Összehasonlításként az Ag érintkezők anyagfogyását is feltüntetjük.

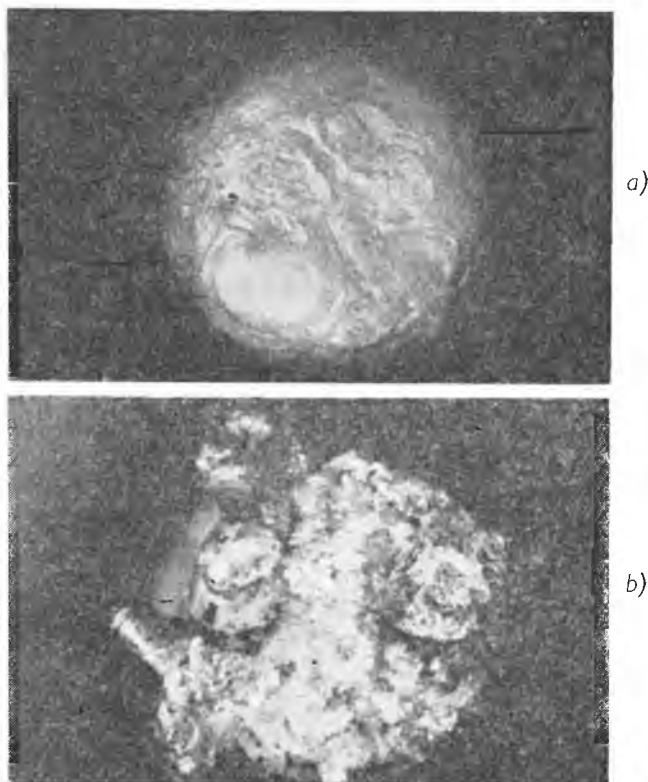


15-1. ábra. Különböző érintkezőanyagok anyagfogyása az átmérő függvényében, $60 \cdot 10^3$ kapcsolás után.

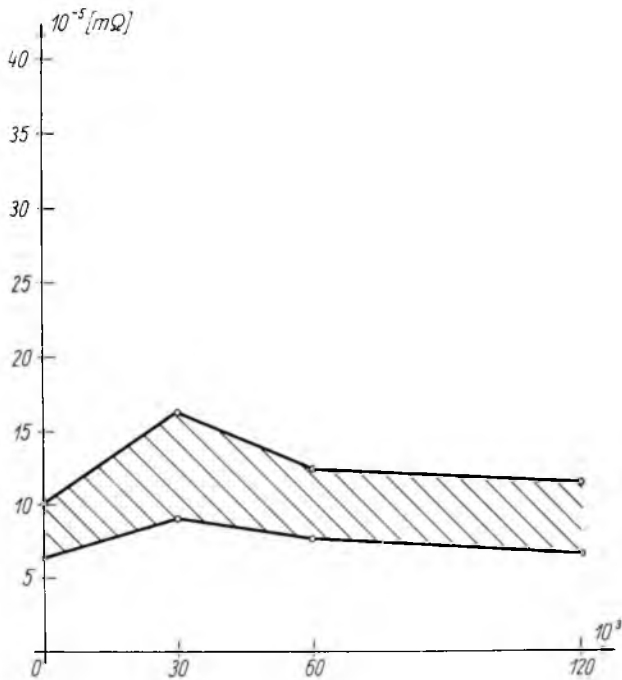
Vizsgálati paraméterek: $U = 65$ V, $I = 160$ A, $\cos \varphi = 0,35$. Kontaktnyomás: $F = 1$ kp. Érintkezők nyitási sebessége: $v = 100$ mm/s

A vizsgálatnál alkalmazott paraméterek az ábrán szerepelnek. Megállapítható, hogy a vizsgált áramkörben 14 mm-nél nagyobb átmérőjű érintkezők használata javasolható. Ennél a vizsgálati eredménynél figyelembe kell venni azt is, hogy a készülék, amelyben a vizsgálatokat végeztük olyan kialakítású, hogy az anyagfogyás függvényében sem változik az érintkezőket összezszorító erő. Ez ellentétben áll a mágneskapcsolóknál fellépő valóságos viszonyokkal, ahol az érintkezők magassági méretének csökkenése, egy bizonyos határ után, az érintkezőnyomás csökkenését okozza. Így vizsgálati eredményeink használatánál az alkalmazott érintkezőrugók karakterisztikáját is figyelembe kell venni. Ebből a szempontból úgy tűnik, hogy minél nagyobb méretű érintkezők használata indokolt, hiszen a nagyobb felületen eloszló anyagfogyás kisebb magassági méretcsökkenést eredményez. A méretnövelésnek határt szab azonban a készülék felépítése és az, hogy nagyobb áramerősségű kontaktoroknál már az ívnek az oltókamrába való gyors behatolását is biztosítani kell, amely az érintkezők alakjára befolyást gyakorol.

A 15-2. ábrán a legkedvezőbb eredményeket mutató érintkezők felületének fényképe látható, az Ag érintkezők felületének fényképével együtt. Mint látszik, az anyagfogyás mértéke a felületek roncsolódása alapján is követhető. Vizsgálataink alapján érdekes tapasztalatokat szerezünk a felületekről készített színes felvételekkel. Ezeknek közlése nyomdatechnikai okokból sajnos nem lehetséges, de megjegyezzük, hogy különösen az AgCdO érintkezők felületének elszíneződése képet nyújt az igénybevétel mértékéről és következtetni lehet az anyagfogyás további alakulására. Ez összefüggésben van az AgCd érintkezők gyártástechnológiájával is, valamint a CdO szemcsék méretével és szemcse eloszlásával. Tapasztalataink alapján mondhatjuk, hogy az AgCdO érintkezők minőségére elsősorban nem a fajsúly és a felületi keménység jellemző, sokkal inkább az érintkezőben levő CdO szemcsék alakja és mérete. Erre vonatkozóan folyamatban van egy módszer kidolgozása az Állami Pénzverővel közösen, amely alkalmas lesz arra, hogy egy AgCdO érintkező fajtánál hosszadalmas villamos vizsgálatok nélkül is meghatározhassuk az illető anyag minő-

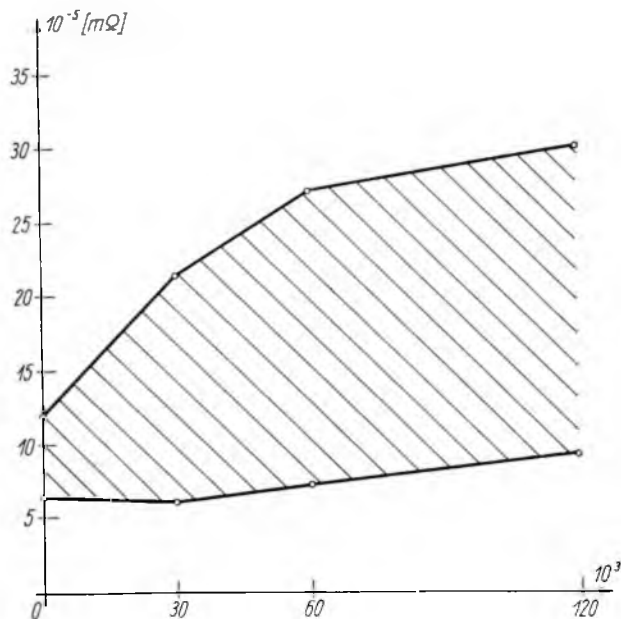


15-2. ábra. Érintkezők felülete $60 \cdot 10^3$ kapcsolás után
 a) Ag 1000; b) AgCdO 90/10%. A vizsgálat paraméterei:
 $U = 65$ V, $I = 160$ A, $\cos \varphi = 0,35$. Kontaktnyomás: 1 kp.



15-3. ábra Ezüstérintkezők átmeneti ellenállásának változása a kapcsolási szám függvényében, $120 \cdot 10^3$ kapcsolásig.

Vizsgálati paraméterek: $U = 65 \text{ V}$, $I = 160 \text{ A}$, $\cos \varphi = 0,35$.
 Kontaktnyomás: $F = 1 \text{ kp}$. Anyag: Ag 1000. Átmérő: 12 mm



ségét és várható élettartamát, előírt igénybevételek mellett.

Érdekes eredménynek tartjuk a 15-3. és a 15-4. ábrán látható jelleggörbéket, amelyek azt tükrözik, hogy a különféle érintkezőanyagoknál hogyan változik az átmeneti ellenállás a kapcsolási szám növekedésével. $3 \cdot 10^4$, $6 \cdot 10^4$ és $12 \cdot 10^4$ kapcsolás után mértük az átmeneti ellenállásokat az ábrákon feltüntetett vizsgálati paraméterek mellett. A 15-3. ábra Ag, a 15-4. ábra pedig AgCdO érintkezőanyagra vonatkozik. Különösen az AgCdO-nál igen nagy az átmeneti ellenállás szórási tartománya, és ez a kapcsolási szám növekedésével növekszik. Ennek természetes magyarázata, hogy a kapcsolások közben keletkező villamos ív az érintkezők felületét összeroncsolja, ez a tényleges érintkezési helyek méretét bizonytalanná teszi és az érintkezési helyek számát is nagymértékben változtatja. Megállapítható, hogy $5 \dots 6 \cdot 10^4$ kapcsolás után az átmeneti ellenállás változását jellemző szórási sáv felső görbéje állandósult állapotot jelez. Ez tehát azt jelenti, hogy kb. háromszoros ellenállásnövekedésre számíthatunk

15-4. ábra. Ezüstkadmiumoxid érintkezők átmeneti ellenállásának változása a kapcsolási szám függvényében, $120 \cdot 10^3$ kapcsolásig.

Vizsgálati paraméterek: $U = 65 \text{ V}$, $I = 160 \text{ A}$, $\cos \varphi = 0,35$. Kontaktnyomás: 1 kp. Anyag: AgCdO 90/10%. Átmérő: 12 mm

AgCdO esetén az új érintkezőkkel mért átmeneti ellenálláshoz képest. Ag érintkezőknél azonban az átmeneti ellenállás alig változik a kapcsolási szám függvényében. A két jelleggörbe minőségi különbségének oka, hogy míg a belső oxidációs eljárással készített AgCdO érintkezők CdO szemcséi lényegesen nagyobb ellenállású anyagot képviselnek, mint az Ag — tehát attól függően, hogy milyen összetételű anyagrések találkoznak, meglehetősen nagy a mérési tartomány szórása —, addig a homogén összetételű Ag érintkezőknél ilyen nagy változások nem következnek be.

Megállapítható ezek alapján, hogy Ag érintkezők esetén nem követünk el nagy hibát, ha az új érintkezőkre számított és mért átmeneti ellenállást vesszük figyelembe, akkor is, ha használt érintkezők várható melegeledését számítjuk. Az általunk vizsgált 90/10%-os összetételű AgCdO érintkezőknél pedig kb. háromszoros átmeneti-ellenállás-növekedéssel számolhatunk.

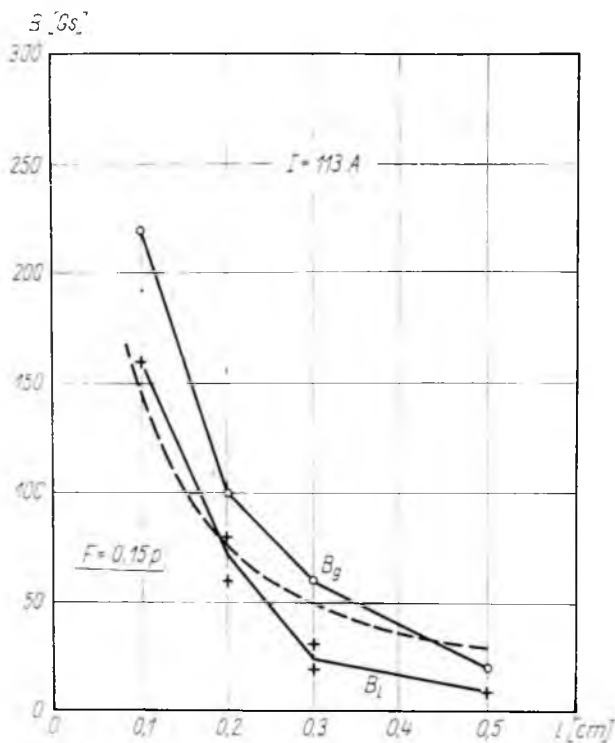
Fontos eredmény annak a megállapítása, hogy az erősáramú mágneskapcsolók érintkezőinél nem érdemes az átmeneti ellenállás csökkentése érdekében különlegesen jó minőségű felületi megmunkálásra és a felületek különleges kialakítási formájára törekedni, mert azok néhány ezer kapcsolat után a villamos ív hatására úgyszólván elroncsolódnak. Miután a mágneskapcsolók villamos élettartama $10^5 \dots 10^6$ kapcsolat nagyságrendű, nyilvánvaló, hogy melegeledés szempontjából a roncsolt felületű érintkező várható átmeneti ellenállásával kell a méretezést végezni.

3. Az áramutak kialakítása és az alkalmazandó ívöltő szerkezet

A villamos ív biztos kioltásához az érintkezők és környezetük megfelelő kialakítása mellett szükséges a legmegfelelőbb ívöltőkamra-típus megválasztása, ill. annak meghatározása, hogy egyáltalán szükség van-e ívöltőkamrára. Amennyiben a megfelelő ívöltés biztosításával a villamos ív égési idejét csökkenteni tudjuk, az érintkezők élettartamát is növeljük.

A vizsgálati eredmények egyértelműen bizonyították, hogy az érintkezők nyitáskor fellépő villamos ív talppontjának elmozdításához erőre van szükség. Ezt az erőt talpponti erőnek nevezzük [5]. A talpponti erőnél nagyobb erőt kell tehát biztosítani ahhoz, hogy az ív az érintkezőkön biztosan elmozduljon és ezáltal az ívtalppontok roncsoló hatását csökkentjük. Vizsgálatainkat a 380/220 V-os névleges feszültségű kontaktorok szabványos vizsgálati feltételei között végeztük el. 100...300 A közötti áramerősség-tartományban végzett vizsgálataink azt mutatták, hogy réz-érintkezők esetén 0,15...0,35 p az a minimális erő, amely a talppontok elmozdításához szükséges. Úgy kell tehát megválasztani az ívet mozgóató térerősséget, hogy ezen értéknél nagyobb erőhatást kapjunk és így biztosítsuk az ún. gyors ívfutás feltételét. A témakörrel kapcsolatban irodalomban található adatok [6, 7, 5] felhasználásával és a javasolt vizsgálati módszerek alkalmazásával végeztük kísérleteinket. A rézelektrodokkal végzett vizsgálatoknál kiderült, hogy 1...2 m/s-nál nagyobb sebességre kell felgyorsítani az ívet az érintkezők között ahhoz, hogy az érintkezők igénybevétele, és ezáltal a kontaktor villamos élettartama elfogadható értékű legyen. Ezt a sebességet kritikus sebességnek nevezhetjük. A kritikus értéknél kisebb sebességek esetén az érintkezők felületén széles, mély ívnyomok találhatók, amelyek nagymértékben megnövelik az anyagfogyást. Természetesen az ívsebesség alakulását az ívre ható térerősségen kívül az ívhosszúság (érintkezőtávolság) is befolyásolja. A vizsgálatokhoz megfelelő mérőberendezést alakítottunk ki, amellyel különféle mágneses teret tudunk létrehozni, és az ív hosszúságát is változtathatjuk. 357 V feszültségen 0,4-es telje-

sítménytényezőjú áramkörben különféle áramerősségekkel végzett vizsgálataink eredményei a 15-5., 15-6. és 15-7. ábrán láthatók. Az ábrán B_g -vel jelöltük azt a minimális fűvótér-indukciót, amely még gyors ívfutást eredményez, és B_l -lel azt a maximális indukciót, amely még a kritikus értéknél kisebb sebességű ívfutást idéz



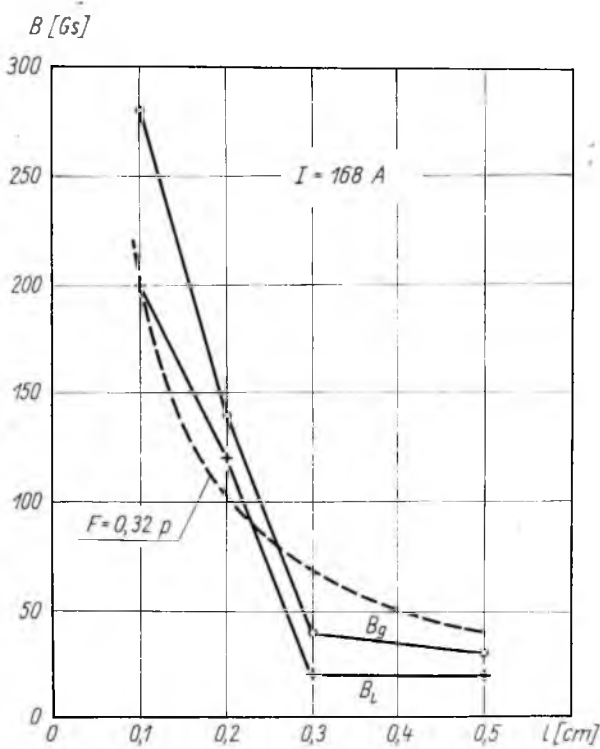
15-5. ábra

elő. Az ábrák az alkalmazott térerősséget mutatják az érintkezőtávolság függvényében. Szaggatott vonallal ábrázoltuk azon minimális erőhöz tartozó számított jelleggörbét, amelynél nagyobb értékre van szükség ahhoz, hogy a talpponti erőt legyőzzük. Mint látható, a számított jelleggörbe jól egyezik a mérés során felvett jelleggörbéekkel. A konkrét számítási módszereket nem közöljük, mivel azok még alapos kísérleti igazolást igényelnek.

60 A-nál kisebb névleges áramerősségű kifestésű mágneskapcsolóknál, tapasztalataink szerint, nincs szükség ívóltókamrák alkalmazására, ha az áramutakat megfelelően alakítottuk ki. Az áramút kialakításának minősége azonban nagyon fontos a nagyobb áramerősségű készülékeknel is, hiszen ezáltal biztosíthatjuk az ívnek az oltókamrákba való gyors behatolását. Vizsgálatainkat egyelőre kétféle áramútelrendezésre korlátoztuk, mint az a 15-8. ábrán látható.

A 15-8a ábra szerinti áramút-kialakítás a régebbi kivitelű hazai készülékeinknél is alkalmazást nyert, a 15-8b ábra szerinti, ún. visszahajtott érintkezőjú megoldás a korszerűbb kivitel. Összehasonlító vizsgálatainknál az ív égési idejét vizsgáltuk különféle áramkörök esetén, és mértük mindkét megoldásnál az ív környezetében

kialakuló térerőt. Ezeknél a méréseknél az indukciót az áramutakon átfolyt áram hozza létre. Miután kettős megszakítási helyet alkalmaztunk, a kétféle megoldásnál (366 V feszültségen, 0,35 teljesítménytényezőjú áramkörben 100...300 A áramerősségtartományban) az ívidők mérésekor lényeges különbséget nem találtunk. Ennek oka,

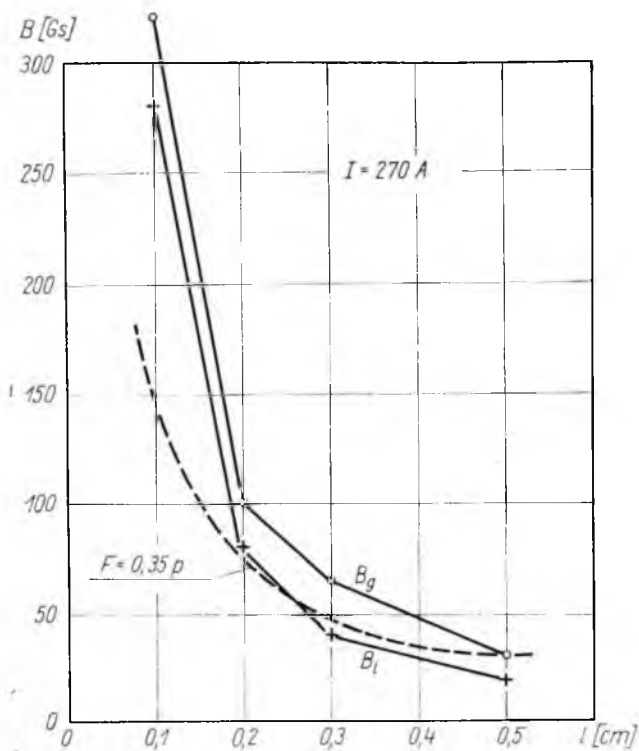


15-6. ábra

hogy valamennyi vizsgálatnál az áram az első nullátmenet után kialudt a kettős megszakítási hely hatására. Igen érzékeny Hall-szondás műszerrel végzett térerősségméréseink azonban azt mutatták, hogy visszahajtott áramútnál kb. 85%-kal nagyobb a fűvótér erőssége, mint a 15-8a ábránál látható megoldásnál. Így lényegesen nagyobb ívmozgás biztosítható a 15-8b ábra szerinti kialakítással. Ezt a megállapítást igazolták az érintkező élettartamra vonatkozó vizsgálataink, amelyek szerint a visszahajtott kivitelnél lényegesen kisebb az érintkezők igénybevétele.

A 60 A, és annál nagyobb áramerősségű kisfeszültségű kontaktoroknál már célszerű a biztonságos ivóltás és a nagyobb élettartam biztosítása érdekében oltókamrák alkalmazása. A megfelelő oltókamra kiválasztásakor természetesen figyelembe kell venni a vonatkozó szabványt is, amely előírja a kontaktoroktól megkívánt kapcsolóképességet. Ezek az előírások lényegesen szigorúbb követelményeket támasztanak a mágneskapcsolókkal szemben, mint a villamos élettartam vizsgálatára vonatkozó előírások. (PI. AC₃ üzemmódban a kapcsolóképesség-vizsgálatoknál a névleges áramerősség 8-szorosát, ill. 6-szorosát kell be- és kikapcsolni, a névleges feszültség 1,1-szeresénél, 0,35-ös teljesítménytényező mellett; a villamos élettartam vizsgálatokor

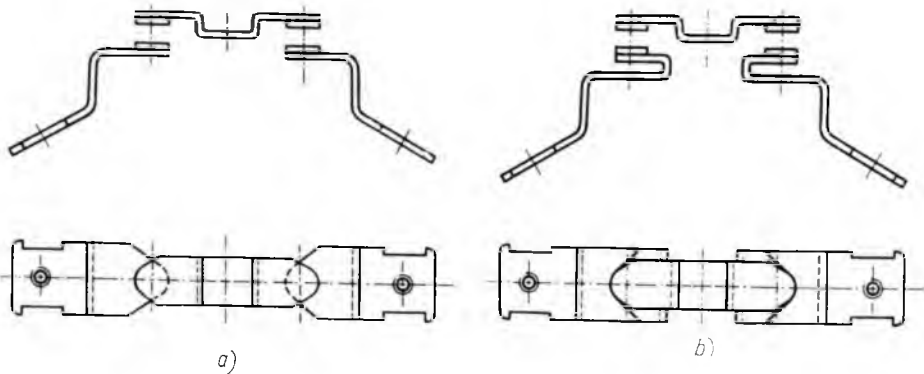
pedig csak a névleges áramerősséget kell kikapcsolni a névleges feszültség 0,17-szeresénél, ugyancsak 0,35-ös teljesítménytényező mellett.) A megfelelő oltókamrafajta kiválasztásánál arra a megállapításra jutottunk, hogy legcélszerűbb az oltólemezes megoldás alkalmazása. Ezt az ún. deion-oltókamrát pedig leghelyesebb



15-7. ábra

vaslemezekből kialakítani, mert így kihasználjuk a vas azon hatását, hogy a mágneses erővonalakat összesűrítve elősegíti az ívnek a lemezek közé való behatolását. Ugyanakkor megtartjuk az ív részekre bontásával és az erőteljes hűtőhatással kapcsolatos előnyöket.

Még a fenti fő kérdések eldöntése után is számos olyan kutatási feladat vár megoldásra, amely hosszú évek rendszeres munkáját kívánja meg. A készülékek tervezői számára könnyen kezelhető módszereket kell adnunk az alkalmazandó vaslemezek méreteire, elrendezésére, a lemezek alakjára és az ívhez képesti elhelyezésére vonatkozólag. Meg kell határoznunk, hogy a különféle lemezkialakításoknál, hogyan változik a villamos ívre gyakorolt erőhatás; milyen sűrűn lehet egymáshoz a lemezeket elhelyezni, ahhoz, hogy az ív a lemezek közé biztosan behatoljon és a megfelelő deion-hatást is érvényesíteni tudjuk, a lemezeken milyen bevágásokat alakítsanak ki az ív gyors mozgásának biztosítása érdekében. A kapcsolatos kutatási munka eddigi eredményeit jelen közlemény egy másik cikke részletesen ismerteti, *Polgár Tibor* tollából.



15-8. ábra

4. A működtetőmágnesek méretezése

A váltakozóáramú elektromágnesek üzemének tanulmányozása során tudomásul kellett vennünk, hogy az egyenáramú mágnesekkel kapcsolatban szerzett korábbi tapasztalatainkat csak viszonylag kis mértékben tudjuk hasznosítani. Váltakozóáramú mágnesnél ugyanis tulajdonképpen az egész működési folyamat átmeneti jelenségek sorozatából épül fel. Már a bekapcsolás pillanatában fennálló feszültség-szöghelyzet is nagymértékben befolyásolja a mágnes működési idejét és a fegyverzet sebességének alakulását. Működés közben a főfluxus és a szórt fluxus is állandóan változik. Külön nehézséget jelent a mágnes zúgásmentesítésére alkalmazandó rövidrezáró gyűrűk jelenléte. Az általában aszimmetrikusan elhelyezett gyűrűk ui. a mágneses körben mezőtörzítést okoznak. Figyelemmel kell lenni az örvényáram- és hiszterézis-veszteségekre is. Mindezek a nehézségek szükségessé tették a mágnes működésére jellemző jelleggörbék egyértelmű definiálását. Ezen a téren az irodalomban igen nagyfokú a véleményeltérés, ezért szükségesnek tartottuk az alábbiak szerint definiálni az egyes jelleggörbe-fajtákat:

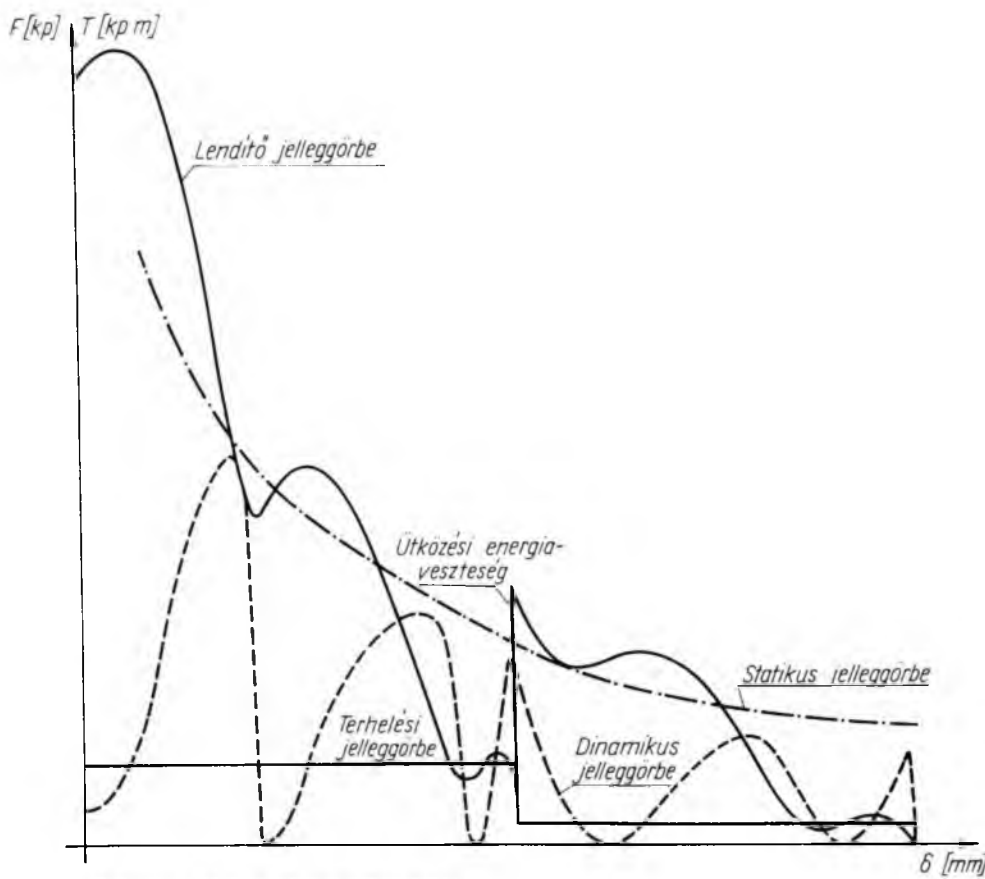
a) *Terhelés (ellenállás-) jelleggörbének* nevezzük azon erők függését a térbeli helyzettől, amelyeket az elektromágnesnek a fegyverzet behúzása közben le kell győznie (15-9. ábra).

b) *Statikus jelleggörbén* a megfogott fegyverzetre ható erő függését értjük a térbeli helyzettől, a bekapcsolási tranziens jelenségek lezajlása után mérve. Az $F = f(\delta)$ függvény egyes pontjainak felvétele közben tehát a légrés nem változik.

Váltakozóáramú méréseknél a periodikusan váltakozó erő csúcserőit, vagy középértékeit összekötő burkoló görbe adja a statikus jelleggörbét. Az így adódó erők nem azonosak az egyenáramú mágneseknél bevezetett leszakító erővel, hiszen az erő minden nullátmeneténél a mágnes a terhet elengedi.

c) *A dinamikus jelleggörbe* abban különbözik a statikus jelleggörbétől, hogy az erő (vagy energia) változásait a fegyverzet mozgása közben írja le a gerjesztés bekapcsolásától a fegyverzet zárásáig, lendítőtömeg nélkül (csak a fegyverzet saját súlyát vesszük figyelembe). A jelleggörbe meghatározása során a tranziens jelenségek egész sora lép fel. Tekintettel kell lennünk ezért a fluxusnak, az elektromotoros erőnek, a légrés mágneses vezetésének változására és a fegyverzet mozgásából adódó járulékos veszteségek alakulására.

A váltakozóáramú mágneseknél komoly szerepet játszik a feszültség bekapcsolási szögének megválasztása. Célszerű az $F=f(\delta)$ jelleggörbe helyett az energia változását ábrázolni a légrés függvényében, hogy az erő nullértékeinél a fegyverzetben felhalmozódott kinetikus energiát is figyelembe vehessük [$W=f(\delta)$].



15-9. ábra. Elektromágnes jelleggörbéi

d) A lendítő jelleggörbe tulajdonképpen a dinamikus jelleggörbének és a terhelési jelleggörbének figyelembevételével kialakított olyan összefüggés, amely az elektromágnes üzemi viszonyait legáttekinthetőbben jellemzi. Ez a jelleggörbe azon erő függését adja a térbeli helyzetétől, amit a fegyverzet ki tudott fejteni a terheléssel szemben, húzóereje és lendülete (kinetikus energiája) következtében. Különösen fontos ez, amikor a terhelési jelleggörbe nem folytonos, hanem ugrásokat tartalmaz, tehát fel kell használni a mozgó részek lendületét. Az az idő, amely alatt a fegyverzet a terhelési jelleggörbe által megszabott munkát elvégzi, a fegyverzetre ható erőn kívül az ellenerő (terhelés) alakulásától is függ. Így a lendítő jelleggörbét a terhelési jelleggörbe alakja nagymértékben befolyásolja.

Váltakozóáramú mágnes esetében a lendítő jelleggörbe felvételekor is rendkívül fontos a feszültség bekapcsolási szögének figyelembevétele.

Az egyes jelleggörbék definíciójának áttekintéséből következik, hogy a dinamikus jelleggörbe tulajdonképpen egy „üresjárású” lendítő jelleggörbének felel meg, amely működtető mágneseknél csak elvi jelentőségű, mivel a fegyverzet tényleges mozgását — egy adott esetben — a terhelési jelleggörbe által megszabott lendítő jelleggörbe határozza meg. A dinamikus és lendítő jelleggörbe felvételekor tulajdonképpen a fegyverzetre ható gyorsítóerő ismeretére van szükség. A gyorsítóerő minden időpillanatban más és más, és mérése közvetlen erőméréssel nem lehetséges, csak a mozgórész gyorsulásának méréséből számítható ($F=ma$ összefüggés figyelembevételével).

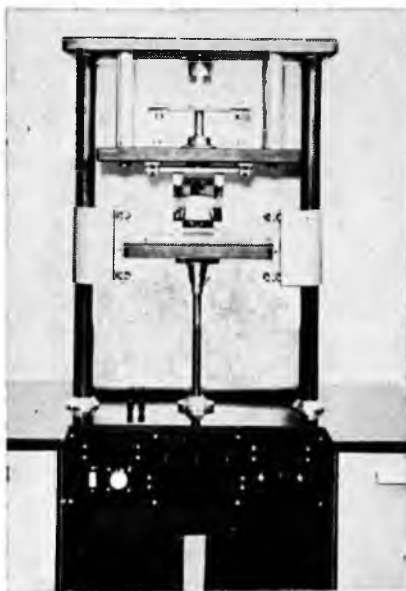
A felsorolt jelleggörbék ismerete a mágnesek méretezése szempontjából igen fontos és egy meghatározott esetben az optimális értékek meghatározása ezek nélkül nem lehetséges. Mint láttuk, a terhelési jelleggörbe ismeretében elsősorban a lendítő jelleggörbe meghatározása szükséges. Közelítő számítási módszerekkel kell ezt a jelleggörbét felvenni, majd a sorozatgyártás megindítása előtt különféle kísérleti példányokon méréssel lehet meghatározni a lendítő jelleggörbe pontos menetét. Mindezekhez elsősorban megfelelő mérőberendezés kialakítására van szükség.

Első lépésként a működtetőmágnesek légrésének az idő függvényében történő változását kívántuk mérni [$\delta=f(t)$]. Ehhez a 15-10. ábrán látható mérőberendezést készítettük el. A Hottinger—Baldwin Messtechnik

cég induktív útdóóját felhasználva a mérés a következőképpen történik: Az induktív útdóó ankerját mereven a fegyverzetre erősítjük, a hengeres házat pedig egy stabil alapra rögzítjük. A mágnes fegyverzetének mozgása közben az anker a hengeres házban elmozdul, az útdóó induktivitásviszonya megváltozik, és ezt a változást egy eredetileg kinullázott híddal érzékeljük. A mérőberendezéshez tartozó erősítő kimenetén a mágnes fegyverzete által megtett úttal arányos nagyságú feszültség jelenik meg, amelyet oszcillográffal regisztrálunk.

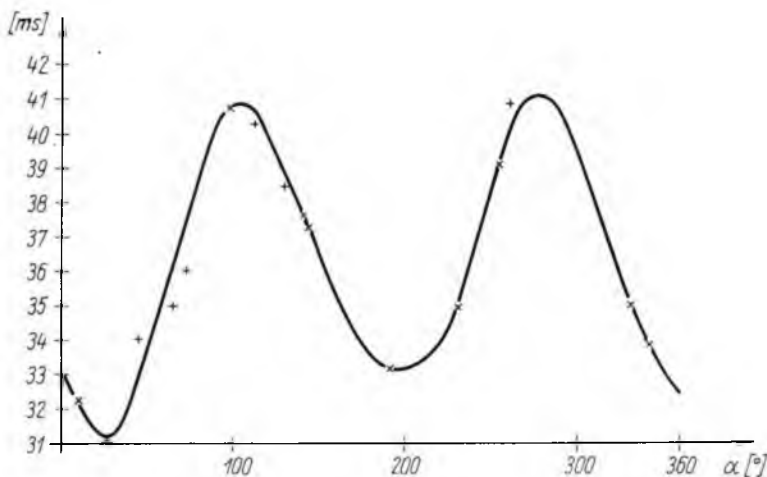
A húzóerőt az idő függvényében a lért mérőberendezéssel közvetett módon mérhetjük. Most az elektromágnes állórészét egy rugalmas membránhoz, a fegyverzetet pedig egy mozgatható asztalhoz erősítjük. A membrán behajlásának mértéke — melyet induktív útdóóval mérünk — arányos az elektromágnes húzóerőjével. Természetesen igen érzékeny mérőberendezésre van szükség, hogy már néhány mikronos útváltozás is regisztrálható kitérést adjon. Így a membrán olyan merevnek készíthető, hogy kb. 100 kp erőnél a maximális behajlás 0,1 mm alatt van. Az erő felvételekor tehát a membrán behajlása gyakorlatilag nem befolyásolja a mérést. A mérés során a behajlás arányos a mindenkor fellépő pillanatnyi húzóerővel.

A fegyverzet mozgási sebességének mérése a $\delta=f(t)$ görbe felvételével egy időben kerülhet sor. Az induktív útdóó a mérőerősítőjén keresztül az úttal arányos villamos jelet ad, az út differenciálhányadosa pedig közvetlenül a sebesség. Ezt mérés-technikailag differenciáló transzformátor felhasználásával oldottuk meg.



15-10. ábra
Működtetőmágnes-vizsgáló asztal

Miután módunk volt fenti mérőberendezés birtokában a különféle jelleggörbék felvételére, igen érdekes tapasztalatokat szereztünk. Megállapítást nyert pl., hogy míg az egyenáramú működtetőmágnesek statikus jelleggörbéjének felvételéhez viszonylag egyszerű módszerek alkalmazhatók, addig a váltakozóáramú mágnes az erő nullátmeneteinél elengedi a ráakasztott súlyt annak ellenére, hogy a periodikus függvény burkológörbéje szerint még jóval nagyobb erők legyőzésére is képes lenne (l. 15-9. ábra). A 15-9. ábrában egyébként a terhelési jelleggörbét is berajzoltuk. Ebből kitűnik, hogy annak ellenére, hogy a húzóerő értéke sok esetben a terhelési jelleggörbe alá fut, a mágnes lendülete (a felhalmozott kinetikus energia) legyőzi a fellépő terheléseket.



15-11. ábra

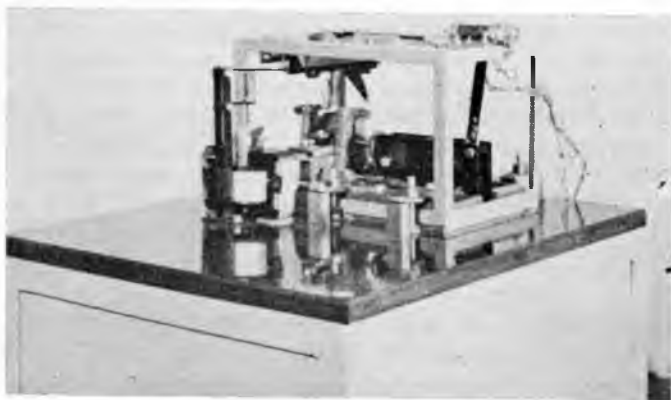
A működési idő a feszültségbekapcsolás fázishelyzetének függvényében

A kutatások egyértelműen azt eredményezték, hogy a váltakozóáramú működtetőmágnesek igen érzékenyek a feszültség bekapcsolási szögére. A legkedvezőbb működési viszonyokat $80 \dots 120^\circ$, ill. $260 \dots 300^\circ$ környékén kaptuk. A 15-11. ábrán látható a működési idő változása a feszültség bekapcsolási szögének függvényében. Ez a felvétel 0,3-as átlagos teljesítménytényezőjú áramkörre vonatkozik, amely elektromágnesek áramkörénél általában szokásos érték. Az ábra csúcserképei a leghosszabb működési időt jelentik, tehát ezek azok a legkedvezőtlenebb értékek, amelyet a méretezésnél figyelembe kell venni. A működési időben jelentkező csúcsok azzal magyarázhatóak, hogy a különféle bekapcsolási szöghelyzethez tartozó áramerősség-értékek ezekben az esetekben az induláskor nem érik el azt az értéket, amely szükséges ahhoz, hogy a terhelés legyőzésére szükséges erő rendelkezésre álljon, tehát a fegyverhet csak egy-két periódussal később indulhat el.

A működtetőmágnesek méretezése során még igen sok feladatot kell megoldani, amíg egyértelmű számítási és mérési módszerekkel meg tudjuk határozni egy adott esetben az optimális értékeket. Mérési módszereink és eddigi eredményeink azonban megadják az alapfeltételeket a cél eléréséhez.

5. Pattogási jelenségek vizsgálata

Az érintkezők pattogása az áramkörök bekapcsolásánál nagymértékben növeli az anyagfogyást, sőt sok esetben az érintkezők összehegedése következhet be. Különösen veszélyesek a pattogási jelenségek azoknál a mágneskapcsolóknál, melyek aszinkron motorokat indítanak. Ilyen esetekben ui. kb. hatszoros indítási áramlökéssel számolhatunk. A pattogó érintkezők szétváláskor nagy áramú ívet húznak, majd amikor a kialakult megolvadt ívtalppontok ismét összeérnek, bekövetkezik a hegedés.



15-12. ábra. Visszapattanás-vizsgáló készülék

Feladatul tűztük magunk elé a váltakozóáramú mágneskapcsolóknál a visszapattanások számának csökkentését, ill. megszüntetését. Ehhez elsősorban a jelenség befolyását kellett alaposan tisztázni, és a visszapattanást okozó tényezőket meghatározni. A feladat megoldásához olyan vizsgálóberendezést alakítottunk ki, amellyel az egyes tényezők hatása külön-külön, rekonstruálhatóan vizsgálható, ill. a visszapattanások mértéke gyorsan meghatározható (15-12. ábra). A készüléken változtatni tudjuk a statikus kontaktusnyomást, az érintkezőrugó meredekségét, az ütközőtömegek nagyságát és alakját, az érintkezők anyagát és formáját, valamint az áramutak kialakítását, mely utóbbiakkal az áram dinamikus hatása következtében fellépő visszapattanási jelenségek is vizsgálhatók. A készülék alkalmas arra, hogy az ütközési sebességeket tetszés szerinti értékre állítsuk be. A visszapattanások számának meghatározására hurkos oszcillográfot használunk. A gyors kiértékelés érdekében elektronikus visszapattanás-számláló készüléket készítettünk, amellyel gyorsan mérhető a bekapcsolás ideje alatt előforduló visszapattanások száma.

Mérési tapasztalataink alapján arra a megállapításra jutottunk, hogy nem minden esetben érdemes törekedni a visszapattanások teljes megszüntetésére. A bekapcsoláskor bekövetkező áramfelfutás ui. még a legkedvezőtlenebb bekapcsolási viszonyok mellett is néhány milliszekundumos időtartamig olyan kis értékeket ér el, amely még az érintkezőknél nem okoz komoly igénybevételt visszapattanások esetén sem. A pattogás teljes kiküszöbölése pedig sokszor gazdaságossági szempontól nem oldható meg. Mindezek figyelembevételével megállapítottuk, hogy feltétlenül szükséges egy olyan tényező meghatározása, amely jellemző a visszapattanás mértékére. Ezen ún. jósági szám kidolgozásánál már figyelembe vettük azt, hogy a bekapcsolás pillanatá-

tól számított hány ms múlva lépnek fel az érintkezők üzembiztosságára veszélyes visszapattanások, és így az egyes visszapattanásokat súlyozva vesszük figyelembe. A kidolgozott jósági szám részletes ismertetése még nem időszerű, mert azt még számos kísérlettel kívánjuk igazolni.

6. Összefoglalás

Az elmondottakkal igen röviden ismertetni kívántuk a váltakozóáramú mágneskapcsolók korszerű kialakítása érdekében tett kezdeti lépéseinket, különös tekintettel a pontos méretezési módszerek kialakítására. Még igen sok feladat áll előttünk, de eddigi eredményeink alapján úgy érezzük, hogy munkánk eredményességének előfeltételeit már megteremtettük. Kutatásaink során továbbra is szorosan együttműködünk a gyártó Villamos Berendezés és Készülék Művekkel, különösen pedig annak 5. sz. gyárával a Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyárával, ahol kutatási munkáinkat eddig is mind anyagilag, mind erkölcsileg messzemenően támogatták. Reméljük, hogy munkánk eredményeként a gyárat megfelelő, gazdaságosan gyártható készülékek kialakításához segítjük és ezzel mind hazai, mind külföldi partnereik műszaki kívánságait is ki tudják elégíteni.

Irodalom

- [1] *Dr. Néveri I.—Csermely L.*: Kiszültségű kapcsolókészülékek érintkezőanyagainak vizsgálata. *Elektrotechnika*, **58**. (1965) 245—250. old.
- [2] *Dr. Néveri, I.*: Kontaktuntersuchungen an Niederspannungsschaltgeräten im Budapester Forschungsinstitut der Elektroindustrie. Kontaktwerkstoff in der Elektrotechnik. Akademie-Verlag, Berlin 1965.
- [3] *Dr. Néveri, I.*: Kontaktwerkstoffprüfungen für Niederspannungsschaltgeräte. *Elektrie*, **20**. (1966) 1, 11—13. old.
- [4] *Dr. Néveri I.*: Újabb eredmények az érintkezőanyagok kutatása területén. A Villamosipari Kutató Intézet Közleményei. **1**. 1966.
- [5] *Domokos S.*: Rövid ívek mozgása a deionlemezek közelében. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1966.
- [6] *Butkiewics, J. B.*: Elektricseskaja csasztü sztancii i podsztancii. Goszenergoizdat, 1951.
- [7] *Bron, O. B.*: Elektricseskaja duga v apparatah upravlenia. Goszenergoizdat, Moszkva—Lenin-grád, 1954.

16.

Villamos készülékek nagyteljesítményű vizsgálatai az Intézet zárlati laboratóriumában

CSÁTHY KÁROLY

ÖSSZEFOGLALÁS

A villamos készülékek kutatási és fejlesztési vizsgálatainak közvetlen és gyors elvégzésére létesült a VKI zárlati laboratóriuma. A vizsgálati lehetőség táblázatos közlései után a cikk ismertetést ad

a kisfeszültségű váltakozó áramú zárlati laboratórium,

a kisfeszültségű egyenáramú zárlati laboratórium,

a középfeszültségű váltakozóáramú zárlati laboratórium,

főbb műszaki jellemzőiről, a megvalósított kapcsolástechnikai, mérési és szabályozási megoldásokról. Teljesen új megoldás a szilíciumdiódás egyenirányító egyégeknek egyenáramú zárlati vizsgálatok céljára történt kifejlesztése.

ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОАППАРАТОВ НА БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ В ЛАБОРАТОРИИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ИНСТИТУТА

К. Чаму

Резюме

Для непосредственного и быстрого выполнения испытаний в области исследований и разработок электроаппаратов в Научно-Исследовательском Институте Электротехнической Промышленности создана лаборатория коротких замыканий. В статье приведена таблица, в которой указаны возможные варианты испытаний и даны основные технические параметры

лаборатории низковольтных коротких замыканий переменного тока,

лаборатории низковольтных коротких замыканий постоянного тока,

лаборатории средневольтных коротких замыканий переменного тока,

и дано описание техники построения схем и способов измерения и регулирования. Совершенно новым решением является разработка выпрямительных блоков на кремниевых диодах для испытаний на короткое замыкание напряжением постоянного тока.

HOCHLEISTUNGSPRÜFUNGEN AN ELEKTROGERÄTEN IM KURZSCHLUSSLABORATORIUM DES INSTITUTES

К. Csáthy

Zusammenfassung

Das Kurzschlusslaboratorium des Forschungsinstitutes der Elektrotechnik dient zur direkten und schnellen Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsprüfungen von Elektrogeräten. Der Aufsatz erteilt nach einer tabellarischen Übersicht der Prüfmöglichkeiten, Aufschluss über die wichtigeren technischen Kennwerte

des Niederspannungs-Kurzschlusslaboratoriums für Wechselstrom,

des Niederspannungs-Kurzschlusslaboratoriums für Gleichstrom,

des Mittelspannungs-Kurzschlusslaboratoriums für Wechselstrom

wie auch über die bereits erzielten schaltungstechnischen, mess- und regelungstechnischen Lösungen. Eine vollkommen neue Lösung stellt die Verwendung von Siliziumventilen für Gleichstrom-Kurzschlussprüfungen dar.

HIGH-POWER TESTS OF ELECTRIC DEVICES IN THE SHORT-CIRCUIT LABORATORY OF THE INSTITUTE

K. Csáthy

Summary

The Short-Circuit Laboratory of the Research Institute of the Electrical Industry was established for the direct and rapid carrying out of research and development tests of electric devices. After a tabular summary of the test possibilities, and the main technical properties, the author turns to a description of the connection, measuring and control solutions already realized in the

low-voltage a. c. short-circuit laboratory,
low-voltage d. c. short-circuit laboratory, and
medium-voltage a. c. short-circuit laboratory.

The development of silicon diode rectifier units for d. c. short-circuit testing is an entirely new solution.

A folyamatos villamosenergia-ellátás egyik alapfeltétele, hogy az energiaelosztásban részt vevő berendezések, így a villamos készülékek is, rendeltetésszerűen és kifogástalanul működjenek. A villamos készülékekre leginkább a zárlati áram hatására megnőtt, különféle (termikus, dinamikus stb.) igénybevételek jelentik a legnagyobb veszélyt. Üzemképes villamos készülékeket tehát zárlati igénybevételekre is méretezni kell, vizsgálatukat pedig a valóságos eseteket lehetőleg hűen utánzó zárlati körülmények között kell elvégezni.

Ezen célkitűzések figyelembevételével kezdte meg az Intézet a kifeszültségű váltakozóáramú és egyenáramú zárlati laboratóriumának létesítését, amely végül is az

16-1. táblázat

Tájékoztató a vizsgálati lehetőségekről

V vizsgálatok	Vizsgálandó készülékek					
	Megszakítók	Szakaszolók	Különféle mágnescapcsolók (kontaktor, vezérlő-, védő-, program stb. kapcsoló)	Biztosítók (aljazat + betét, külön-külön is)	Áramváltók	Támszigetelők, együttesrendszerek
Zárlati szilárdság						
termikus	×	×	—	×	×	×
dinamikus	×	×	—	×	×	×
Kapcsolóképeség						
háromf. v. egyf. v. árammal	×	—	×	×	—	—
egyenárammal	×	—	×	×	—	—
Mechanikai élettartam	×	×	×	—	—	—
Villamos élettartam	—	—	×	—	—	—
Melegedés	×	×	×	×	×	×
Kiolvadási jelleggörbe felvétele	—	—	—	×	—	—
Túláram-jelleggörbe felvétele	—	—	—	—	×	—
Hibamérések a zárl. szil. vizsgálat kiegészítésére	—	—	—	—	×	—
Érintkezők átmeneti ellenállása	×	×	×	—	—	—

új intézeti székházban 1966. év végén üzembehelyezésre került. A zárlati laboratórium széleskörű lehetőséget biztosít villamos készülékek kutatási és fejlesztési vizsgálatainak elvégzésére, valamint a szabványok által előírt, egy-két évenként kötelező ún. típuspróbák lefolytatására is. A vizsgálati eredmények gyors felhasználását van hivatva elősegíteni a Villamos Készülék Laboratórium szervezeti felépítése is; ugyanis a vizsgálatokat végző Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztályának és a készülék-kutatással foglalkozó Villamos Készülék Osztálynak közös közvetlen vezetése van. Az Intézet zárlati laboratóriuma — a VEIKI Nagyteljesítményű Laboratóriumával közösen — a hazai zárlati vizsgálati igénynek kb. 90...95%-át tudja kielégíteni. A két intézet vizsgálati lehetőségeit meghaladó, igen nagy teljesítményeket igénylő zárlati vizsgálatokat a jövőben is a megfelelő lehetőségekkel rendelkező külföldi zárlati laboratóriumokban: Bechovice, IPH, KEMA, CESI, CERDA kell elvégezni.

1. A zárlati laboratórium vizsgálati lehetőségei

A zárlati laboratórium elsősorban villamos készülékek zárlati szilárdságának vizsgálatára (aktív és passzív zárlatbiztonsági vizsgálatokra) alkalmas. Az ezzel összefüggő vagy egyéb különleges kívánásokat kielégítő vizsgálatokat itt külön részletesen felsorolni nem tudjuk, azonban a legfontosabbakról a túloldali táblázatos összeállítás ad tájékoztatást (16-1. táblázat).

2. A zárlati laboratórium felépítése

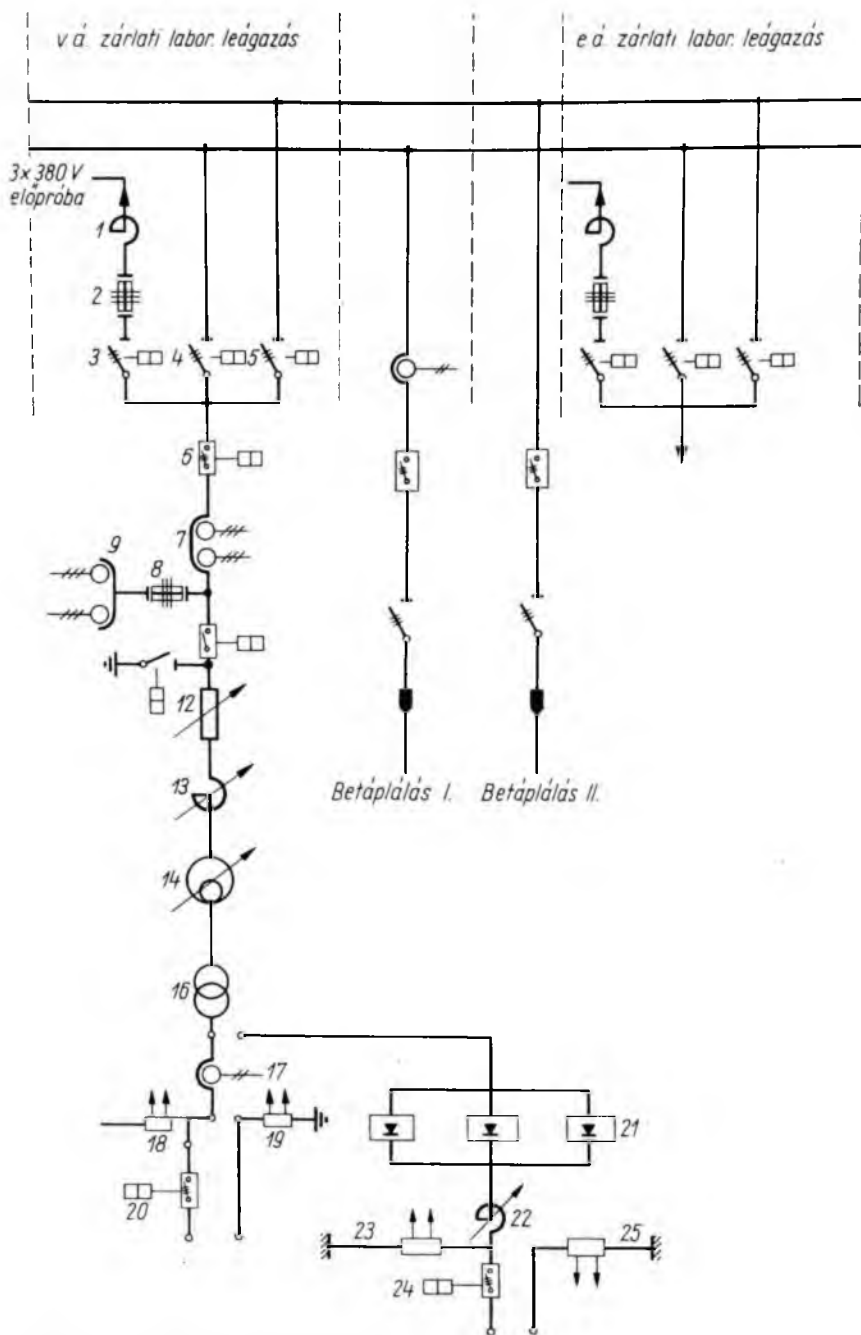
A Villamos Készülék Laboratóriumhoz tartozó Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztályának végső kiépítésében három laboratóriuma lesz:

- kisfeszültségű váltakozóáramú,
- kisfeszültségű egyenáramú és
- középfeszültségű váltakozóáramú laboratóriuma (kifejlesztés alatt).

Ennek a felosztásnak éles határvonalai nincsenek, miután a laboratóriumok energiaellátása a nagyfeszültségű oldalon közös, és igen sok hasonló kapcsoló- és vezérlőelem is több helyen nyer alkalmazást. A továbbiakban a kisfeszültségű laboratóriumokat ismertetjük. A középfeszültségű laboratóriumra vonatkozó — közvetlenül megvalósítás előtt álló — elképzeléseinket az egyenáramú laboratórium bővítésével együtt, a 4. pontban tárgyaljuk.

2.1 Kisfeszültségű, váltakozóáramú laboratórium

A 10 kV-os gyűjtősinre az energia közvetlenül a zuglói állomásról érkezik kábelen. Az egyvonalas kapcsolási vázlatot a 16-1. ábra mutatja. Az 1...13 jelű kapcsolóelemek az épület I. emeleti nagyfeszültségű cellasorában vannak elhelyezve. A 14 szabályozótranszformátor és a 16 zárlati transzformátor a földszinti transzformátorcellában nyert elhelyezést. A nagyáramú szekunder kivezetések indukció-szegény ún. szendvics sinrendszerrel vannak meghosszabítva a próbatárgy elhelyezésére kiképzett nagylégterű cellában. A zárlati áram hatására fellépő tonna nagyságrendű erők igyekeznek a 10...20 mm-re egymáshoz szorított síneket egymástól eltávolítani. Ennek megakadályozására robusztus és sűrűn elhelyezett összefogó szerelvényeket alkalmazunk (16-2. ábra). A vizsgálati áramkörbe beiktatott próbatárgyra a zárlati áramot nagy élettartamú érintkezőkkel felszerelt, mechanikus rendszerű program-



16-1. ábra. A zárlati laboratórium kapcsolási vázlatja

1 előpróba-fojtótekercs; 2 és 8 biztosító; 3, 4 és 5 szakaszoló; 6 megszakító; 7 és 17 áramváltó; 9 feszültségváltó; 10, 20 és 24 rákapcsoló; 11 földelőszakaszoló; 12 ellenállás; 13 és 22 fojtótekercs; 14 szabályozótranszformátor; 16 zárlati transzformátor; 18 és 23 feszültségosztó; 19 és 25 mérőönt; 21 zárlati egyenirányító

kapcsolóval kapcsoljuk rá. Ez a programkapcsoló adja a működtető impulzusokat a különböző kapcsolóelemeknek és biztosítja az előírt kapcsolási program lefutását. A különféle vezérlő impulzusok kiadása egy adott időponthoz képest ms-onként állítható. Sokszor szükség van arra, hogy a zárlati rákapcsolás időpontja egy fél perióduson belül (néhány villamos foknyi pontossággal) beállítható legyen (pl. áramkorlátozó biztosítók megszakítóképeség-vizsgálata során; dinamikus vizsgálatoknál). Erre a célra szolgál az Intézet Villamos Készülék Osztálya által kifejlesztett ún. szinkron rákapcsoló. Ennek lényege az, hogy maga a rákapcsoló — amely egészen $100 \text{ kA}_{\text{eff}}$ zárlati áramig bekapcsolásra alkalmas — rendkívül rövid, néhány ms-os bekapcsolási önidővel rendelkezik, amihez képest a minimumra leszorított, de gyakorlatilag teljesen meg nem szüntethető szórás már elhanyagolható. A rákapcsolónak a megfelelő, egy félperióduson belül kijelölt tetszőleges időpillanatban való bekapcsolásáról elektronikus szerkezet gondoskodik.

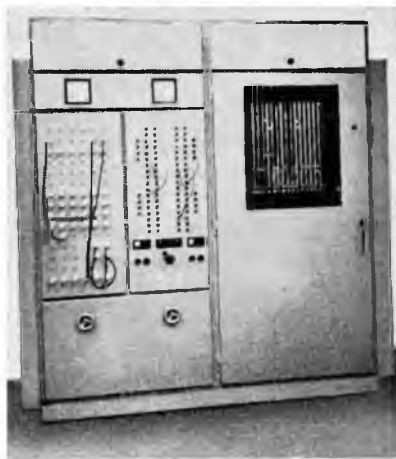
Az összes kapcsolóelemek légnyomásos, ill. villamos hajtással vannak ellátva. Ezek közös vezérlése, ill. működtetése a vezénylőhelyiségben elhelyezett vezénylőasztalról történik (16-3. ábra). Ugyanitt van elhelyezve egy másik kapcsolószekrényegység is, benne jobbra a már említett programkapcsolóval (16-4. ábra). A bal oldali mezőben az összes mérő- és működtető vezetékek az előlapra vannak kihozva és így egyszerű átdugaszolással a mérőhely, a vezénylőasztal és a mérőműszerek (leginkább



16-2. ábra
Zárlati transzformátor kivezetése



16-3. ábra. Vezénylőasztal



16-4. ábra. Programhenger és mérőelosztótábla

oszcillográf) között tetszőleges kapcsolat létesíthető. MÉRŐvezetékeknek két rézvezető, vashuzal beszövésével árnyékolt koaxiális kábelt használunk. Ez a kivitel a hozzá kialakított dugópárokkal együtt biztosítja a külső mágneses terek zavaró hatásától mentes, frekvenciahű jelátvitelt. A kívánt mérőkörökbe egy szabályozható áram- vagy feszültségforrás beiktatható a mérőkör megbontása nélkül és így rendkívül meggyorsítja az oszcillografikus méréseknél szükséges lépték (kalibrálás, Eichung) felvételét.

A zárlati áramkörbe beépített feszültség szabályozó transzformátor (l. 16-1. ábra 14) segítségével a 16 zárlati transzformátor feszültségértékei $4 \times 2,5\%$ -kal növelhetők, ill. csökkenthetők. A zárlati transzformátor szekunder tekercseinek megfelelő csoportosításával sok feszültség fokozat előállítható. Lényegében tehát a zárlati transzformátor kivezetéseinek helyes megválasztásával és egy aránylag kisteljesítményű szabályozótranszformátor beállításával a kívánt feszültségtartományokat át tudjuk fogni és ezen belül a szabványos feszültségeket elő tudjuk állítani.

Elvileg az árampálya bármelyik helyén beiktatott impedancia alkalmas áramkorlátozásra. A nagy áramú oldalon $100 \text{ kA}_{\text{eff}}$ nagyságrendű áramok szabályozására alkalmas fojtótekercsek kivitelezése nagyon bonyolult, ezért árambeállításra a 10 kV-os áramkörben elhelyezett ohmos ellenállásokat és fojtótekercseket alkalmazunk.



16-5. ábra. 10 kV-os kapcsoló- és szabályozóberendezés

A beállítani kívánt áramértékekből a szükséges korlátozó impedanciák nagyságát ki lehet ugyan számítani, de a sok számadat nem ad áttekinthető eredményt. Az egyetlen helyes megoldás az ellenállásokat dekárendszerben felépíteni, a fojtótekercsek-nél pedig olyan megcsapolásokat alkalmazni, amelyek az impedanciák dekádikus lépcsőben való növekedését eredményezik. A lépcsőzés sűrűsége a dekád alapszámának megválasztásától függ, és megválasztásánál gazdasági optimumra törekedtünk. A fokozatok beállítására szolgáló szabályozótábla a 16-5. ábrán látható, alul a fojtótekercseké, felül az ohmos ellenállásoké.

Az előállítható feszültség-, és legnagyobb áramértékeket a 16-2. táblázat mutatja.

Olyan zárlati áramkörben, ahol a fáziseltolás kb. 90° -os, a maximális egyenáramú tag fellépése következtében az első aszimmetrikus áramcsúcs legnagyobb értéke

$1,8 \cdot \sqrt{2} I_{\text{állandó}}$ lehet, ha a rákapcsolás a feszültség nullátmenetekor történt. Abban az esetben, ha az áramkörben az ohmos ellenállás értéke az induktivitáshoz képest megnőtt, úgy az áramkörben a fáziseltolás kisebb lesz, és ebben az esetben a feszültség nullátmenetének közelében történő, max. aszimmetriát létesítő rákapcsolásnál sem fejlődik ki az 1,8-szorosa — mint aszimmetrikus csúcsáram — az állandó zárlati áramnak. Ugyanis az ohmos tag megnagyobbodása miatt az egyenáramú összetevő gyorsabban csillapodik. (Pl. $\cos \varphi = 0,2$ -nél, amely megfelel 78° -os fáziseltolásnak, a szorzótényező 1,8 helyett csak 1,52; a mi berendezésünkben átlagban csak 1,49.)

16-2. táblázat

Váltakozóáramú vizsgálatok

U V	3 fázisú		1 fázisú	
	I kA _{eff}	I kA _{cs}	I kA _{eff}	I kA _{cs}
1038	27	57	27	57
692	40	84	36	76
600	44	95	40	84
400	50	105	45	95
346	60	126	52	110
200	50	105	45	95
173	50	105	45	95
100	50	105	45	95

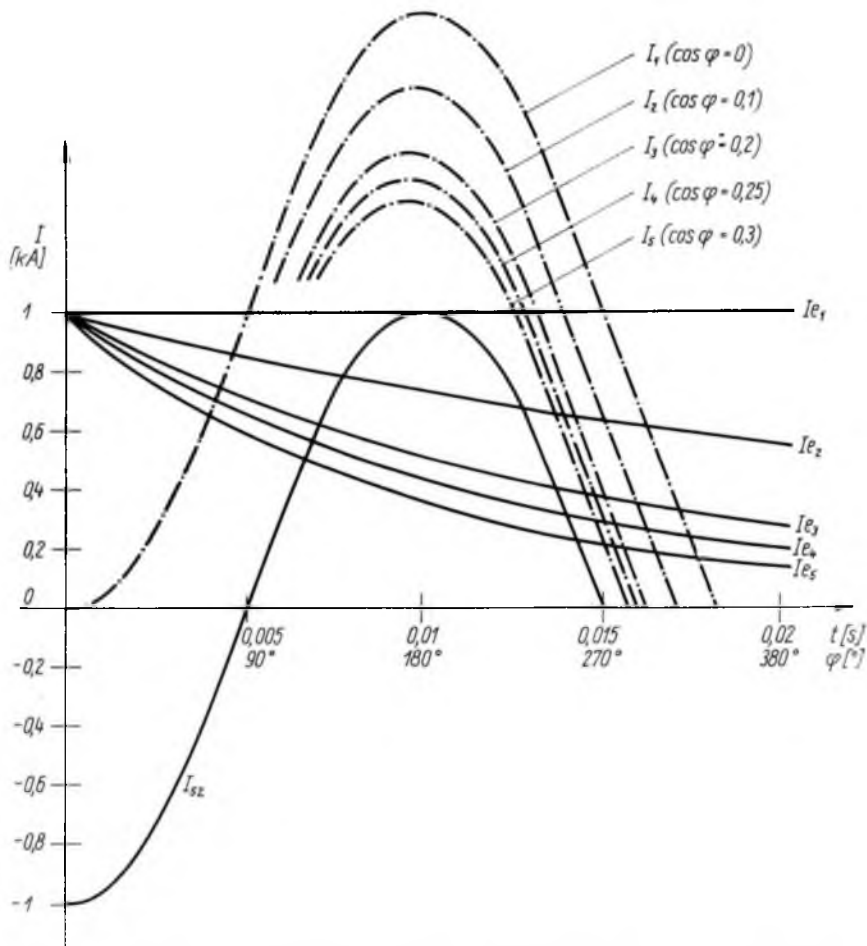
zárati áramnak. Ugyanis az ohmos tag megnagyobbodása miatt az egyenáramú összetevő gyorsabban csillapodik. (Pl. $\cos \varphi = 0,2$ -nél, amely megfelel 78° -os fáziseltolásnak, a szorzótényező 1,8 helyett csak 1,52; a mi berendezésünkben átlagban csak 1,49.)

A 16-6. ábrában kirajzoltuk a zárlati rákapcsoláskor kifejlődő áramalakot különféle $\cos \varphi$ esetén ($I_1 \dots I_5$). A rákapcsolás mindig a maximális aszimmetriának megfelelő időpillanatban történik. Ahogy a $\cos \varphi$ értéke növekszik, úgy növekszik a csillapítás és az aszimmetrikus áramcsúcs mindinkább kisebb és kisebb lesz. Az aszimmetrikus zárlati áram egyenáramú összetevőjének ($I_{e1} \dots I_{e5}$) csillapodását a felvett áramköri $\cos \varphi$ -hez tartozó időállandó határozza meg.

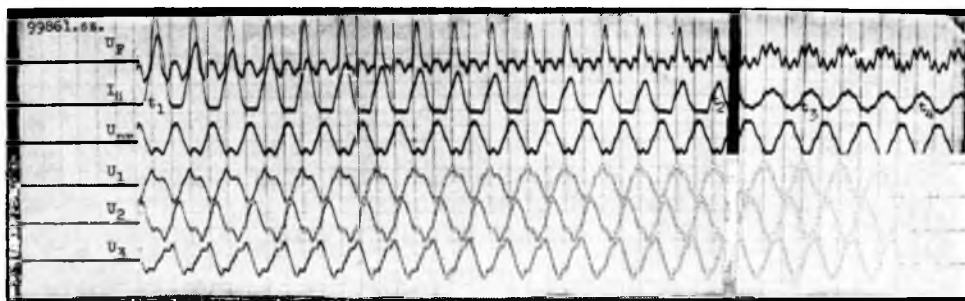
A könnyű kezelhetőség és elfogadható méretek, mint előnyök mellett azonban a 10 kV-os oldalon elhelyezett korlátozó impedanciák egy kellemetlen tulajdonságával számolni kell, éspedig azzal, hogy a zárlati transzformátor üresjárási feszültség-görbéjét eltorzítják. Olyan esetben ez nem engedhető meg, ahol a szinuszos alakú feszültség előírt vizsgálati követelmény. A transzformátor üresjárási — nem szinuszos — árama nem szinuszos feszültségést okoz az előtétimpedancián. A vele soros transzformátoron is nem szinuszos feszültségnek kell ébrednie, mert csak így lehet a két nem szinuszos feszültség eredője szinuszos alakú feszültség, amit a hálózat kényszerít a rendszerre. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy a zárlati transzformátor primer oldali rákapcsolása esetén a bekapcsolási (tranzien) folyamat alatt a feszültségek még torzabbak lesznek és a páratlan rendszámú felharmonikusokon kívül páros rendszámúak is fellépnek. A transzformátor feszültségének nemcsak az alakja tér el a szinuszostól, hanem a vízszintes tengelyre vett szimmetriáját is elveszíti. Ohmos ellenállás alkalmazása esetén a rendszer időállandója annyira lecsökken, hogy 1...1,5 periódus alatt az állandósult állapot, és a vele együtt a kihozható legkedvezőbb feszültségalak bekövetkezik (16-7. és 16-8. ábra). Olyan esetekben, ahol az üresjárási feszültség (mely mint visszatérő feszültség jelentkezik) alakjának a zárlati jelenség bekövetkezése után csak 1...1,5 periódus múlva van jelentősége, ohmos ellenállás primer oldali rákapcsolással megfelelő megoldást adhat. Egyéb esetekben szekunder oldali rákapcsolást kell alkalmazni.

2.2 Egyenáramú zárlati laboratórium

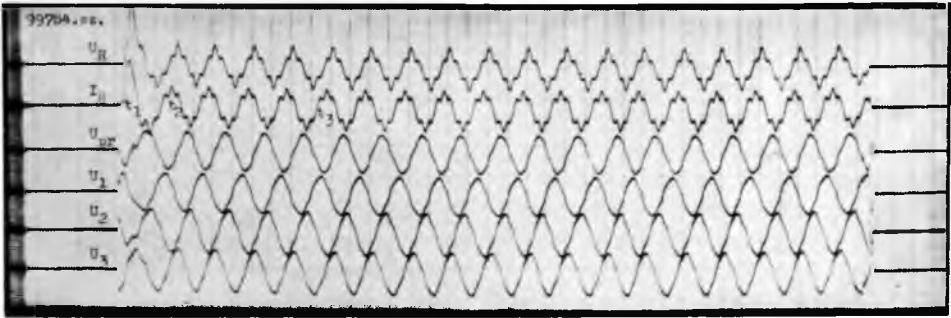
Az egyenáramú zárlati vizsgálatok elvégzésére alkalmas berendezéshez megfelelő egyenáramú áramforrás szükséges és ezenfelül olyan vezérlő-, mérő- és szabályozó-tartozékok, amellyel a különleges zárlati vizsgálati feltételek megvalósíthatók.



16-6. ábra. Rákapcsoláskor kifejlődő aszimmetrikus zárlati áramok ($I_1 \dots I_5$) különböző $\cos \varphi$ értékeknél



16-7. ábra. Üresen járó transzformátorral sorbakötött fojtótekercs rákapcsolása a hálózatra U_F feszültségű a fojtótekercsen; I_H transzformátor üresjárási árama; U_p, r transzformátor primer fázisfeszültsége; U_1 , U_2 és U_3 szekunder vonali feszültségek; $t_1 \dots t_2$ szakasz: a bekapcsolási folyamat kezdeti része; $t_3 \dots t_4$ szakasz: állandósult állapot



16-8. ábra. Üresen járó transzformátorral sorbakötött ohmos ellenállás rákapcsolása a hálózatra U_R feszültséges az ellenálláson; I_0 transzformátor üresjárási árama; U_{p1} transzformátor primer fázisfeszültsége; U_1 , U_2 és U_3 szekunder vonali feszültségek; $t_1 - t_2$ szakasz: bekapcsolási folyamat; $t_2 - t_3$ szakasz: állandósult állapot

Áramforrásként gyakorlatilag a higanykatódos és a félvezetős egyenirányító jöhetett szóba. A higanykatódos egyenirányító választásától annak nehézsége, nagy terjedelme és komplikált segédberendezése miatt eltekintettünk, és a kívánt célra egy szilíciumdiódákból összeállított egyenirányító-berendezést fejlesztettünk ki. Az egész laboratóriumrész végleges felépítéséig jelenleg egy kísérleti egyenirányító üzemel, amely 18 db, egyenként 18 (6 párhuzamos, 3 soros) db szilíciumdiódát tartalmazó egységből, ún. fiókból áll (16-9. ábra). A fiókok egymással olyan csoportokat képezhetnek, amelyek váltakozóáramú táplálására a váltakozóáramú zárlati laboratórium zárlati transzformátora, vagy vele azonos transzformátor alkalmas. Ez rendkívül szerencsés megoldás, mert nincs szükség új típusú egyenirányító-transzformátor kidolgozására, másrészt a kísérleti egyenirányító-egységek a jelenlegi váltakozóáramú zárlati laboratórium transzformátorához csatlakoztathatók, és így felhasználható a már kiépített összes szabályozó- és mérőberendezés is (l. 16-1. ábra). A tervbevert bővítés szerint az egyenirányító-berendezés a 10 kV-ról teljesen önálló leágazáshoz csatlakozik, hasonlóan a váltakozóáramú zárlati leágazáshoz.



16-9. ábra. Egyenirányító-egységfiók

A felépített kísérleti egységgel előállítható feszültség- és legnagyobb áramértékeket a 16-3. táblázat mutatja.

16-3. táblázat

Egyenáramú vizsgálatok

U_-, V	236	472	544	710	940	1410
I_-, kA	12	12	4	4	4	4

Megjegyzés: Időállandó 0 és 30 ms között beállítható.
Az adott feszültségértékek $4 \times 2,5\%$ -kal növelhetők, ill. csökkenthetők.

A megadott áramokat a berendezés 1 s-ig bírja. Az alkalmazott transzformátor három, egymástól független tekercsrendszert alkot. Egy tekercsrendszerhez 6 „fiók”-ból álló egyenirányító csatlakozik; az így kapott egység max. 514 V-nál 4 kA-t ad le. Három ilyen egységgel rendelkezünk; így lehet soros vagy párhuzamos kapcsolásról a táblázatban adott értékeket előállítani.

A zárlati egyenáram szabályozása ugyanazokkal a szabályozóelemekkel történik, mint a váltakozóáramú rész esetében (l. 16-1. ábra. 12, 13). Tekintve, hogy a kapott egyenfeszültség alakja az egyenirányító betáplálására szolgáló transzformátor feszültségeiből tevődik össze, mindazok a következtetések, amelyek az üresen járó impedanciákkal sorbakötött transzformátorról kapcsolatban lerögzítésre kerültek, itt is figyelembe veendőek. A lehető legjobb szinusz alak — ill. az ehhez tartozó legsimább egyenfeszültség — elérése céljából szükséges minél kisebb, lehetőleg ohmos ellenállások használata a 10 kV-os tápoldalon. Ez a kapcsolásoknál fellépő elkerülhetetlen lengéseket is csökkenti és hozzájárul az egyenirányító kíméléséhez.

A vizsgálati előírások megszabják az egyenáramú zárlati kör időállandóját. Az időállandó az egyenáramú kör induktivitásának és a kör ohmos ellenállásának hányadosa. Saját egyenáramú zárlati berendezésünkben lefolytatott vizsgálatainkkal igazoltuk, hogy az időállandó megállapításakor nem csupán a kör ohmos ellenállását kell számításba venni, hanem az egész árapálya bármelyik szakaszába beiktatott impedanciát, tehát induktivitást is, amely a zárlati egyenáram állandósult értékére befolyással van. Ezen megfontolások szerint tehát az egyenáramú körbe ohmos ellenállást nem feltétlenül szükséges tenni, ha más helyen, pl. a 10 kV-os váltakozóáramú oldalon megfelelő korlátozó impedancia rendelkezésre áll. Ezzel szemben a váltakozóáramú oldalon bárhol elhelyezett induktivitás az időállandónak az L tényezőjét nem befolyásolja, csak az R -t. Az időállandó által meghatározott L fojtótekercset ezzel ellentétben az egyenáramú körbe kell beiktatni, azt más helyre beiktatott induktivitással helyettesíteni nem lehet.

3. Előpróbák

A zárlati szilárdság mind váltakozóáramú, mind egyenáramú vizsgálatánál az esetleges hibás kapcsolás a vizsgálandó készülék elpusztulását jelentheti és a vizsgálat csak újabb próbadarab felhasználásával ismételtető meg. Kényes esetben tehát célszerű megbizonyosodni arról, hogy az alkalmazott kapcsolás helyes. Erre a célra szolgál az ún. előpróba. Lényege az, hogy az előírt adatokkal beállított vizsgálati áramkörbe

a betáplálást nem $U_1 = 10$ kV feszültséggel, hanem e helyett egy másik, U_1 -nél lényegesen kisebb U_2 feszültséggel végezzük el. Ez esetben a vizsgálandó készülékre jutó feszültség és áram U_2/U_1 arányban, a teljesítmény pedig ezen arány négyzetével csökken. A feszültség és áram értékének alkalmas megválasztásával elérhető, hogy a vizsgálandó készülékre jutó teljesítmény — mely annak épségét veszélyezteti — oly kicsi lesz, hogy a meghibásodástól tartani nem kell, ugyanakkor viszont megfelelő jelerősítők alkalmazásával a regisztrátumban jól kiértékelhető ábra jelenik meg. Legyen az U_1 feszültségen történő betáplálás esetén a zárlati áram I_1 , az U_2 feszültségen történő betáplálás esetén (előpróba) a névleges áram I_2 , akkor

$$I_2 = \frac{U_2}{U_1} I_1.$$

Kimutattuk, hogy ez csak akkor igaz, ha a betáplálási pont előtti árapályák impedanciája mindkét esetben ugyanaz. Ennek a feltételnek a megvalósítására az előpróba áramkörbe külön impedanciát kell beiktatni (l. 16-1. ábra).

4. A zárlati laboratórium továbbfejlesztése

A váltakozóáramú résznél a zárlati teljesítmény 10...50%-os növelését, valamint a feszültségtartomány 44 kV-ig való kibővítését kívánjuk megvalósítani. A berendezés minden beépített tagja zárlati teljesítmény szempontjából kellő tartalékkal rendelkezik, ezért a zárlati teljesítmény növelése csak a zárlati laboratórium épületén kívül fekvő hálózati rész zárlatkorlátozó egységeinek csökkentésén múlik. A feszültségtartomány emeléséhez megfelelő áttételű szabadtéri transzformátort alkalmazunk majd olyan kapcsolásban, hogy a meglévő mérő- és szabályozóberendezések az emelt feszültségű vizsgálatokhoz is alkalmazhatók legyenek. A kibővített berendezés — az adott teljesítményhatáron belül — középfeszültségen is lehetőséget ad elsősorban kisebb teljesítményű, de hosszadalmas vizsgálatokra, így pl. középfeszültségű biztosítók túlárambiztossági és kritikus zárlati áramokkal történő vizsgálatára, terhelésszakaszolók, feszültségváltók stb. vizsgálatára is.

Az egyenáramú rész teljesítményét újabb szilíciumdiódás egységek beállításával kívánjuk növelni. A bővítés során az egyenirányítókhoz teljes nagyfeszültségű kapcsolóberendezés is kiépítésre kerül úgy, hogy a kisfeszültségű váltakozóáramú rész és az egyenáramú rész egymástól függetlenül üzemeltethető lesz.

5. Összefoglalás

A felmerült igények alapján az Intézet kiépítette villamos készülékek zárlati vizsgálatára alkalmas, kisfeszültségű váltakozóáramú és egyenáramú zárlati laboratóriumát. Az elvégezhető vizsgálatok és teljesítményértékek táblázatos megadásán kívül ismertettünk néhány tervezési problémát és azok megoldását is. Végül tájékoztatást adtunk a zárlati laboratórium közeljövőben végrehajtandó továbbfejlesztéséről.

Irodalom

- [1] *Kloeppe, F. N. — Fiedler, H.*: Kurzschluss in elektrischen Anlagen und Netzen. VEB Verlag Technik, Berlin, 1965.
- [2] Das Hochspannungs-Hochleistungsprüffeld der Deutschen Demokratischen Republik
 - a) *Häselbarth, G.*: Gegenwärtiger Stand des Ausbaues und Perspektive der Prüfmöglichkeiten
 - b) *Häselbarth, G.*: Die technische Ausrüstung des Hochspannungs-Hochleistungsprüffeldes
 - c) *Buchold, E. — Jacobi M.*: Die Meß- und Steuereinrichtungen des Hochspannungs-Hochleistungsprüffeldes, erklärt anhand einiger durchgeführter Prüfungen
 - d) *Sprang, G.*: Das Niederspannungs-HochleistungsprüffeldWissenschaftlich Technische Mitteilungen, November 1963, Heft 1. (IPH)
- [3] Catalogue of Performance IPH. issued: Febr. 1966.
- [4] Descripton of CESI (Centro Elektrotecnico Sperimentale Italiano) Giacinto Motta, Milano
- [5] *Zajic, V.*: Mission and Facilities of the Short Circuit Test Establishment in Czechoslovakia. Czechoslovak Heavy Industry, 5. (1957)
- [6] *Novotny, V. — Smajler, A.*: Technical Equipment of a Short Circuit Testing Station (lásd [5]).
- [7] *Moravová, H. — Pánek, J. — Hostasa, D.*: Methods of Testing (lásd [5]).
- [8] *Kabelik, J. — Kohout, J. — Smajler, S.*: Methods of Control and Measuring in Short-Circuit Tests (lásd [5]).
- [9] *Maravová, H. — Zajic, V.*: Technical Standard and Further Development of a Short Circuit Testing Station (lásd [5]).
- [10] *Havelka, J.*: New National Laboratory for Supervoltages at Bechovice (lásd [5]).
- [11] *Kucera, J.*: The Equipment of the E. H. T. Laboratory of the Electrical Power Institute at Bechovice (lásd [5]).
- [12] *Kohoutová, D.*: Methods Used in Measurements and Tests at the E. H. T. Laboratory (lásd [5]).
- [13] *Dr. Vajta Miklós*: Zuglói hálózati próbaállomás, VILLENKI Közlemények 332. sz. 1960.

17.

Vas deionlemezek váltakozóáramú villamos ívre gyakorolt erőhatásának vizsgálata

POLGÁR TIBOR

ÖSSZEFOGLALÁS

Modellmérési eljárást dolgoztunk ki a váltakozóáramú kontaktoroknál alkalmazott vas deionlemezek villamos ívre gyakorolt erőhatásának meghatározására. A mérési módszer akkor alkalmazható, ha a lemezek az ív tengelyére merőlegesen helyezkednek el. Megvizsgáltuk, hogyan változik az erőhatás a lemezméretek, valamint egyéb paraméterek függvényében. Az erőhatás pontos meghatározására számítási módszert dolgoztunk ki.

ИСПЫТАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕИОННЫХ СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИНОК НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ДУГУ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

T. Polgár

Резюме

Наш институт разработал метод измерения моделей для определения воздействия усилий деионных стальных пластинок, применяемых для контакторов переменного тока, на электрическую дугу. Данный метод измерения может применяться в том случае, когда пластинки размещаются перпендикулярно к оси дуги. Испытано изменение воздействий усилий в функции размеров и прочих параметров пластинок. Для точного определения воздействия усилия разработана методика расчета.

UNTERSUCHUNG DER KRAFTEINWIRKUNG VON DEION-EISEN- BLECHEN AUF WECHSELSTROM-LICHTBÖGEN

T. Polgár

Zusammenfassung

Im Verlaufe unserer Forschungstätigkeit wurde ein Modellmessverfahren ausgearbeitet, das sich zur Bestimmung der Krafteinwirkung eignet, welche durch die bei den Wechselstromschützen verwendeten Deion-Eisenbleche auf elektrische Lichtbögen ausgeübt werden. Dieses Messverfahren kann angewandt werden, wenn die Bleche senkrecht zur Achse des Lichtbogens angeordnet sind. Es wurde auch die Änderung der Krafteinwirkung in Abhängigkeit von den Abmessungen der Löschbleche sowie sonstigen Parametern untersucht und ein Verfahren zur genauen Berechnung der Krafteinwirkung ausgearbeitet.

A felépített kísérleti egységgel előállítható feszültség- és legnagyobb áramértékeket a 16-3. táblázat mutatja.

16-3. táblázat

Egyenáramú vizsgálatok

U_-, V	236	472	544	710	940	1410
I_-, kA	12	12	4	4	4	4

Megjegyzés: Időállandó 0 és 30 ms között beállítható.
Az adott feszültségértékek $4 \times 2,5\%$ -kal növelhetők, ill. csökkenthetők.

A megadott áramokat a berendezés 1 s-ig bírja. Az alkalmazott transzformátor három, egymástól független tekercsrendszert alkot. Egy tekercsrendszerhez 6 „fiók”-ból álló egyenirányító csatlakozik; az így kapott egység max. 514 V-nál 4 kA-t ad le. Három ilyen egységgel rendelkezünk; így lehet soros vagy párhuzamos kapcsolásról a táblázatban adott értékeket előállítani.

A zárlati egyenáram szabályozása ugyanazokkal a szabályozóelemekkel történik, mint a váltakozóáramú rész esetében (l. 16-1. ábra. 12, 13). Tekintve, hogy a kapott egyenfeszültség alakja az egyenirányító betáplálására szolgáló transzformátor feszültségeiből tevődik össze, mindazok a következtetések, amelyek az üresen járó impedanciákkal sorbakötött transzformátorról kapcsolatban lerögzítésre kerültek, itt is figyelembe veendőek. A lehető legjobb szinusz alak — ill. az ehhez tartozó legsimább egyenfeszültség — elérése céljából szükséges minél kisebb, lehetőleg ohmos ellenállások használata a 10 kV-os tápoldalon. Ez a kapcsolásoknál fellépő elkerülhetetlen lengéseket is csökkenti és hozzájárul az egyenirányító kíméléséhez.

A vizsgálati előírások megszabják az egyenáramú zárlati kör időállandóját. Az időállandó az egyenáramú kör induktivitásának és a kör ohmos ellenállásának hányadosa. Saját egyenáramú zárlati berendezésünkben lefolytatott vizsgálatainkkal igazoltuk, hogy az időállandó megállapításakor nem csupán a kör ohmos ellenállását kell számításba venni, hanem az egész árampálya bármelyik szakaszába beiktatott impedanciát, tehát induktivitást is, amely a zárlati egyenáram állandósult értékére befolyással van. Ezen megfontolások szerint tehát az egyenáramú körbe ohmos ellenállást nem feltétlenül szükséges tenni, ha más helyen, pl. a 10 kV-os váltakozóáramú oldalon megfelelő korlátozó impedancia rendelkezésre áll. Ezzel szemben a váltakozóáramú oldalon bárhol elhelyezett induktivitás az időállandónak az L tényezőjét nem befolyásolja, csak az R -t. Az időállandó által meghatározott L fojtótekercset ezzel ellentétben az egyenáramú körbe kell beiktatni, azt más helyre beiktatott induktivitással helyettesíteni nem lehet.

3. Előpróbák

A zárlati szilárdság mind váltakozóáramú, mind egyenáramú vizsgálatánál az esetleges hibás kapcsolás a vizsgálandó készülék elpusztulását jelentheti és a vizsgálat csak újabb próbadarab felhasználásával ismételtető meg. Kényes esetben tehát célszerű megbizonyosodni arról, hogy az alkalmazott kapcsolás helyes. Erre a célra szolgál az ún. előpróba. Lényege az, hogy az előírt adatokkal beállított vizsgálati áramkörbe

a betáplálást nem $U_1 = 10$ kV feszültséggel, hanem e helyett egy másik, U_1 -nél lényegesen kisebb U_2 feszültséggel végezzük el. Ez esetben a vizsgálandó készülékre jutó feszültség és áram U_2/U_1 arányban, a teljesítmény pedig ezen arány négyzetével csökken. A feszültség és áram értékének alkalmas megválasztásával elérhető, hogy a vizsgálandó készülékre jutó teljesítmény — mely annak épségét veszélyezteti — oly kicsi lesz, hogy a meghibásodástól tartani nem kell, ugyanakkor viszont megfelelő jelerősítők alkalmazásával a regisztrátumban jól kiértékelhető ábra jelenik meg. Legyen az U_1 feszültségen történő betáplálás esetén a zárlati áram I_1 , az U_2 feszültségen történő betáplálás esetén (előpróba) a névleges áram I_2 , akkor

$$I_2 = \frac{U_2}{U_1} I_1.$$

Kimutattuk, hogy ez csak akkor igaz, ha a betáplálási pont előtti árapályák impedanciája mindkét esetben ugyanaz. Ennek a feltételnek a megvalósítására az előpróba áramkörbe külön impedanciát kell beiktatni (l. 16-1. ábra).

4. A zárlati laboratórium továbbfejlesztése

A váltakozóáramú résznél a zárlati teljesítmény 10...50%-os növelését, valamint a feszültségtartomány 44 kV-ig való kibővítését kívánjuk megvalósítani. A berendezés minden beépített tagja zárlati teljesítmény szempontjából kellő tartalékkal rendelkezik, ezért a zárlati teljesítmény növelése csak a zárlati laboratórium épületén kívül fekvő hálózati rész zárlatkorlátozó egységeinek csökkentésén múlik. A feszültségtartomány emeléséhez megfelelő áttételű szabadtéri transzformátort alkalmazunk majd olyan kapcsolásban, hogy a meglévő mérő- és szabályozóberendezések az emelt feszültségű vizsgálatokhoz is alkalmazhatók legyenek. A kibővített berendezés — az adott teljesítményhatáron belül — középfeszültségen is lehetőséget ad elsősorban kisebb teljesítményű, de hosszadalmas vizsgálatokra, így pl. középfeszültségű biztosítók túlárambiztossági és kritikus zárlati áramokkal történő vizsgálatára, terhelésszakaszolók, feszültségváltók stb. vizsgálatára is.

Az egyenáramú rész teljesítményét újabb szilíciumdiódás egységek beállításával kívánjuk növelni. A bővítés során az egyenirányítókhoz teljes nagyfeszültségű kapcsolóberendezés is kiépítésre kerül úgy, hogy a kisfeszültségű váltakozóáramú rész és az egyenáramú rész egymástól függetlenül üzemeltethető lesz.

5. Összefoglalás

A felmerült igények alapján az Intézet kiépítette villamos készülékek zárlati vizsgálatára alkalmas, kisfeszültségű váltakozóáramú és egyenáramú zárlati laboratóriumát. Az elvégezhető vizsgálatok és teljesítményértékek táblázatos megadásán kívül ismertettünk néhány tervezési problémát és azok megoldását is. Végül tájékoztatást adtunk a zárlati laboratórium közeljövőben végrehajtandó továbbfejlesztéséről.

Irodalom

- [1] *Kloeppe, F. N. — Fiedler, H.*: Kurzschluss in elektrischen Anlagen und Netzen. VEB Verlag Technik, Berlin, 1965.
- [2] Das Hochspannungs-Hochleistungsprüffeld der Deutschen Demokratischen Republik
 - a) *Häselbarth, G.*: Gegenwärtiger Stand des Ausbaues und Perspektive der Prüfmöglichkeiten
 - b) *Häselbarth, G.*: Die technische Ausrüstung des Hochspannungs-Hochleistungsprüffeldes
 - c) *Buchold, E. — Jacobi M.*: Die Meß- und Steuereinrichtungen des Hochspannungs-Hochleistungsprüffeldes, erklärt anhand einiger durchgeführter Prüfungen
 - d) *Sprang, G.*: Das Niederspannungs-HochleistungsprüffeldWissenschaftlich Technische Mitteilungen, November 1963, Heft 1. (IPH)
- [3] Catalogue of Performance IPH. issued: Febr. 1966.
- [4] Descripton of CESI (Centro Elektrotecnico Sperimentale Italiano) Giacinto Motta, Milano
- [5] *Zajic, V.*: Mission and Facilities of the Short Circuit Test Establishment in Czechoslovakia. Czechoslovak Heavy Industry, 5. (1957)
- [6] *Novotny, V. — Smajler, A.*: Technical Equipment of a Short Circuit Testing Station (lásd [5]).
- [7] *Moravová, H. — Pánek, J. — Hostasa, D.*: Methods of Testing (lásd [5]).
- [8] *Kabelik, J. — Kohout, J. — Smajler, S.*: Methods of Control and Measuring in Short-Circuit Tests (lásd [5]).
- [9] *Maravová, H. — Zajic, V.*: Technical Standard and Further Development of a Short Circuit Testing Station (lásd [5]).
- [10] *Havelka, J.*: New National Laboratory for Supervoltages at Bechovice (lásd [5]).
- [11] *Kucera, J.*: The Equipment of the E. H. T. Laboratory of the Electrical Power Institute at Bechovice (lásd [5]).
- [12] *Kohoutová, D.*: Methods Used in Measurements and Tests at the E. H. T. Laboratory (lásd [5]).
- [13] *Dr. Vajta Miklós*: Zuglói hálózati próbaállomás, VILLENKI Közlemények 332. sz. 1960.

17.

Vas deionlemezek váltakozóáramú villamos ívre gyakorolt erőhatásának vizsgálata

POLGÁR TIBOR

ÖSSZEFOGLALÁS

Modellmérési eljárást dolgoztunk ki a váltakozóáramú kontaktoroknál alkalmazott vas deionlemezek villamos ívre gyakorolt erőhatásának meghatározására. A mérési módszer akkor alkalmazható, ha a lemezek az ív tengelyére merőlegesen helyezkednek el. Megvizsgáltuk, hogyan változik az erőhatás a lemezméretek, valamint egyéb paraméterek függvényében. Az erőhatás pontos meghatározására számítási módszert dolgoztunk ki.

ИСПЫТАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕИОННЫХ СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИНОК НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ДУГУ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

T. Polgár

Резюме

Наш институт разработал метод измерения моделей для определения воздействия усилий деионных стальных пластинок, применяемых для контакторов переменного тока, на электрическую дугу. Данный метод измерения может применяться в том случае, когда пластинки размещаются перпендикулярно к оси дуги. Испытано изменение воздействий усилий в функции размеров и прочих параметров пластинок. Для точного определения воздействия усилия разработана методика расчета.

UNTERSUCHUNG DER KRAFTEINWIRKUNG VON DEION-EISEN- BLECHEN AUF WECHSELSTROM-LICHTBÖGEN

T. Polgár

Zusammenfassung

Im Verlaufe unserer Forschungstätigkeit wurde ein Modellmessverfahren ausgearbeitet, das sich zur Bestimmung der Krafteinwirkung eignet, welche durch die bei den Wechselstromschützen verwendeten Deion-Eisenbleche auf elektrische Lichtbögen ausgeübt werden. Dieses Messverfahren kann angewandt werden, wenn die Bleche senkrecht zur Achse des Lichtbogens angeordnet sind. Es wurde auch die Änderung der Krafteinwirkung in Abhängigkeit von den Abmessungen der Löschbleche sowie sonstigen Parametern untersucht und ein Verfahren zur genauen Berechnung der Krafteinwirkung ausgearbeitet.

AN INQUIRY INTO THE POWER EFFECT OF IRON DEION PLATES ON THE A. C. ELECTRIC ARC

T. Polgar

Summary

A model measuring method has been worked out to determine the power effect of iron deion plates employed in a. c. contactors on the electric arc. The measuring method can be applied when the plates are located perpendicular to the axis of the arc. The author has examined how the power effect varied with the sizes of the plates and with other parameters. A method has been worked out for the accurate calculation of the power effect.

1. Bevezetés

Az ismertetésre kerülő vizsgálatokat a VBKM 5. sz. Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyára megrendelésére az MNK és NDK közötti váltakozóáramú kontaktorfejlesztési program keretében — annak egy részeként — Intézetünk Villamos Készülék Laboratóriumában folytattuk le. Laboratóriumunkban e tárgyban végzett kutatási munkáknál célul tűztük ki a kisfeszültségű, váltakozóáramú kontaktorokban alkalmazott deionlemez ívöltő szerkezetek egyes méretezési kérdéseinek behatóbb tanulmányozását a műszaki szempontból optimális és ugyanakkor gazdaságos megoldási módok kialakítása érdekében.

A kisfeszültségű, váltakozóáramú kapcsolókészülékek ívöltő szerkezeteinek kialakításánál az érintkezők élettartama szempontjából rendkívül fontos szerepük van a deionlemezeknek. Feladatuk többretű:

a kikapcsoláskor fellépő villamos ívet részekre osztják, ezáltal annak újragyulladását hátráltatják;

a sorbakapcsolt részekre osztott ívre jutó feszültség az egyes ívrészek katód- és anódeseinek összeadódása folytán megnövekszik, ami az ív kialakítását elősegíti; a sorbakapcsolt ívrészek talppontjaira gyakorolt hűtőhatásuk elősegíti az ívoszlop deionizációját;

ferromágneses anyagból (vasból) készített deionlemezek az ívre — keletkezésének pillanatában — vonzóerőt gyakorolnak, amely az ívet elmozdítja, ezáltal hűti és elősegíti, hogy az ív a deionlemezek közé behatoljon.

Jelen cikkben a deionlemezek ez utóbbi hatásával kívánunk részletesebben foglalkozni.

A vas deionlemezek villamos ívre gyakorolt erőhatását első ízben *O. B. Bron* [1] vizsgálta részletesebben. Elméleti úton, a tükrözés elvének felhasználásával meghatározta, hogy a végtelen félsíkra kiterjedő, négyzetleges és különböző bevágásokkal ellátott vaslemezek mekkora erőhatást gyakorolnak egy végtelen hosszú áramvezetőre. Így pl. a 17-1a ábra szerinti négyzetleges lemeznél az y irányú, hosszegységre eső vonzóerőre a vastelítés elhanyagolásával a következő kifejezést adja meg:

$$F = 1,02\sigma\gamma I^2 \frac{1}{r} 10^{-6} \text{ p/mm}, \quad (1)$$

míg a 17-1b ábra szerinti négyzetleges bevágással ellátott lemezalaknál az y irányú hosszegységre eső vonzóerő kifejezése, ha a bevágás a lemez szimmetriatengelyében van:

$$F = 2,04\pi\sigma\gamma I^2 \frac{1}{s} \operatorname{cth} \pi \frac{r}{s} 10^{-6} \text{ p/mm}; \quad (2)$$

AN INQUIRY INTO THE POWER EFFECT OF IRON DEION PLATES ON THE A. C. ELECTRIC ARC

T. Polgar

Summary

A model measuring method has been worked out to determine the power effect of iron deion plates employed in a. c. contactors on the electric arc. The measuring method can be applied when the plates are located perpendicular to the axis of the arc. The author has examined how the power effect varied with the sizes of the plates and with other parameters. A method has been worked out for the accurate calculation of the power effect.

1. Bevezetés

Az ismertetésre kerülő vizsgálatokat a VBKM 5. sz. Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyára megrendelésére az MNK és NDK közötti váltakozóáramú kontaktorfejlesztési program keretében — annak egy részeként — Intézetünk Villamos Készülék Laboratóriumában folytattuk le. Laboratóriumunkban e tárgyban végzett kutatási munkáknál célul tűztük ki a kifesztültségű, váltakozóáramú kontaktorokban alkalmazott deionlemez ívöltő szerkezetek egyes méretezési kérdéseinek behatóbb tanulmányozását a műszaki szempontból optimális és ugyanakkor gazdaságos megoldási módok kialakítása érdekében.

A kifesztültségű, váltakozóáramú kapcsolókészülékek ívöltő szerkezeteinek kialakításánál az érintkezők élettartama szempontjából rendkívül fontos szerepük van a deionlemezeknek. Feladatuk többértékű:

a kikapcsoláskor fellépő villamos ívet részekre osztják, ezáltal annak újragyulladását hátráltatják;

a sorbakapcsolt részekre osztott ívre jutó feszültség az egyes ívrészek katód- és anódeseinek összeadódása folytán megnövekszik, ami az ív kialakítását elősegíti; a sorbakapcsolt ívrészek talppontjaira gyakorolt hűtőhatásuk elősegíti az ívoszlop deionizációját;

ferromágneses anyagból (vasból) készített deionlemezek az ívre — keletkezésének pillanatában — vonzóerőt gyakorolnak, amely az ívet elmozdítja, ezáltal hűti és elősegíti, hogy az ív a deionlemezek közé behatoljon.

Jelen cikkben a deionlemezek ez utóbbi hatásával kívánunk részletesebben foglalkozni.

A vas deionlemezek villamos ívre gyakorolt erőhatását első ízben *O. B. Bron* [1] vizsgálta részletesebben. Elméleti úton, a tükrözés elvének felhasználásával meghatározta, hogy a végtelen félsíkra kiterjedő, négyzetes és különböző bevágásokkal ellátott vaslemezek mekkora erőhatást gyakorolnak egy végtelen hosszú áramvezetőre. Így pl. a 17-1a ábra szerinti négyzetes lemeznel az y irányú, hosszegységre eső vonzóerőre a vastalítás elhanyagolásával a következő kifejezést adja meg:

$$F = 1,02\sigma\gamma I^2 \frac{1}{r} 10^{-6} \text{ p/mm}, \quad (1)$$

míg a 17-1b ábra szerinti négyzetes bevágással ellátott lemezalaknál az y irányú hosszegységre eső vonzóerő kifejezése, ha a bevágás a lemez szimmetriatengelyében van:

$$F = 2,04\pi\sigma\gamma I^2 \frac{1}{s} \operatorname{cth} \pi \frac{r}{s} 10^{-6} \text{ p/mm}; \quad (2)$$

illetőleg, ha $\frac{r}{s} > 0,5$:

$$F = 2,04\pi\sigma\gamma I^2 \frac{1}{s} 10^{-6} \text{ p/mm,} \quad (3)$$

melyeknél a vastalítást szintén elhanyagolták.

A képletekben I egyenáramot jelent, $\gamma > 1$ szorzótényező, amely figyelembe veszi, hogy véges szélességű lemezcsoomagok esetén az áramvezető által keltett fluxus nemcsak a lemezcsoomag alján, hanem az oldalaknál is kapcsolódik a vasal és ezáltal a vonzóhatás növekszik. γ értékét azonban a szerző közelebbről nem határozza meg.

$$\sigma = \frac{nv}{l} \quad (4)$$

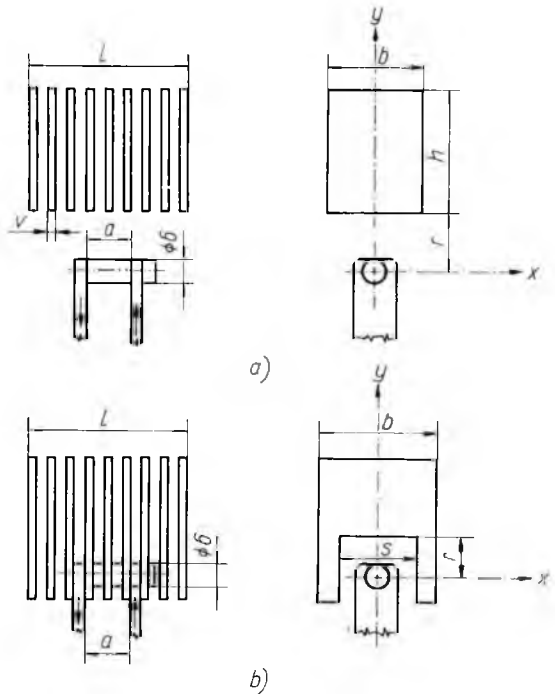
a lemezköteg kitöltési tényezője, amely azt veszi tekintetbe, hogy az l hosszúságú deionlemez kötegnek csak nv hosszúságú része van vasalal kitöltve, ahol n a deionlemezek száma és v a vastagságuk. Az összefüggésekben szereplő többi betűjelölés a 17-1. ábrán van összhangban.

Bron vizsgálta továbbá az erőhatások alakulását váltakozóáram esetén is. Az elméleti vizsgálat során megállapította, hogy nagyfrekvenciás váltakozóáramnál az ilyenkor fellépő örvényáramok miatt a vonzóerő jelentősen csökken, 3600 Hz frekvenciánál nullává válik és e fölött az erőhatás negatív értelmű, vagyis taszító lesz. Ez az erőcsökkenés azonban 50 Hz-es ipari frekvenciánál még csak mintegy 15%-os az egyenáramnál fellépő vonzóerőhöz képest.

Ezen eredmények hiányossága, hogy nélkülözik a kísérleti igazolást és nem veszik figyelembe a lemezcsoomag konkrét méreteit (szélesség és magasság); ezért közvetlen méretezésre nem alkalmazhatók.

Bron eredményeinek kísérleti igazolására Domonkos S. [2, 3, 4] dolgozott ki mérési módszert. Kísérleteinél a négyzetleges (17-1a ábra), valamint az ék alakú bevágással ellátott lemezek erőhatását vizsgálta, a lemezköteg geometriai méreteinek és kitöltési tényezőjének függvényében. A mérési módszer, melynek helyességét [4]-ben több oldalról bizonyította, a következő volt: egy analitikai mérleg egyik felére függesztette fel a vizsgált lemezköteget, amely alatt a villamos ívet egy U alakúra hajlított rézvezető helyettesítette. A mérleg másik oldalánál egy Correx-típusú erőmérő volt elhelyezve. Ha a vezetőn áram folyt, a vezető a lemezcsoomagot magához vonzotta és a Correx-erőmérő segítségével mérhető volt a vonzóerő nagysága. A mérések főbb eredményei a következők voltak:

a) A vonzóerő $I = 400$ A-ig az áram négyzetével arányos, vagyis telítési jelenség nem figyelhető meg.



17-1. ábra

b) A lemezek számával, illetőleg a lemezköteg l hosszával a vonzóerő lineárisan nő, de az $l=0$ -ra extrapolált érték 0-nál nagyobb. Az $l=0$ -hoz tartozó értéket a szerző *végerőnek* nevezte. Ezeknél a méréseknél az ívhosszúság nagyobb volt a lemezköteg hosszánál.

c) Az ívet helyettesítő vezető átmérőjének változtatása az erőhatás értékét gyakorlatilag nem befolyásolja.

d) A vonzóerő a kitöltési tényezőtől csak kevéssé függ és eltér a *Bron* által elméletileg megadott jellegtől.

e) Megmutatták a lemezsomag b szélességétől és a vezetőtől mért r távolságtól függő erőváltozás jellegét.

E mérési eredmények alapján véve igazolják *Bron* elméletileg kapott eredményeinek — bizonyos kiegészítésekkel való — alkalmazhatóságát, az U alakúra hajlított áramvezető mint modellt azonban nem tükrözi a kisfeszültségű kontaktoroknál általában fennálló valós elrendezéseket. A kontaktoroknál a villamos ív egy a nagyságú nyitási távolságra szétvált érintkezők között gyullad ki, és ez a nyitási távolság általában kisebb a deionlemez köteg l hosszúságánál. Ugyanakkor ilyen modellezés során nem lehet figyelembe venni az áramhozzávetések hatását — és ezáltal a valóságban nagyobb vonzóerők mérhetőek —, valamint az érintkezők nyitási távolságának, vagyis az ívhosszúságnak a vonzóerőre gyakorolt befolyását sem.

Ezen előzmények előrebocsátása után a következőkben részletesen ismertetjük az általunk alkalmazott vizsgálatok módszereit és eredményeit.

2. A vizsgálati mód megválasztásának és a mérőberendezés kialakításának szempontjai

A vizsgálatok elsődleges célja annak megállapítása volt, hogy a kisfeszültségű, változóáramú kontaktoroknál — a lehetőség szerint a tényleges kiviteli módozatoknak megfelelően — meghatározzuk a vas deionlemezek által a villamos ívre gyakorolt erőhatás nagyságát és számítási módját *az ív keletkezésének helyén*. Ezeknek az erőhatásoknak ismerete *az ív megindításának és mozgatásának szempontjából* jelentős.

Az erőhatás jellegét és nagyságát döntően befolyásolja a deionlemezes oltókamra konstrukciós elrendezése. Ebből a szempontból a gyakorlatban alkalmazott két alapvető deionlemez-elrendezést lehet megkülönböztetni. A 17-2a ábrán látható elrendezésnél az ívöltő lemezek az érintkezők elválásának pillanatában kigyulladó villamos ív tengelyével párhuzamosan helyezkednek el. Ilyenkor az ív tengelyével koncentrikus mágneses tér erővonalai csak a hozzájuk legközelebb eső deionlemezen záródnak, mivel ez a lemez a többi mágnesesen árnyékolja. Az ívre ható vonzóerő tehát kicsi lesz, kb. a végerő nagyságának felel meg, ami az áramút okozta erőhatáshoz képest elhanyagolható, *legalábbis az ívmozgás megindításának pillanatában*. Megállapítható, hogy az ilyen elrendezéseknél a deionlemezek hatása az ívmozgás megindítására csekély, tehát ilyen irányú méréseket nem érdemes folytatni.

Merőben más a helyzet a 17-2b ábrán látható deionlemezes elrendezésnél. Itt a vaslemezek az érintkezők között keletkező villamos ív tengelyére merőlegesen helyezkednek el, tehát az ívtengellyel koncentrikus erővonalak a kis mágneses ellenállást jelentő vaslemezeket keresztül záródnak, és ily módon a vaslemezek már az ív megjelenésének pillanatában arra jelentős vonzóerőt gyakorolhatnak, amely az ív megindításában szerepet játszhat.

A továbbiakban a 17-2b ábra szerinti elrendezésekre vizsgáljuk a vaslemezek okozta erőhatásokat. Ennek a célnak megfelelően alakítottuk ki a vizsgálati modellt,

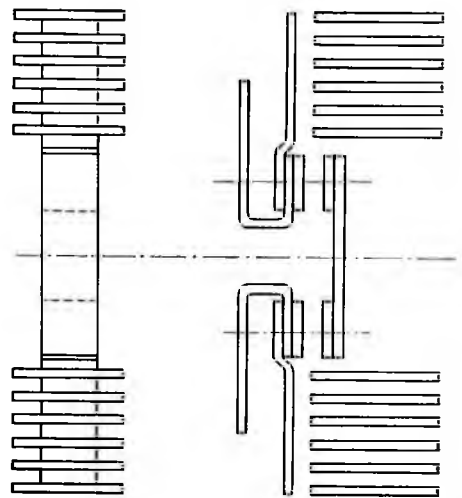
amelynek fényképét a 17-3. ábra mutatja. A villamos ívet egy 6 mm átmérőjű rézvezető modellezi. Itt figyelembe vettük, hogy irodalmi adatok szerint a valóságos ívátmérő az áramtól függően 4...10 mm [5], hogy a vezető átmérőjétől a mért vonzóerő gyakorlatilag független [2], továbbá hogy a vezető mérés közben ne melegedjék túlságosan.

A méréseket a modellezni kívánt jelenségnek megfelelően minden esetben 50 Hz frekvenciájú váltakozóárammal végeztük.

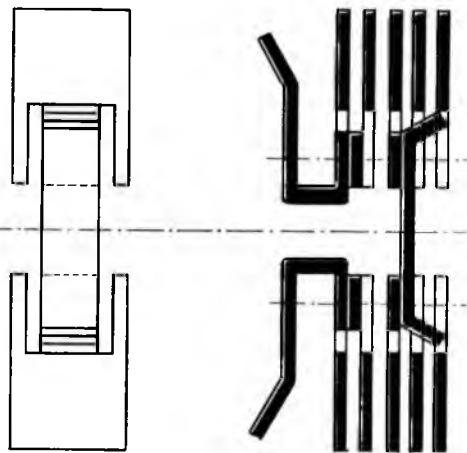
A 17-3. ábrán jól látható áramhozzávetéseket úgy képeztük ki, hogy az a ívhosszúság, ami egyben az érintkezők nyitási távolsága, 0 és 12 mm között legyen állítható. Ily módon elértük azt, hogy egyrészt a mérések során figyelembe tudtuk venni az ívhosszúság hatását a vonzóerőre, másrészt pedig $a=0$ helyzetben kizárólag az áramhozzávetések okozta erőhatást is megmérhettük. Hogy $a=0$ helyzetben is csak az ívet modellező vezetőfelületen át haladjon áram, a függőleges áramhozzávetések (lásd 17-1. és 17-3. ábra) közé egy kb. 0,05...0,1 mm vastag csillámszigetelést helyeztünk. Ez a módszer lehetővé tette az áramhozzávetések erőnövelő hatásának teljes kiküszöbölését, más szóval azt, hogy valóban csak az a hosszúságú áramvezetőre gyakorolt erőhatást vizsgáljuk. Pl. egy 10 mm hosszú vezetőre gyakorolt erőhatás az $F(a=10\text{ mm})$ és az $F(a=0\text{ mm})$ erőértékek különbségeként adódott.

Az erő nagyságának mérésére a 17-4. ábrán látható, a célnak megfelelően átalakított analitikai mérleget alkalmaztunk, amelynek *egyetlen szerkezeti része sem tartalmazott ferromágneses anyagot*. A mérleg nagyfokú érzékenysége 0,01 p mérési pontosságot tett lehetővé. A mérleg bal oldali karjára erősítettük állíthatóan a vizsgált lemezköteget, amelyet a jobb oldali mérlegkar serpenyőjébe helyezett súlyokkal kitérteltünk. A lemezköteg alatt elhelyezkedő ívmodellen plexiből készített távolságtartó látható, amelynek segítségével a r távolságot állítottuk be (lásd még 17-1. ábra). Ha az ívmodellen áramot bocsátottunk át, a lemezköteg a távolságtartón felülköszött. A mérleg jobb oldalára beépített súlyokból addig adagoltunk, amíg a lemezköteg vonzó hatásait éppen felülmúlta a súlyerő.

A vonzóerőméréseket a 17-1. ábrán feltüntetett lemezformákra végeztük el. A lemezek szabványos AI. 23. jelű hengerelt finomlemezéből készültek. A 17-1a

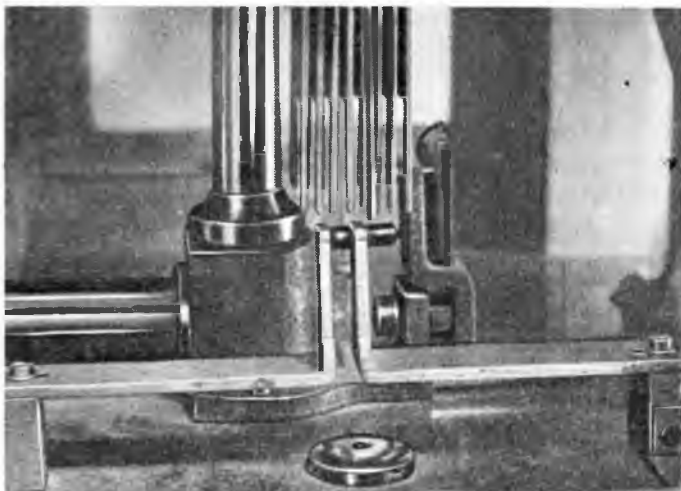


a)



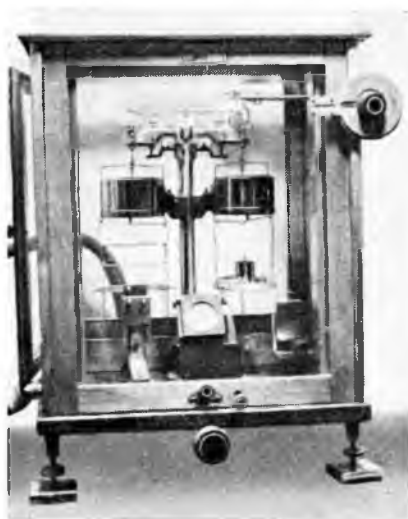
b)

17-2. ábra



17-3. ábra

ábrán látható egyszerű négyszögalakú deionlemez még ma is gyakran alkalmazzák kontaktorokban könnyű gyárthatósága és ennél fogva olcsósága miatt. A 17-1b ábrán vázolt négyszögletes kivágású lemezforma az ívre gyakorolt vonzóerő szempontjából várhatóan előnyösebb, mivel a bevágásban elhelyezett érintkezőket a vas három oldalról körülfogja, ezáltal a rendszer mágneses szórása jelentősen lecsökken, tehát az ívre gyakorolt erőhatás növekszik.



17-4. ábra

Gyakran alkalmazzák még kisfeszültségű kontaktoroknál is az ék alakú bevágással ellátott deionlemezeket. Ez a lemeztípus az egyszerű, szögletes lemezalakhoz képest előnyösebb akkor, ha az ív már bejutott a bevágásba. Az ív megindításának szempontjából azonban ez nem mondható el, mivel ilyen lemezeknél csak a lemezek méretének megnövelése árán lehetne az érintkezőket a 17-1b ábrán látható elrendezéshez hasonló módon a lemezekkel közrefogni, ami ugyanolyan névleges áramú készüléknél az oltókamraméret megnövekedését jelenti, ha az áramutak fűvóhatását változatlanok tételezzük fel. Ezért az ilyen lemezek erőhatásának vizsgálatával nem foglalkozunk.

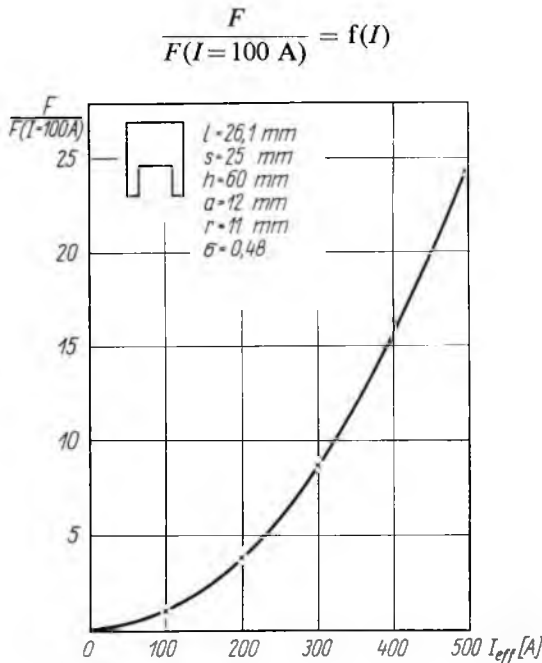
3. A mérési eredmények ismertetése

A méréseket annak feltételezésével végeztük el, hogy az ív az érintkezők geometriai középpontjában keletkezik és a deionlemezekhez képest minden oldalról teljesen szimmetrikusan helyezkedik el. Ez a feltételezés szögletes lemezalaknál mérhető hibát nem

okozott, ha abból indultunk ki, hogy a deionlemezek mindig szélesebbek, mint az áramút, bevágással ellátott lemeznél pedig — méretezési szempontból legalábbis — a biztonság javára tévedtünk, mert az erőhatás a szimmetriasíkban a legkisebb. A méréseknél valamennyi méretet úgy választottuk meg, hogy azok a kifestésű, váltakozóáramú kontaktoroknál alkalmazott mérettartományokat átfogják. A jobb áttekinthetőség érdekében a diagramokban valamennyi vizsgált változó függvényében a vonatkoztatott erő nagyságának változását adjuk meg. Vonatkoztatott erőn azt értjük, hogy az erő változását mindig egy meghatározott viszonyok között fellépő vonzóerőértékre vonatkoztatjuk. Ez a kiértékelési mód még azzal az előnnyel is jár, hogy több változó egyidejű változtatásakor azonnal szembetűnik, lehet-e azokat egymástól függetlennek tekinteni, vagy sem, más szóval előállítható-e az $F = f(a, r, b, I)$ függvény $F = f_1(a) \cdot f_2(r) \cdot f_3(b) \cdot f_4(I)$ szorzatfüggvény alakjában.

a) Az áram és a kitöltési tényező hatása a vonzóerőre

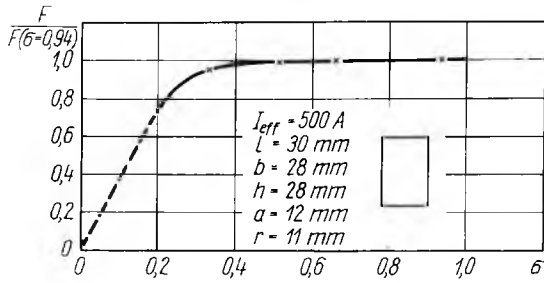
Először az áram és a kitöltési tényező vonzóerőre gyakorolt hatását vizsgáltuk meg. Mivel ezen két változó szerepe a lemezek alakjától független, elegendő volt csak azok egyikénél vizsgálni hatásukat. A 17-5. ábra az



17-5. ábra

görbét mutatja. Ebben az esetben tehát az erőt az $I = 100 \text{ A}$ esetén fellépő vonzóerőre vonatkoztattuk. A lemez alakja, valamint az állandónak tartott paraméterek — mint a továbbiakban minden esetben — az ábrán szintén fel vannak tüntetve. Ennél a mérésnél azért választottuk a 17-1b ábra szerinti lemezformát, mert ez a vas telítődés szempontjából a kedvezőtlenebb. A méréseket $I_{\text{eff}} = 500 \text{ A}$ -ig végeztük el és mint a

17-5. ábrán is látható, telítődés nem lépett fel, vagyis az erő az *áram négyzetével arányosan* változik. A 17-6. ábra a kitöltési tényező változtatásának hatását szemlélteti, $F(\sigma=0,94)$ értékre vonatkoztatva. Látható, hogy $\sigma=0,4$ és $\sigma=0,94$ között a vonzóerő gyakorlatilag állandó. Ez figyelemreméltó eredmény, mivel a gyakorlatban általában alkalmazott $\sigma=0,4\dots0,5$ kitöltési tényezőknél az ívre ható vonzóerő gyakorlatilag akkora, mintha a deionlemezek által elfoglalt térfogat tömör vas lenne.

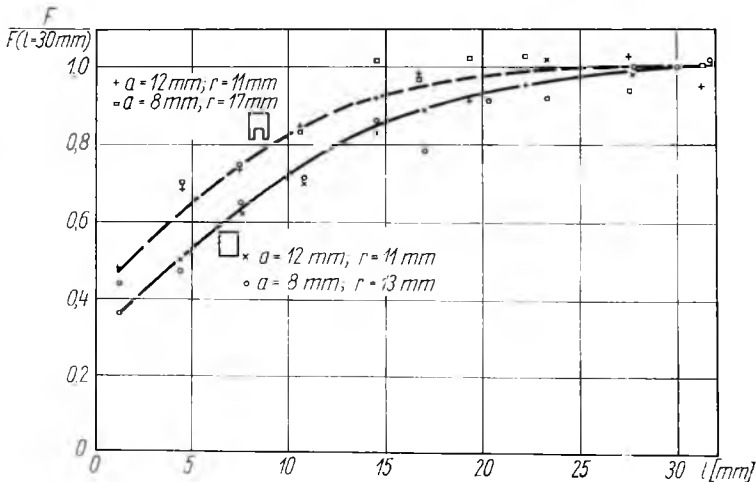


17-6. ábra

A jelenség azzal magyarázható, hogy a telítetlen vas mágneses vezetőképessége nagyságrendekkel nagyobb a levegőénél, ennél fogva egy adott határig csak a vassal kitöltött térrészben halad a fluxus.

b) A lemezköteg hosszúságának hatása a vonzóerőre

A deionlemez csomag l hosszúságának a vonzóerőre gyakorolt hatását a 17-7. ábra görbéi szemléltetik. A folytonos vonallal kihúzott görbe a szögletes, a szaggatott vonallal kihúzott görbe pedig a négyszög alakú bevágással ellátott lemezformára vonatkozik. Látható, hogy mindkét lemezalakra nézve a görbék jellege azonos. Az ún. végerőtől kezdve az erő értéke először gyorsan növekszik. Ha a lemezköteg hossza az ívhossznál nagyobb lesz, a görbe erősen ellaposodik és $l > 20$ mm-től kezdve gya-

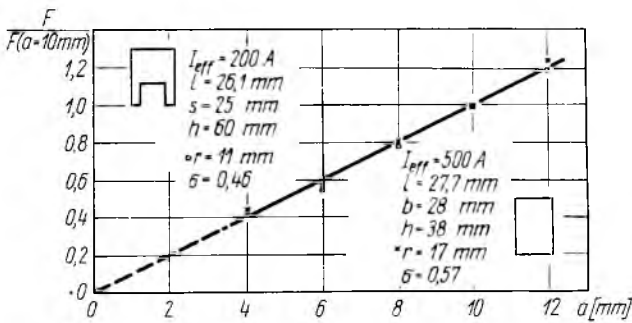


17-7. ábra

korlatilag már nem változik. Megállapítható tehát, hogy 20 mm-nél nagyobb hosszúságú lemezkötegek esetén az ívre gyakorolt vonzóerő I értékétől független. Mivel a gyakorlatban ennél rövidebb lemezköteget igen ritkán alkalmaznak — csak a 63 A névleges áramúnál kisebb kontaktoroknál, ahol a vas deionlemezek vonzó hatása a kis áramértékek miatt már egyébként sem számottevő —, további méréseinknél csakis 20 mm-nél hosszabb lemezköteget vizsgáltunk.

A 17-7. ábra kapcsán egy kissé részletesebben megvilágítjuk a mérések általunk használt kiértékelési módszerét. A diagram vízszintes tengelyére az éppen vizsgált független változót, a lemezcsoomag hosszát, függőleges tengelyére pedig az $I = 30$ mm lemezcsoomag hosszánál mért vonzóerőre vonatkoztatott erőváltozást mértük fel. A méréseknél változóként szerepelt még az a ívhosszúság, valamint az ív és a deionlemezek közötti r távolság, a többi paramétert állandónak tartottuk. A diagramban a és r különböző értékeinél mért pontokat különböző jelekkel tüntettük fel. A vonatkoztatási alapul szolgáló erő abszolút értékét tehát nemcsak a lemezcsoomag hosszúsága, hanem a másik két változó méret is befolyásolta. Az erő vonatkoztatott értékének változása azonban — mint az a diagramból jól kivehető — azonos lemezformára nézve, a mérési pontosság határain belül a és r értékeitől függetlenül azonosnak tekinthető.

c) Az ívhosszúság hatása a vonzóerőre

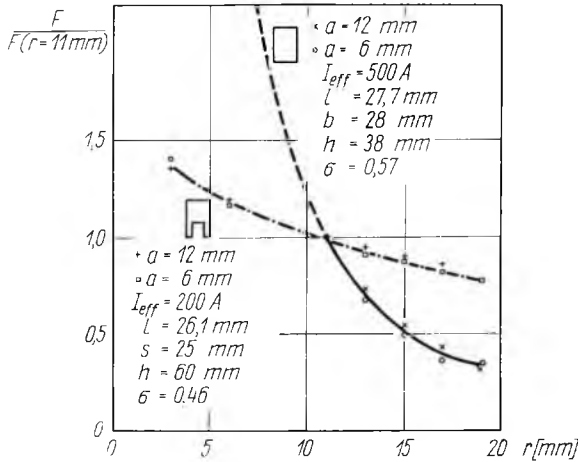


17-8. ábra

Az ív hosszúságának a vonzóerőre gyakorolt hatása a 17-8. ábrán látható. A gyakorlatban előforduló méreteknél megfelelően csak az $a < l$ esetet vizsgáltuk és ezeknél megállapítható, hogy az összefüggés mindkét lemezformára egyaránt lineáris.

d) A deionlemezek és az ív közötti távolság befolyása a vonzóerőre

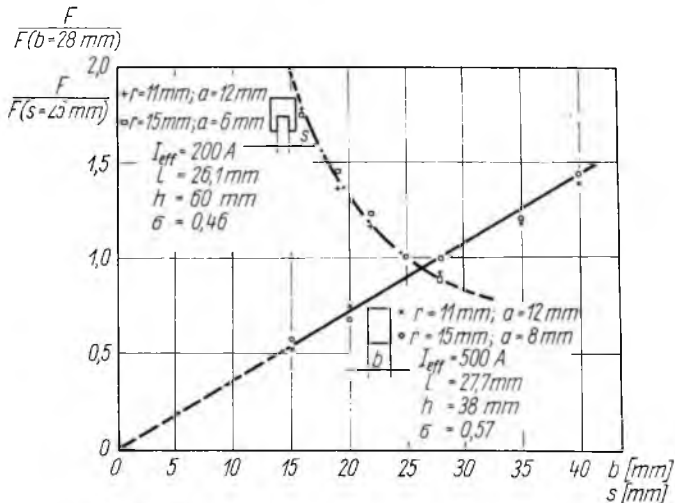
A két lemezforma esetén mért összefüggéseket a 17-9. ábra szemlélteti. Mint az ábrából kivehető, paraméterként a értékét is változtattuk. A szögletes lemezformánál (folytonos görbe) az erő lényegesen gyorsabban csökken r növekedésekor, mint a bevágott lemeznél. Ez teljesen érthető, ha figyelembe vesszük, hogy az utóbbi esetben a vezető három oldalról van körülvéve a kis mágneses ellenállást jelentő vassal. Egyébként ezeknek a mérési eredményeknek az összehasonlítása világít rá leginkább a négyszögletes bevágással ellátott lemezalaknak az egyszerű szögletes lemezekkel szembeni előnyére.



17-9. ábra

e) A deionlemezek szélességének hatása a vonzóerőre

A mért összefüggéseket a 17-10. ábra szemlélteti. Ennél a vizsgálatnál a két lemezformára vonatkozóan különbséget kell tenni a lemezszélesség értelmezésében. Hogy ezt kellőképpen kihangsúlyozzuk, különböző betűjeleket alkalmaztunk. A szögletes lemeznél a lemezszélesség — melyet b -vel jelöltünk — egyértelmű. A négyszög alakú bevágással ellátott lemeznél azonban meg kell különböztetnünk a lemez tényleges b szélességét a bevágás s -sel jelzett szélességétől. Ha ugyanis s változatlanul hagyása mellett b -t növeljük, a vonzóerőben mérhető változást nem észlelünk, legalábbis a vastalítás eléréséig, ami méréseinknél — mint már mondtunk — nem következett be. Ennél a lemezformánál tehát a vonzóerő szempontjából az s szélesség változtatása a döntő. Az egyértelmű mérési eredmények érdekében s -sel együtt b -t is változtattuk,



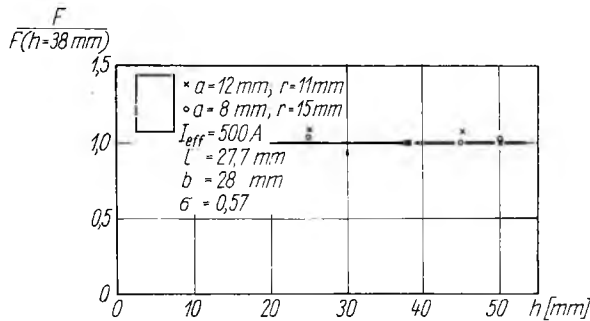
17-10. ábra

de oly módon, hogy különbségük állandó érték legyen, jelen esetben $s-b = 10 \text{ mm} =$ $=$ állandó. Ez a választás az ilyen deionlemezek gyakorlati kialakítását jól megközelíti.

Mint a 17-10. ábra görbéiből látható, a kétféle lemezalaknál a lemezszélesség vonzóerőre gyakorolt befolyása ellentétes. Négyzetleges lemezformánál az erő a vizsgált tartományban lineárisan nő b növelésekor, ami a vezetővel szembenálló vasfelület megnövekedésének következménye. A négyzetleges bevágással ellátott lemezformánál s növekedésekor a vonzóerő csökken, mivel a vezető és a lemez oldala közötti légrés, és ezzel együtt a kör mágneses ellenállása növekszik.

f) A deionlemezek magasságának hatása a vonzóerőre

A deionlemezek h magasságának befolyását a vonzóerőre elsőnek szögletes lemezalakra vizsgáltuk. A mérési eredmények (17-11. ábra) mutatják, hogy a vonzóerő h értéké-



17-11. ábra

től a vizsgált tartományban függetlennek tekinthető. Bevágott lemezeknél ez még inkább így van, mivel ezeknél a vezetőt körülfogó vas sokkal inkább meghatározza a mágneses tér irányát, ezért az erre vonatkozó mérésektől eltekintettünk.

4. A mérési eredmények összefoglaló kiértékelése

Az előbbieken részletesen tárgyalt mérési eredmények alapján közelítő összefüggéseket állapítottunk meg, a vizsgált deionlemez-formák villamos ívre gyakorolt erőhatásának számítására. A 17-1a ábra szerinti négyzetleges lemezalaknál y irányban ható vonzóerő értéke:

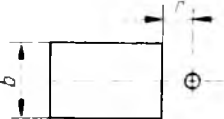
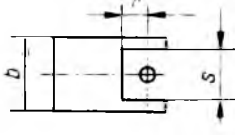
$$F = 1,2\sigma I^2 \frac{ab}{r^2} 10^{-6} \text{ p,} \quad (5)$$

míg a 17-1b ábra szerinti négyzet alakú bevágással ellátott lemezre:

$$F = 18\sigma I^2 \frac{a}{r} \Phi(s, r) 10^{-6} \text{ p,} \quad (6)$$

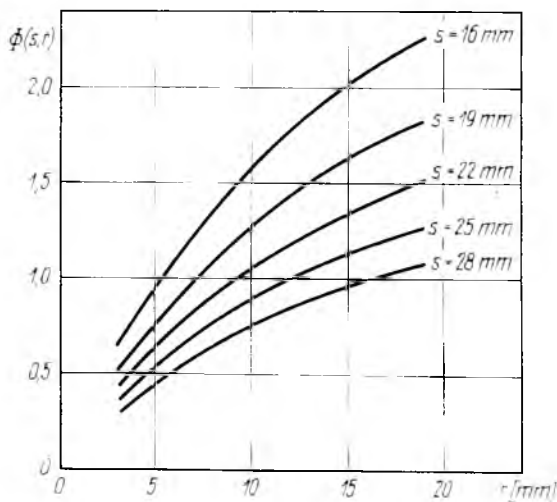
ahol a $\Phi(s, r)$ függvényt a 17-12. ábra adja meg. Az (5) és (6) összefüggések érvényességi tartománya a 17-5...17-11. ábrákból, valamint az egyéb, idevonatkozó utalásból értelemszerűen következik.

17-1. táblázat

Lemezforma	I_{eff} [A]	a [mm]	b [mm] s [mm]	r [mm]	F_{sz} [p]	F_m [p]
	500	12	28	11	0,834	0,83
	500	6	28	15	0,224	0,22
	200	12	25	6	0,893	0,89
	200	6	20	15	0,438	0,42
	200	12	25	11	0,7	0,71

A 17-1. táblázatban néhány számértéket közlünk az (5) és (6) közelítő képletekkel számított, valamint a közvetlenül mért erők összehasonlítására. Ebből megállapítható, hogy a szóban forgó képletek kielégítő pontossággal adják vissza a közvetlen mérési eredményeket.

Összehasonlítva (5) és (6) kísérleti úton nyert kifejezéseinket a Bron által levezetett (1) és (3) összefüggésekkel, látható az azonos lemezformákra kapott eredmé-



17-12. ábra

nyek közötti nagyfokú hasonlóság. Ennek alapján állíthatjuk, hogy a megadott érvényességi tartományon belül *Bron* képletei méretezési célokra alkalmazhatók, ha a bennük szereplő γ értéket, amelyet a véges méretek miatt fellépő szórás tényezőnek nevezhetünk, kísérleti eredményeinkből meghatározzuk. Ezt, valamint az ívhosszúság hatását figyelembe véve, a négyszög alakú lemezek ívre gyakorolt vonzóerő-hatása:

$$F = 1,02\sigma\gamma I^2 \frac{a}{r} 10^{-6} \text{ p,} \quad (7)$$

ahol

$$\gamma = 1,176 \frac{b}{r}, \quad (8)$$

és a négyszög alakú bevágással rendelkező lemezek ívre gyakorolt erőhatása:

$$F = 2,04\pi\sigma\gamma I^2 \frac{a}{s} 10^{-6} \text{ p,} \quad (9)$$

ahol

$$\gamma = 2,81 \frac{s}{r} \Phi(s, r). \quad (10)$$

γ különféle lemezalakra vonatkozó (8) és (10) kifejezései tehát nem állandó értékek, mint azt *Bron* vélte, hanem a deionlemez-méretek, valamint a deionlemez és az áramvezető közötti távolság függvényei; a kitöltési tényező hatását pedig a 17-6. ábra szerint kell figyelembe venni.

A (7), (8) valamint a (9) és (10) kifejezések most már lehetővé teszik, hogy további mérések nélkül a megadott alakú és elrendezésű deionlemezek ívre gyakorolt vonzóerő-hatásait a gyakorlat számára kielégítő pontossággal meghatározzuk és ezáltal hozzájáruljunk ahhoz, hogy a deionlemez oltókamrák számszerű méretezési módszerei mielőbb kidolgozást nyerjenek.

Irodalom

- [1] *Bron, O. B.*: Elektricseskaja duga v apparatah upravlenija. Goszenergoizdat, Moszkva—Leninigrád, 1954.
- [2] *Domonkos S.*: Über die zwischen den Deionlöschblechen und dem Lichtbogen auftretenden Kräfte. Periodica Polytechnica, Budapest, 1964 Vol. 8. No. 1.
- [3] *Domonkos S.*: Die Bestimmung der den Lichtbogen an die Löschbleche anziehenden Kräfte. Periodica Polytechnica, Budapest, 1965 Vol. 9. No. 2.
- [4] *Domonkos S.*: Rövid ívek mozgása a deionlemez közelében. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1966.
- [5] *Angelopoulos, M.*: Über magnetisch schnell fortbewegte Gleichstromlichtbögen. Diss. TH. Braunschweig, 1955.

KLIMATIZÁCIÓS OSZTÁLY

18.

Недвес трóпусра керóлő нормáл кивителő кистрансформáторок утóвóделме

SULYOK JÓZSEF

ÖSSZEFOGLALÁS

Trópusi klímaterületre szállított különböző gépipari gyártmányok vezérlőberendezésénél, világításánál mindig szerepel a kisteljesítményű, törpefeszültségű transzformátor. A szállítást megelőzően mindig felvetődik a kérdés — minthogy a transzformátorok mérsékelt klímára, azaz „normál kivitel”-ben készültek —, hogy a nedves trópusi klímán alkalmasak lesznek-e, illetve milyen utólagos védelemmel tehető alkalmassá.

A cikk kísérlet alapján választ ad e problémára. A normál kivitelű transzformátorok a jelenlegi technológiával sem kétszeres, sem háromszoros impregnálással nem tehető nedves trópusra alkalmassá. A szigetelésben ui. hézagok, kapillárisok maradnak, amelyek a kapillár-mechanizmus szerinti, viszonylag gyors vízfelvételt elősegítik s ez a szigetelési ellenállás nagymérvű csökkenését okozza. Normál kivitelű transzformátorok számára megnyugtató utóvédelmet az epoxigyantával való kiöntés biztosít. A cikk néhány érdekes méréstechnikai kérdést is ismertet.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЗАЩИТА МАЛОМОЩНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НОРМАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНОГО ТРОПИЧЕСКОГО КЛИМАТА

Й. Шуйок

Резюме

В числе аппаратуры управления и светотехники различных изделий машиностроения, поставляемых на территорию с тропическим климатом, всегда фигурирует маломощный низковольтный трансформатор. Ввиду того, что трансформаторы разработаны для условий умеренного климата, т. е. имеют нормальное исполнение, перед поставкой их на место назначения всегда возникает вопрос, пригодны ли они для работы в условиях влажного тропического климата и, соответственно, какую дополнительную защиту необходимо применить, чтобы они стали пригодными для использования в таких условиях.

Статья, на основе проведенных экспериментов, дает ответ на эту проблему. Трансформаторы нормального исполнения (при применяемой в настоящее время технологии) не могут быть пригодными для работы в условиях влажного тропического климата ни после двукратной, ни после трехкратной их пропитки. Это объясняется тем, что в изоляции остаются зазоры и капилляры, которые по теории капилляров способствуют относительно быстрому поглощению воды, что приводит к значительному понижению сопротивления изоляции. Более надежная защита трансформаторов нормального исполнения обеспечивается заливкой их эпоксидной смолой.

Статья описывает также несколько интересных вопросов по технике измерения.

NACHTRÄGLICHE KLIMASCHUTZ-MASSNAHMEN BEI KLEINST-TRANSFORMATOREN, DIE UNTER FEUCHTTROPISCHEN VERHÄLTNISSEN ZUM EINSATZ GELANGEN

J. Sulyok

Zusammenfassung

Die zum Einsatz unter tropischen Verhältnissen bestimmten Steueranlagen und Beleuchtungseinrichtungen die zu verschiedene Erzeugnisse des Maschinenbaus gehören, sind in der Regel auch mit Niederspannungs-Kleinsttransformatoren versehen. Vor der Lieferung ergibt sich stets die Frage, ob sich die Transformatoren, die für gemäßigtes Klima, d. h. in normaler Ausführung gebaut wurden auch für einen Betrieb unter feuchttropischem Klima eignen, bzw. durch welche nachträgliche Schutzvorkehrungen die Transformatoren für einen Betrieb unter tropischen Verhältnissen geeignet gemacht werden können.

Der Aufsatz erteilt auf Grund eines Versuches die Antwort auf dieses Problem. Die in normaler Ausführung gebauten Transformatoren können mit der derzeitigen Technologie weder mit einer doppelten, noch mit einer dreifachen Impregnierung für einen Betrieb unter feuchttropischen Verhältnissen geeignet gemacht werden, denn in der Isolation verbleiben stets Spalten, d. h. Kapillaren, die eine nach dem Kapillarmechanismus erfolgende, verhältnismässig rasche Wasseraufnahme fördern, was dann eine starke Herabsetzung des Isolationswiderstandes zu Folge hat. Für Transformatoren in normaler Ausführung kann ein entsprechender nachträglicher Schutz durch ein Ausgiessen mit Epoxdharz gesichert werden.

In der Arbeit werden auch einige interessante messtechnische Fragen erläutert.

POST-PROTECTIVE MEASURES APPLIED TO SMALL TRANSFORMERS DELIVERED WITH NORMAL FINISH TO WET TROPICAL COUNTRIES

J. Sulyok

Summary

The control gears and lighting systems of various machine products delivered to tropical countries always include low-output, fractional-voltage transformers. Before delivering the goods to their destination the question always crops up whether the transformers designed for a temperate climate, or, finished in the normal manner, would be suitable for operation in a wet tropical climate, and what additional protective measures should be applied to guarantee the performance of these transformers under their working conditions.

Based on experimental work, this paper answers the problem. The actual technology does not afford adequate protection to normal transformers, even if double or triple impregnation is applied. Gaps and capillaries will remain in the insulation which, owing to capillary attraction, result in a comparatively rapid absorption of water and thus in a considerable decrease of insulation resistance. Reliable additional protection of normally finished transformers can be obtained by casting with epoxy resin.

A few interesting question of measuring techniques are also dealt with in this paper.

1. Kísérleti célkitűzések

Nedves trópusi klímaterületre szállított különböző gépipari gyártmányok vezérlőberendezéseinek, világításánál mindig szerepel a kisteljesítményű, kifeszültségű transzformátor. A szállítást megelőzően — minthogy a szóban forgó transzformátorok többnyire mérsékelt klímára készülnek, azaz normál kivitelűek — gyakran felvetődik a kérdés, hogy nedves trópusi klímán alkalmasak lesznek-e, ill. milyen módon, milyen utólagos védelemmel tehetőek alkalmassá.

Kistranszformátorok szigetelésére nedves trópuson a nedves-meleg és a penész jelenti a főveszélyt. Utólagos védelemként ezért legtöbb esetben penészálló lakkal történő „lefúvás”, vagy — megfontoltabbak részéről — mégegyszeri impregnálás kerül szóba. Ezzel a problémát általában le is zárják.

Gépipari berendezések működésének a beépített villamos szerkezet megbízhatósága meghatározó tényezője. A meghibásodott alkatrészek kicserélése többnyire nem okoz megoldhatatlan problémát trópusi üzemeltetés esetén sem (bár néha okozhat, sőt jelentős termelés kieséshez is vezethet), mégis, ha csak kereskedelmi szempontból is, a bizalom oldaláról nézzük a problémát, fontos, hogy villamos berendezéseink megbízhatóságára nagy súlyt helyezünk.

Az előző gondolatokhoz hozzá kell még fűznünk, hogy a nedves trópusi klímaigénybevételre, de általában a klímaigénybevételekre a villamos berendezések a legérzékenyebbek. Meghatározó voltak tehát egy-egy gépipari gyártmányban, vagy komplex berendezésben még nyilvánvalóbb.

E megfontolások alapján úgy gondoljuk, a kistranszformátorok nedves-trópusálóságnak gondját nem szabad leegyszerűsíteni, s az említett „lefúvással”, vagy mégegyszeri impregnálással az utólagos védelmet megoldottnak tekinteni.

A kérdésnek fontosságot tulajdonítunk, ezért feladatul tűztük ki annak megvizsgálását. E célból mesterséges nedves trópusi kísérletet végeztünk KT 250 típusú normál kivitelű transzformátorokon (teljesítmény: 250 VA; feszültség: $380/2 \times 110$ V).

2. A vizsgálat leírása

A vizsgált transzformátorok utóvédelme

A normál kivitelű transzformátor anyagai, a zománchuzal és az impregnáló lakk kivételével nedves trópusra általában nem alkalmasak. A rétegszigetelés papír, a lezáró lapok papírbakelitből készültek. A tekercsszigetelés védelmét egyszeres, XD lakkal való vákuumimpregnálás képezte.

A kísérlet céljára a normál kivitelű transzformátor védelmét az alábbi módon kívántuk fokozni:

- kétszeres vákuumimpregnálás XD jelű lakkal;
- háromszoros vákuumimpregnálás XD jelű lakkal;
- a transzformátor epoxigyantával való kiöntése, a tekercs teljes lezárása.

A transzformátorok összeszerelt állapotban kerültek impregnálásra. Az impregnálás üzemi technológiával, üzemi viszonyok között történt. Kivitelenként 3 transzformátort vizsgáltunk.

A mesterséges klímaigénybevétel

A transzformátorokat az MSZ 8888/3. lap szabványban előírt módon mesterséges nedves trópusi igénybevételnek vetettük alá.

Az igénybevétel időtartama: 156 nap.

A transzformátorok szigetelését az igénybevétel előtt 24 óras, 55 °C-os szárítással hoztuk állandósult állapotba.

Mérések

A szigetelésnek az igénybevétel alatt történő változását a szigetelési ellenállás és a kapacitás mérésével követtük. A méréseket fél órás laboratóriumi térben történő állandósítás után hajtottuk végre.

3. A kísérlet főbb tapasztalatai

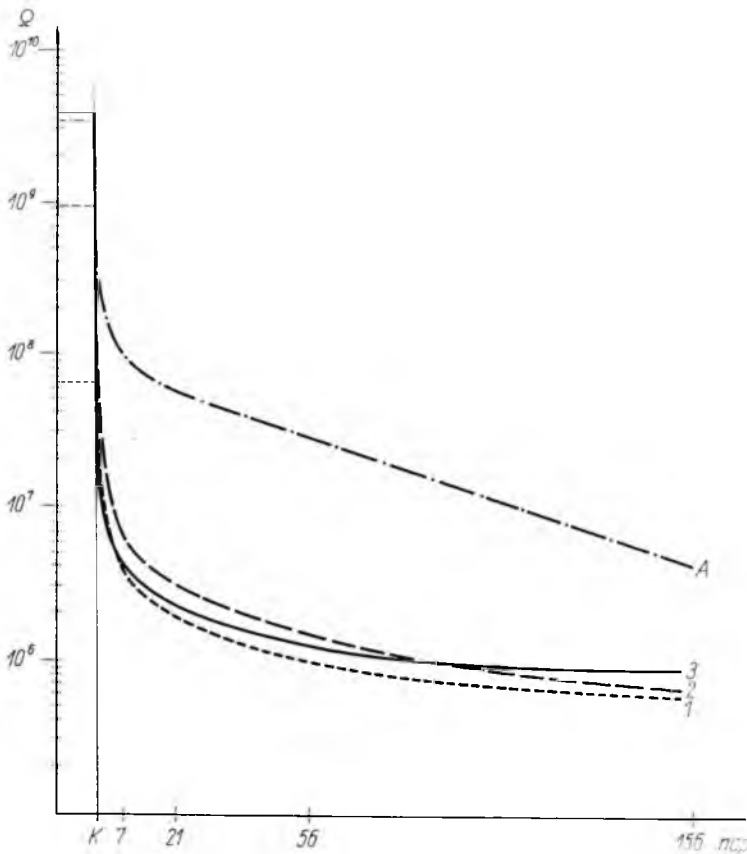
Az egyszeres impregnálás mellett a kétszeres és háromszoros impregnálással, valamint a kiöntéssel a tekercszigetelés védelmét mintegy fokozni kívántuk és kísérlettel megállapítani, hogy a nedves-meleg igénybevétellel szembeni ellenállás a többszöri impregnálással valóban fokozódik-e és milyen mértékben.

A 18-1. és 18-2. ábrán feltüntettük a szigetelési ellenállásnak és a kapacitásnak az igénybevétel alatti változását. A 18-1. ábrán a primer és szekunder tekercs közötti szigetelési ellenállást, a 18-2. ábrán pedig a $\Delta\varepsilon$ -t ábrázoltuk az igénybevételi idő függvényében.

$$\Delta\varepsilon = \frac{C - C_0}{C_0} \cdot 100 \quad \%,$$

ahol C a kapacitás a mért időszakban;

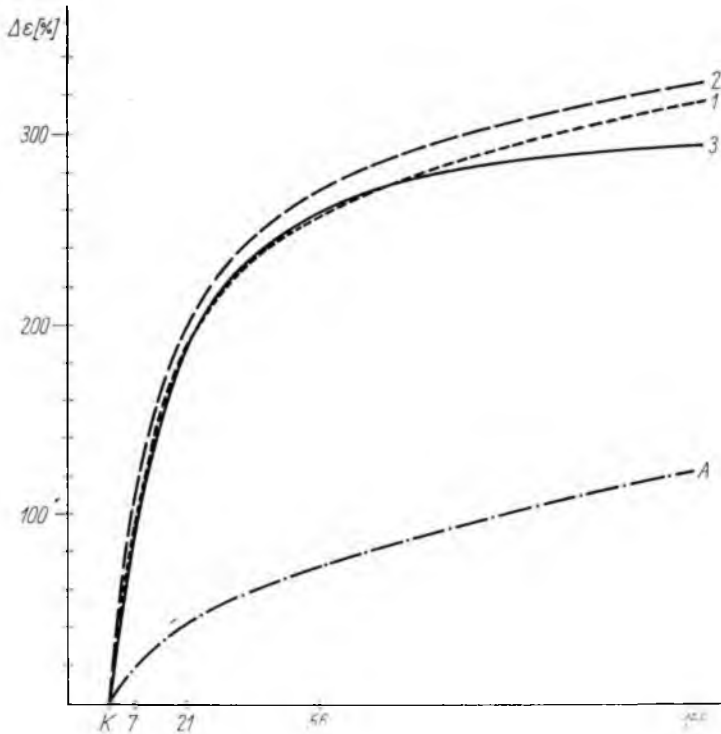
C_0 a kapacitás a nedves-meleg igénybevétel előtti állapotban.



18-1. ábra. A szigetelési ellenállás változása (primer és szekunder tekercs között) a nedves-meleg igénybevétel folyamán

1 egyszer vákuumban impregnált transzformátor; 2 kétszer vákuumban impregnált transzformátor; 3 háromszor vákuumban impregnált transzformátor; A epoxigyantával (Araldít) kiöntött transzformátor

Az ábrákból jól látható, hogy a kétszeres és háromszoros impregnálás hatása az egyszeres impregnálással szemben nem jelentkezik. Kiindulási állapotban — a szigetelési ellenállást tekintve — még határozott különbség van a kivitelek között a többszörös impregnálás javára, a görbék fokozatos közeledése és egymásbafonódása azonban azt jelzi, hogy a kétszeres és háromszoros impregnálás növekvő védőhatása végeredményben nem mutatkozik meg.



18-2. ábra. A $\Delta \epsilon \% = \frac{C - C_0}{C_0} 100\%$ alakulása a nedves-meleg igénybevétel folyamán

1 egyszeri vákuumban impregnált transzformátor; 2 kétszer vákuumban impregnált transzformátor; 3 háromszor vákuumban impregnált transzformátor; A epoxigyantával (Araldit) kiöntött transzformátor

A kiöntött transzformátorok szigetelési ellenállásának lényegesen kedvezőbb alakulása az impregnáltakéval szemben a 18-1. ábra görbéiből is határozottan látszik; az A jelű görbe magasabban halad mint a többi. Hasonló eltérést mutat a 18-2. ábra a kapacitást illetően.

Azt, hogy a kiöntött transzformátor szigetelése a nedves-meleg igénybevétellel szemben kedvezőbben viselkedik, várhattuk, ill. a vizsgálat után ezt természetesnek vesszük. Az azonban, hogy az egyszeresen, kétszeresen és háromszorosan impregnált tekercs szigetelésének viselkedése között nincs számottevő különbség, első pillanatra meglephet mindenkit.

Nézzük meg közelebbről ezt a meglepetést szolgáltató problémát és kíséreljük meg feloldani a benne rejlő ellentmondást.



18-3. ábra. A kiöntött és az impregnált transzformátor képe

Az első impregnáláskor át nem itatott helyekre a lakk a másodszori és harmadszori impregnálás folyamán sem igen jutott el. A második és harmadik impregnálás szerepe egyébként is az, hogy az első impregnálás után megmaradt hézagokat kitöltse és sima zárófelületet eredményezzen.

A vizsgált esetben tehát az első impregnálás után át nem itatott rétegek maradtak a tekercs szigetelésében, amelyeket a lakk a további impregnálás során sem itatott át; mindössze a lakkréteg növekedett meg az első impregnálásnál átítatott helyeken.



18-4. ábra. A transzformátorok a nedves-meleg igénybevétel után

Nedves-meleg igénybevétel alatt a nedvesség először a nagyobb hézagokba, kapillárisokba hatol be (a kapillár-mechanizmusnak megfelelően), majd diffúzió révén az anyag belsejébe [2]. A kapillár-mechanizmus szerinti vízvándorlás viszonylag gyors, a diffúzió lassúbb folyamat.

Ha az impregnálással nem tudunk sem tökéletes zárt burkot képezni a tekercs köré, sem teljesen átítatni a nem nedvességálló szigetelést, a kapillár-mechanizmus szerinti nedvesedési folyamat — a görbékből is jól láthatóan — már jórészt az igénybevétel első szakaszában bekövetkezik.

Az epoxigyantával kiöntött transzformátorok szigetelésének viselkedése kedvezőbb, s ez igazolja az előbb elmondottakat is. A kiöntéssel ugyanis a transzformátor tekercsét teljesen elzártuk a környezettől, így itt az időben lassú vízgőz-diffúziós folyamat játszsa a fő szerepet.

Összefoglalólag megállapíthatjuk tehát, hogy ha a tekercs szigetelésében alkalmazott anyagok a nedves-meleg igénybevétellel szemben nem kellően ellenállóak és a szigetelési rendszert nem tudjuk tökéletesen elzárni a környezet — jelen esetben — nedvességének hatásától, a normál kivitelű transzformátort nem tudjuk nedves trópusra alkalmassá tenni.

A transzformátorok mesterséges nedves trópusi vizsgálatánál több dolgot is megvizsgáltunk. E cikk keretében csak két érdekes megfigyelést szeretnénk ezek közül megemlíteni, amelyek az előzőkhez is szorosan kapcsolódnak.

A 18-1. és 18-2. ábrán szereplő görbékől láthatjuk, hogy a szigetelési állapot romlása a nedves-meleg igénybevétel első szakaszában igen rohamos, mind az impregnált, mind a kiöntött transzformátorok esetében.

Az előzőkben már említettük, hogy a szigetelőanyagok nedvesedési folyamata: először a felületi és belső hézagok, kapillárisok telítődése a kapillár-mechanizmus szerint, majd a vízgőz diffúziója az anyagban. Heterogén szigetelőanyagoknál és szigetelési rendszereknél — a társítás hiányosságai miatt — a kapillár-mechanizmus szerinti vízfelvétel dominál. Az ilyen módon felvett nedvesség a szigetelési ellenállás nagymértékű csökkenését okozza, még akkor is, ha az említett nedvesedés csak egy felületi rétegben történik [1].

Úgy gondoljuk, nem kell részletesen leírni, könnyen elképzelhető, hogy a szigetelési rendszerben a szigetelési ellenállást tulajdonképpen sok kis párhuzamos ellenállás eredőjeként mérjük. Az egyik ilyen ellenállásösszetevő a kivezetések közötti felület, illetve felületi réteg. Az is közismert, hogy a párhuzamos ellenállások eredőjének nagyságrendjét a legkisebb ellenállás nagyságrendje szabja meg. Az igénybevétel első szakaszában tehát, minthogy a kapillár-mechanizmus szerinti nagyobb mérvű nedvesedés, ill. felületi jelenség dominál, érthető a szigetelési ellenállás nagymérvű csökkenése (még a kiöntött transzformátorok esetében is).

A kivezetések közötti anyag állapota, nedvesedése tehát lényegesen befolyásolhatja a rendszer szigetelési ellenállásának alakulását, s ezt a mérések értékelésekor nem szabad figyelmen kívül hagyni.

A 18-2. ábrán, mint már említettük, a diektromos állandó megváltozását tüntettük fel. A görbék jól jellemzik a kiöntött és az impregnált transzformátorok nedvesedése közti különbséget.

Szigetelési rendszerek vizsgálatánál a kapacitás mérésével ritkábban találkozunk, pedig a kapacitás változása a nedvesedési folyamatot, a nedvesedés mértékét — úgy gondoljuk — egyértelműbben jellemzi, mint a szigetelési ellenállás. Szigetelőanyagok mérésével foglalkozó szakembereknek pl. azonnal feltűnik, hogy a $\Delta\epsilon$ alakulását ábrázoló görbék jellege ugyanolyan, mint a vízfelvételi görbéké.

A kapacitásméréssel tehát ellenőrizhetjük, hogy a szigetelési ellenállás csökkenését a szigetelés felületi nedvesedése, vagy a növekvő vízfelvétel folytán az egész szigetelés átnedvesedése okozta-e. Ez a másik érdekes megfigyelés, amire fel kívántuk hívni a figyelmet.

4. Következtetések

a) Normál kivitelű, azaz nem nedvességálló alkotókat tartalmazó szigetelési rendszer megnyugtató védelmét a nedves trópusi klíma hatásával szemben az epoxigyantával való kiöntés biztosítja. Ha ui. az impregnálás bármilyen oknál fogva nem tökéletes, s nem biztosítja a tekerccszigetelés tökéletes elzárását a környezet nedves hatásától, a szigetelésben lévő nem nedvességálló alkotók átnedvesedése folytán előbb-utóbb üzemzavar keletkezik.

b) Nedves trópusi igénybevétel esetén legalább kétszeri vákuumimpregnálásra akkor is szükség van, ha a szigetelési rendszer alkotóinak nedves-meleg igénybevétel-lel szembeni ellenállóképessége megfelelő. Az első impregnálás tökéletes volta azonban többszöri impregnálás esetén is elengedhetetlen követelmény, mert a szigetelési

rendszerben megmaradó hézagok és kapillárisok — nem nedvszívó alkotókból felépített szigetelési rendszerrel is — veszélyeztetik a transzformátor nedves trópusi üzemét [1].

c) Nedves-meleg vizsgálatoknál tapasztalható, hogy a felület nedvesedése nagymértékben lerontja a szigetelési rendszer ellenállását. A mérési eredmények kiértékelésekor ezt figyelembe kell venni, azaz pl. kapacitásméréssel követni kell az egész szigetelés vízfelvételeinek alakulását, mert ezzel megállapíthatjuk, hogy a szigetelési ellenállás csökkenéséért a felület, vagy az egész szigetelés átnedvesedése e a felelős.

Szigetelési rendszerek nedvesedési folyamatának és a nedvesedés mértékének megállapítására, a szigetelési ellenállás mérése mellett, javasoljuk tehát a kapacitás mérését is.

Irodalom

- [1] *Sulyok J.*: Nedves trópuson üzemelő villamos berendezések szigetelő anyagai kiválasztásának főbb kérdései. *Elektrotechnika*, 1965. 11. sz.
- [2] *Sulyok J.*: Villamos berendezésekben használt sajtolóanyag típusok nedves trópusi alkalmazhatóságának kérdése. *Műanyag és Gumi*, 1966. 5. sz.
- [3] *Sulyok J.*: Trópusi felhasználású villamos berendezések tervezésével kapcsolatos klimatológiai problémák. *Elektrotechnika*, 1966. 5—6 sz.

19.

Heterogén szigetelőanyagok vízfelvétel—idő-függvénye nedves-meleg igénybevételnél

SULYOK JÓZSEF—H. DR. MAGYAR LAURA

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a szigetelőanyagok egyik legfontosabb tulajdonságának, a vízfelvételnek időbeli lefolyását tárgyaló külföldi szakirodalmat ismerteti. Ebbe beleilleszti a Villamosipari Kutató Intézetben a sajtolóanyagokon végzett kutatások eredményeit.

A szakirodalmi munkákból és a sajtolóanyagokon végzett vizsgálatokból megállapítható, hogy a vízfelvétel kezdeti szakaszában közelítően az idő négyzetgyökével arányos. Az összefüggés tartalmaz a próbatest alakjára vonatkozó tényezőt is.

A vízfelvétel időbeli lefolyásának törvényszerűsége alapján gondolatot ad a szabványos vízfelvételi adatszolgáltatás egyszerű és az eddiginél többet mondó módjára.

ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ФУНКЦИИ ОТ ВРЕМЕНИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ИХ В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНОГО ТЕПЛОГО КЛИМАТА

Й. Шуйок—Д-р. Л. Мадьяр

Резюме

Статья занимается заграничной технической литературой, рассматривающей одно из важнейших свойств изоляционных материалов, а именно, процесс водопоглощения во времени. Одновременно с этим приведены результаты исследований, проведенных на прессованных материалах в Научно-исследовательском институте электротехнической промышленности.

На основе данных технической литературы и результатов испытаний, проведенных на прессованных материалах, можно сделать вывод, что в начальной стадии, водопоглощаемость приблизительно пропорциональна квадратному корню времени. Зависимость содержит в себе также и фактор учитывающий форму опытного образца.

На основе закономерностей процесса водопоглощаемости во времени возникает мысль относительно простого и более значительного, по сравнению с применяемыми до сих пор, метода по представлению стандартных данных водопоглощаемости.

WASSERAUFNAHME VON HETEROGENEN ELEKTRISCHEN ISOLIERSTOFFEN IN ABHÄNGIGKEIT VON DER ZEIT BEI FEUCHTWARMER INANSPRUCHNAHME

J. Sulyok—Frau Dr. L. Magyar

Zusammenfassung

Der Aufsatz erteilt Aufschluss über die ausländische Fachliteratur, welche sich mit einer der wichtigsten Eigenschaften der Isolierstoffe, u. z. mit dem zeitlichen Ablauf der Wasseraufnahme beschäftigt. Dabei werden auch die Ergebnisse der im Forschungsinstitut für Elektrotechnik an Pressstoffen vorgenommene Versuche bekannt gegeben.

Aus der angeführten Fachliteratur und den an den Pressstoffen vorgenommenen Untersuchungen kann festgestellt werden, dass die Wasseraufnahme zu Beginn des Vorganges annähernd proportional der Quadratwurzel der Zeit verläuft. Die Beziehung enthält auch einen auf die Form des Prüflings bezüglichen Faktor.

Der Aufsatz verweist auch auf Grund der Gesetzmässigkeiten des zeitlichen Ablaufes der Wasseraufnahme auf eine einfache Methode hin, die im Vergleich zu der bisher in den Normen mitgeteilten Wasseraufnahmewerten eine mehr informative Aussage zulässt.

WATER ABSORPTION OF HETEROGENEOUS ELECTRIC INSULATING MATERIALS AS A FUNCTION OF TIME UNDER DAMP-HEAT CONDITIONS

J. Sulyok — Mrs. Dr. L. Magyar

Summary

The paper supplies information on the foreign technical literature dealing with a highly important property of insulating materials, the process of water absorption as a function of time. The results of the research work carried out in the Research Institute of the Electric Industry on moulding materials is fitted into this frame.

From the technical literature and from the investigations carried out on moulding materials it can be established that in the initial stage, water absorption is approximately proportional to the square root of the time. The relationship also includes a factor for the shape of the specimen.

Based on the regularity of the time process of water absorption, some ideas are given on a simple and more informative supply of standard data on water absorption.

1. Bevezetés

Villamos berendezésben használt szigetelőanyagok villamos tulajdonságai nagyon érzékenyek a nedvességre, s a villamos tulajdonságok romlása a szigetelőanyag nedvességfelvételével általában arányos. Szigetelőanyagok nedvesedésével nemcsak nedves trópusi klímán kell számolnunk. A szigetelőanyag számára a normál klímán gyakran előforduló nedves mikroklíma is veszélyt jelent (pl. szabadtéri és nedves üzemekben alkalmazott berendezések esetében). A nedvességállóság tehát a szigetelőanyag igen fontos jellemzője, ezért kívánunk foglalkozni a szigetelőanyagok nedvességfelvételének problémájával.

A szigetelőanyagok nedvességfelvételét vízbentartással, vagy klímavizsgálatoknál, nagy relatív légnedvességű térben való tartással vizsgálják. E cikk keretében ismertett vizsgálatok klímavizsgálati céllal történtek, s a nedvességfelvételre vonatkozó megállapításainkat is 40 °C-os, 95...98%-os relatív légnedvességű tér által kialakított nedves-meleg igénybevétel esetére korlátoztuk.

Szigetelőanyagok nedvességfelvételére vonatkozó adatok között sajnos még kevés a nedves térben végzett vizsgálat eredményeképpen kapott adat. Emellett a szabványokban, különböző ismertetőtkben nagyon tarkán jelentkezik a vízfelvétel is. Megadják az egynapos, a négynapos vagy hosszabb ideig történő vízbentartás utáni értéket. A vízfelvétel mértékét megadják súlyban, súlyszázalékban, térfogatszázalékban és felületegységre vonatkoztatva. Az alkalmazott próbatestek korong, hasáb alakúak és különböző vastagságúak stb. Az adatok ezért nehezen, vagy egyáltalában nem hasonlíthatók össze. E cikkben nem kívánunk ugyan rendet teremteni az említett sokféle adatközlésben, néhány vizsgálati tapasztalatra alapozott gondolattal azonban elő kívánjuk segíteni valamilyen elfogadható egységes módszer kialakítását. Így

pl. igazolni kívánjuk, hogy a felületegységre vonatkoztatott vízfelvétel értéke jellemző az anyagra, s kiküszöböli a különböző próbatestalakból egyébként adódó differenciát.

A vízfelvétel mérésének nem lehet egyedüli célja egy jellemző szám megállapítása az adott szigetelőanyagra, ha a szigetelőanyag vízfelvételenek időbeni lefolyását is ismerjük, többet kapunk ennél; felvilágosítást nyerünk pl. heterogén szerkezetű szigetelőanyagoknál a gyártás jóságáról, a technológiai hiányosságokról, vagy pl. összetett klímavizsgálatok öregítő hatásáról. E cikkben ezért ismertetjük a vízfelvétel időbeni lefolyásának törvényszerűségére vonatkozó — az irodalomban található — megállapításokat, és saját vizsgálataink eredményével is igazoljuk azok érvényességét. Majd ezek ismeretében javaslatot teszünk nedves-meleg igénybevételnél alkalmazható néhány módszerre.

2. A vízfelvétel időbeni lefolyásának törvényszerűsége

A vízfelvétel törvényszerűségének kérdésével sok szakirodalmi közlemény foglalkozik. A szerzők a vízfelvétel időbeni lefolyását leginkább a *Fick 2.* diffúziótörvényéből kiindulva írják le.

M. Maršál és P. Slaninka [1] *Fick 2.* törvényéből olyan próbatestre, amelynek vastagsága egyéb méretéhez képest kicsi, továbbá kis t (idő) értékekre, azaz a vízfelvétel kezdeti szakaszára a következő közelítő összefüggést vezették le:

$$c = c_{\infty} \frac{4}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{Dt}{4h^2}},$$

ahol c vízkoncentráció a próbatestben;
 c_{∞} vízkoncentráció telített állapotban;
 $2h$ a próbatest vastagsága;
 D diffúziós együttható.

F. Blank [2] a próbatest által felvett vízmennyiséget egy térfogatintegrállal fejezte ki. A térfogatintegrál időbeni változása arányos a koncentráció gradienseinek felületi integráljával, mivel a felvett víz mennyisége időben csak úgy változhat, ha a felületen koncentrációesés van. A műveletek elvégzése után a szerző a következő egyszerű összefüggést adta meg:

$$q = c_{\infty} F \sqrt{Dt},$$

ahol q a felvett vízmennyiség;
 c_{∞} a telítési vízkoncentráció;
 F a próbatest felülete;
 D a diffúziós együttható.

Siggelkow [3] a folyadékfelvételt hatványfüggvénnyel írta le. Ezt a törvényszerűséget igazoltnak látta azzal is, hogy a folyadékfelvétel—idő—függvényt kétszer logaritmikus papíron ábrázolva egyenest kapott. Közleménye ábráin, amint arra *F. Blank* is rámutatott, az egyenesek iránytangense kb. $1/2$. Ebből következik, hogy a felvett folyadék mennyisége (súlyszázalékban megadva) az idő négyzetgyökével arányos. A próbatest felületének és térfogatának hányadosát az ún. felületi tényezőt megegyezően *Eulitz*-cal [4] ő is jellemző adatként használta.

P. Ször [5] elasztomerek folyadékfelvételének törvényszerűségét *Fick 2.* törvé-

nyéből kiindulva tárgyalta. Megállapította, hogy kellően kis időre a vízfelvétel közelítően az idő négyzetgyökével arányos:

$$Q = \frac{K}{\varepsilon} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} \right) \sqrt{D_0 t},$$

ahol Q az egységnyi polimermennyiség által felvett folyadékmennyiség;
 K arányossági tényező;
 ε a polimer és a folyadék fajsúlyának hányadosa;
 a, b, c a hasáb élhosszai;
 D_0 a diffúziós együttható.

Megfelelően nagy idő után pedig a vízfelvétel közelítően hatványfüggvényt mutat. Az idő függvényében kétszer logaritmikus papíron ábrázolt vízfelvételi görbék iránytangense tehát kezdetben 1/2, később ettől eltér.

A *P. Ször* által megadott összefüggésben az

$$\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} \right)$$

kifejezés tulajdonképpen a már *Eulitznál* [4] is szereplő felületi tényező;

$$\frac{F}{V} = \frac{\text{felület}}{\text{térfogat}}.$$

M. Thiele [6] a vízfelvétel pontos mérésére módszert dolgozott ki. A próbatestek súlynövekedését 95%-os relatív légnedvességű térben a próbatestek kiemelése nélkül mérte le, nagyérzékenységu mérleggel. Méréseivel a *Fick* 2. törvénye alapján levelezhető vízfelvételre vonatkozó összefüggések helyességét igazolta.

Míg az előzőekben említett szerzők kísérleteiket egyfázisú, töltetlen szigetelőanyagokkal végezték, addig *M. Thiele* rétegelt papírvázis fenolszármazék-gyanta kötőanyagú szigetelőanyagok vízfelvételét vizsgálta. Kísérletei tehát egyúttal azt is igazolták, hogy a vizsgált rétegelt termék vízfelvele a *Fick* 2. törvénye szerint folyik le, vagyis — amint azt *Maršálnál* és *Slaninkánál* láttuk — a vízfelvétel a kezdeti időszakban közelítően az idő négyzetgyökével arányos.

V. Zvonář [7] rétegelt termékek vízfelveleének időbeli lefolyására a *Lucass*-féle összefüggést alkalmazta, tekintettel arra, hogy rétegelt termékeknél a vízfelvele elsősorban kapillárerők hatására történik. Egy szabadon vízben tartott termék vízfelveleére az alábbi képletet adta:

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = K \sqrt{\frac{r^2 (\cos \Theta)}{\eta} t},$$

ahol $X_{\text{H}_2\text{O}}$ a felvett víz súlyrésze;
 K arányossági állandó;
 r kapilláris átmérő;
 Θ illeszkedési szög;
 η viszkozitás.

Az egyenletből látható, hogy rétegelt termékeknél, mint heterogén, kétfázisú rendszerknél a főként kapillárerők hatására létrejövő vízfelvele — csakúgy, mint homogén anyagnál — az idő négyzetgyökével arányos.

3. Saját kísérletek sajtolóanyagok vízfelvételére vonatkozóan

A szakirodalmi közleményekben a vízfelvétel kezdeti szakaszára megállapított törvényszerűséget sajtolóanyagoknál is igazolni kívántuk. A sajtolóanyagok a rétegelt termékekkel szemben nem irányított kétfázisú (kötőanyag—töltőanyag) rendszerek, amelyeknél a kapilláris vízdifúzióknak a két fázis határfelületén általában szerepe van

Kísérleteinkből [8], [9], [10] bemutatjuk a következő sajtolóanyagok vizsgálatának eredményét:

1. Fenol-rezolgyanta + hidrofobizált kvacliszt (Doroszil)
2. Fenol—anilin—krezol-rezolgyanta + rövid üvegszál (Elektroplaszt)
3. Melamingyanta + azbeszt (Demilán 156)
4. Epoxigyanta + hosszú üvegszál (Araldit GL 126)
5. Epoxigyanta + hosszú üvegszál (Araldit GL 127)
6. Epoxigyanta + rövid üvegszál (Araldit GL 128)
7. Diállilftalátgyanta + poliamidszál (Dapon X 385/2219)

A próbatetek mérete:

- 50 mm átmérőjű, 3 mm vastag korong;
- 140 mm átmérőjű, 3 mm vastag korong;
- 120 × 15 × 10 mm méretű hasáb.

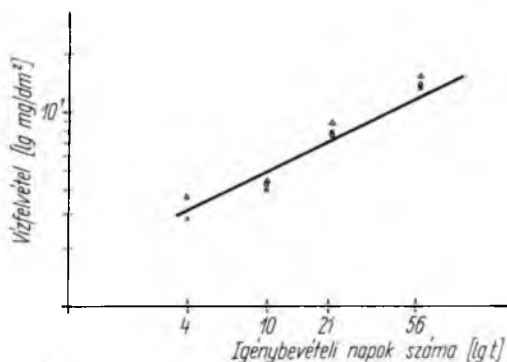
A két utolsó méret csak az 5-7. alatt felsorolt sajtolóanyagokra vonatkozik.

A próbateteket az MSZ 8888/3 lap szerinti nedves-meleg igénybevételnek vetették alá s az igénybevétel folyamán a vízfelvételt súlynövekedés-méréssel határoztuk

19-1. ábra. Araldit GL 127 felületegységre számított vízfelvételének logaritmusára az idő logaritmusának függvényében

A próbatetek méretei:

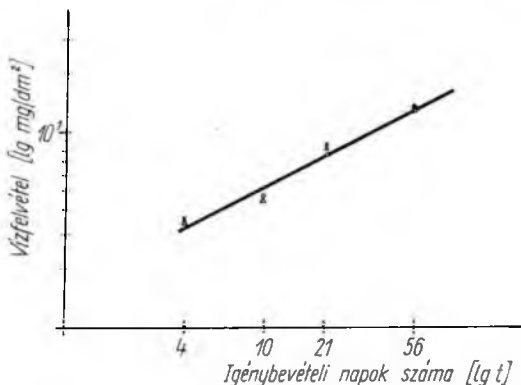
- 120 × 15 × 10 mm
- × Ø 50 × 3 mm
- △ Ø 140 × 3 mm

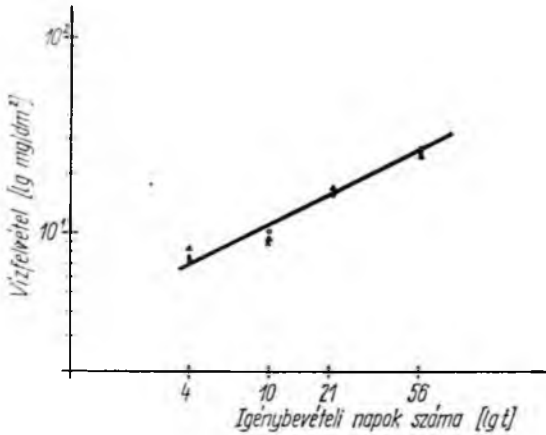


19-2. ábra. Araldit GL 128 felületegységre számított vízfelvételének logaritmusára az idő logaritmusának függvényében

A próbatetek méretei:

- 120 × 15 × 10 mm
- × Ø 50 × 3 mm
- △ Ø 140 × 3 mm



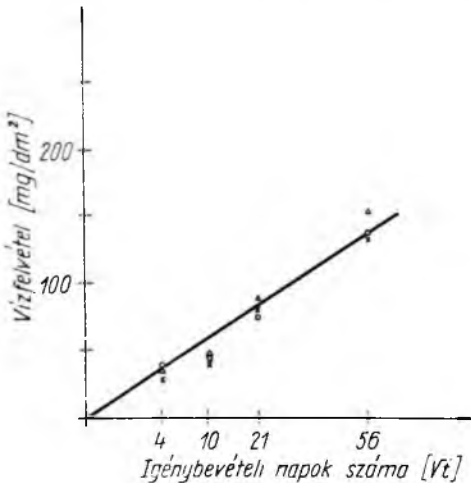
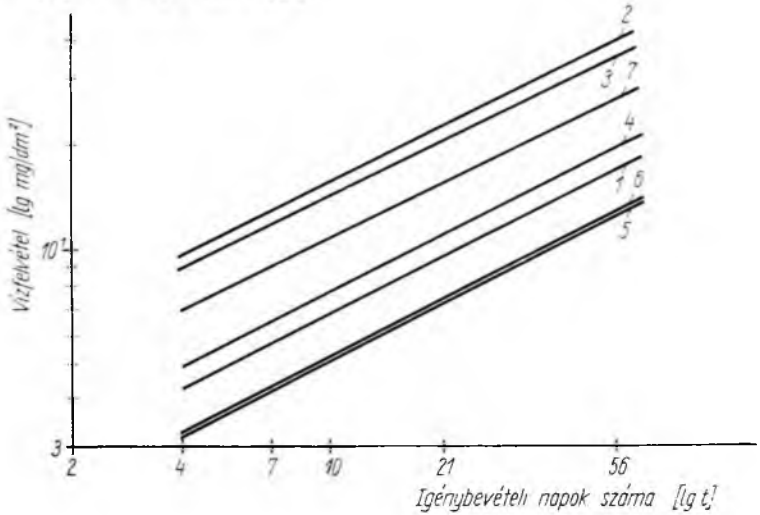


19-3. ábra. Dapon X 385/2219 felületegységre számított vízfelvételének logaritmusza az idő logaritmusának függvényében

A próbatetek méretei:
 ○ 120 × 15 × 10 mm
 × Ø 50 × 3 mm
 △ Ø 140 × 3 mm

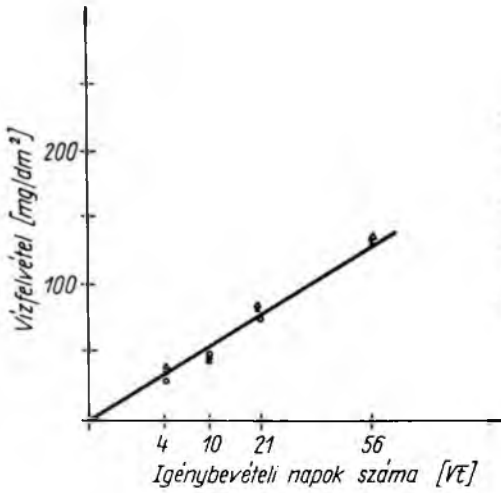
19-4. ábra. A vizsgált anyagok felületegységre számított vízfelvételének logaritmusza az idő logaritmusának függvényében (a próbatetek mérete: Ø 50 × 3 mm)

- 1 Doroszil;
- 2 Elektroplaszt;
- 3 Demilan 156;
- 4 Araldit GL 126;
- 5 Araldit GL 127;
- 6 Araldit GL 128;
- 7 Dapon X 385/2219.



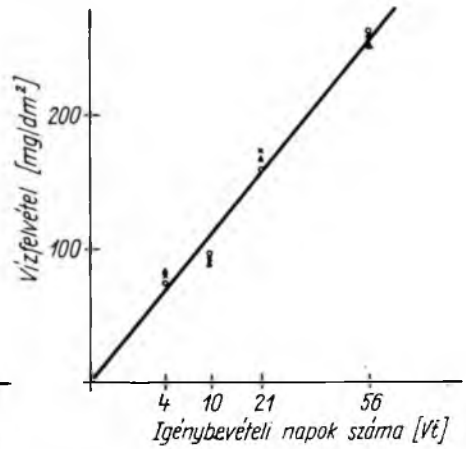
19-5. ábra. Araldit GL 127 felületegységre számított vízfelvétele az idő négyzetgyökének függvényében

A próbatetek méretei:
 ○ 120 × 15 × 10 mm
 × Ø 50 × 3 mm
 △ Ø 140 × 3 mm



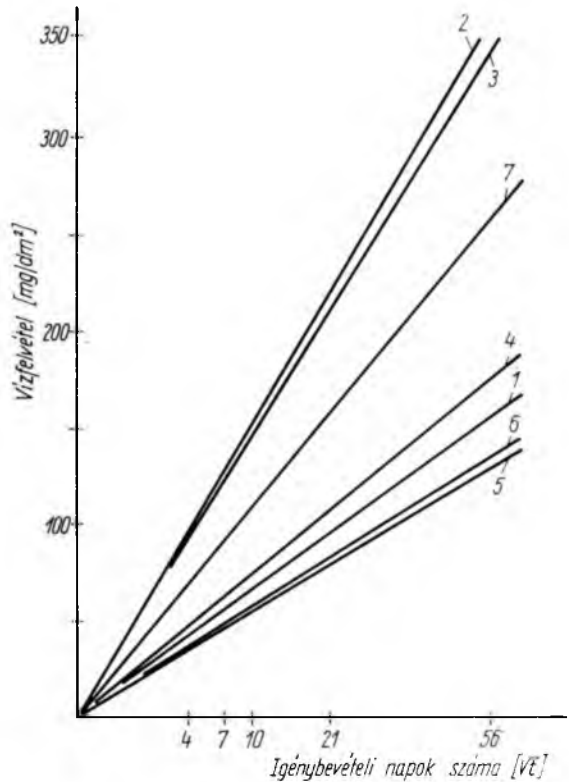
19-6. ábra. Araldit GL 128 felületegységre számított vízfelvétele az idő négyzetgyökének függvényében

A próbatetek méretei:
 ○ 120 × 15 × 10 mm △ Ø 140 × 3 mm
 × Ø 50 × 3 mm



19-7. ábra. Dapon X 385/2219 felületegységre számított vízfelvétele az idő négyzetgyökének függvényében

A próbatetek méretei:
 ○ 120 × 15 × 10 mm △ Ø 140 × 3 mm
 × Ø 50 × 3 mm



19-8. ábra. A vizsgált anyagok felületegységre számított vízfelvétele az idő négyzetgyökének függvényében (a próbatetek mérete: Ø 50 × 3 mm)

1 Doraszil;
 2 Elektropaszt;
 3 Demilan 156;
 4 Araldit GL 126;
 5 Araldit GL 127;
 6 Araldit GL 128;
 7 Dapon X 385/2219.

meg. A mért vízfelvételi értékeket a próbatest egységnyi felületére számítottuk ki. Az így nyert értékeket grafikusán kétféleképpen ábrázoltuk:

a) a próbatestek felületegységére számított vízfelvétel logaritmusát az idő logaritmusának függvényében az 19-1...19-4. ábrákon;

b) a próbatestek felületegységére számított vízfelvételt az idő négyzetgyökének függvényében a 19-5...19-8. ábrákon.

A 19-1...19-3. és 19-5...19-7. ábrákon azonos sajtolóanyagokból készült, különbözőalakú próbatestek vízfelvételét, a 19-4. és 19-8. ábrákon pedig a hét különböző sajtolóanyagból készült azonos alakú próbatestek vízfelvételét tüntettük fel.

4. Következtetések és javaslatok

a) A 19-1...19-4. ábrákon a vízfelvétel-görbék az anyagféleségtől függetlenül egymással párhuzamos, kb. 1/2 iránytangensű egyenesek. Ez azt jelenti, hogy a vízfelvétel az idő 1/2-ik hatványával, azaz az idő négyzetgyökével arányos. Az anyagra az a) ábrázolásmódnál az ordinátatengely metszete jellemző.

A 19-5...19-8. ábrákon [b] ábrázolásmód szerint], jól látható, hogy a vízfelvétel az idő négyzetgyökének függvényében szintén egyenest ad. Ennél az ábrázolásmódnál az anyagra az egyenesek iránytangense a jellemző.

Fentiek alapján megállapítható tehát, hogy a vízfelvétel a kezdeti időszakban sajtolóanyagoknál is az idő négyzetgyökével arányos.

b) A 19-1...19-3. és 19-5...19-7. ábrákból látható, hogy a különböző alakú, de azonos anyagból készült próbatestek vízfelvételértékei egy egyenest eredményeznek. A felületegységre számított vízfelvétel tehát a próbatest alakjától független, adott nedves-meleg igénybevételnél az anyagra jellemző tényezővel és az idő négyzetgyökével arányos. Ezt a tényt a

$$q_F = C \sqrt{t}$$

összefüggésével fejezhetjük ki.

ahol q_F a felületegységre számított vízfelvétel;

C az anyagra jellemző együttható;

t igénybevételi idő.

A vízfelvételnek a felületegységre való számítását, az általunk kapott eredményeken kívül az is indokoltá teszi, hogy az ún. felületi tényezőt (F/V) tartalmazó szakirodalmi képletek megfelelő átalakítással ugyanerre az eredményre vezethetnek.

c) Fentiek ismeretében az alábbi javaslatokat kívánjuk tenni:

A vízfelvételt bármilyen alakú próbatesten mérjük is, célszerű felületegységre vonatkoztatva megadni. Ezzel anyagra jellemző értéket kapunk; az anyagok e jellemzők alapján jól összehasonlíthatók nedvességfelvételre vonatkozó érzékenységüket illetően.

Gyakorlati szempontból, a nedves-meleg klímavizsgálatnál szokásos szigorúsági fokokat figyelembe véve, a vízfelvétel időbeni lefolyására a

$$q_F = C \sqrt{t}$$

törvényszerűség elfogadható nedves-meleg vizsgálatnál, ezért ha a b) ábrázolásmódot (l. a 19-5...19-8. ábrát) követjük, a vízfelvételt néhányszor (célszerűen az igénybevétel első szakaszában) mérve is megrajzolhatjuk a jellemző egyenest. Ezek segítségével a különböző anyagokat — nedvességállóságukat illetően — könnyen és gyorsan össze lehet hasonlítani. Javasoljuk e kérdés szabványban való szerepeltetésének megfontolását is.

Irodalom

- [1] *Marsál, M. —Slaninka, P.*: Einige Bemerkungen zum Aufsatz über „Das Problem der Wasseraufnahme von Plasten“ von F. Blank. *Plaste und Kautschuk*, **2**. (1963) p. 89.
- [2] *Blank, F.*: Wasseraufnahme von Plasten. *Plaste und Kautschuk*, **11**. (1965) p. 657.
- [3] *Siggelkow, R.*: Über die mathematische Erfassbarkeit der Flüssigkeitsabsorption von Plasten. *Plaste und Kautschuk*, **5**. (1963) p. 269.
- [4] *Eulitz, W.*: Über die Feuchtigkeitsaufnahme bei Thermoplasten. *Kunststoffe*, **46**. (1956) H. 9. p. 403.
- [5] *Ször, P.*: Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs der Quellung von dem Form des Prüfkörpers. *Plaste und Kautschuk*, **7**. (1965) p. 402.
- [6] *Thiele, M.*: Szigetelőanyagok nedvességfelvételének meghatározása. Tropikalizálási konferencia előadásai, 1965. dec. 13—15. I 82. old.
- [7] *Zvonar, V.*: Wasseraufnahme der glasfaserverstärkten Schichtstoffe und Wassereinwirkung auf deren E-Moduls. *Plaste und Kautschuk*, **11**. (1965) p. 660.
- [8] *Sulyok, J.*: Villamos berendezésekben használt sajtolóanyag típusok nedves trópusi alkalmazhatóságának kérdése. *Műanyag és Gumi*, 1966. 5. sz.
- [9] *Sajtolóanyagok laboratóriumi klímavizsgálata. VKI Klimatizációs osztály kiadványa, 1966.*
- [10] *Magyar L.*: Epoxi- és diallilftalátgyanta alapú sajtolóanyagok laboratóriumi klímavizsgálata. VKI Klimatizációs osztály kiadványa, 1966.

Tartalomjegyzék

A VKI helyzete és fejlődési irányai az új gazdasági mechanizmus első szakaszában (Dr. Urbaneck J.)	5
Szigetelőtechnikai Laboratórium	
1. Villamosüzemű vasúti fűtőtestek fejlesztése és vizsgálata (Dávid P.—Németh M.)	17
2. Villamos szigetelőanyagok termikus és kisüléskémiai öregedésének vizsgálata (Dávid P.) ..	33
Villamos Berendezés Laboratórium	
3. Áramkörök Z-jelleggörbéjű impedanciákkal (Dr. Gábor L.)	43
4. Elektrolíziseket tápláló egyenirányító berendezések (Dr. Ganszky K. — Marti S.)	61
5. Túlfeszültségek váltakozóáramú generátorral táplált vonatvilágítási áramkörökben (Csaba B. — Rády Z. — Dr. Vitályos L.)	81
6. A 3000 LE-s szilícium-egyenirányítós mozdony hazai fejlesztésű egyenirányítói és elektronikus védelme (Hadas J.)	95
7. A diósgyőri blokkosor előválasztásos hengerállításának pozíciószabályozása (Mlinkó T.) ..	107
Félvezető Laboratórium	
8. Megjegyzések egy cinkanódú, termikusan regenerálható tüzelőanyag-elemmel kapcsolatban (Kerti J.—Dr. Lukács J.)	121
9. Néhány mérési módszer a p-n átmenetek kisebbségi töltéshordozói effektív élettartamának meghatározására (Pálfy M.)	133
10. Diffúziós rétegvastagságok mérésének új módszere (Jókuthy Z.)	147
11. Termovillamos anyagok mérésének ipari vonatkozásai (Egri J.)	153
12. Szilíciumkarbid porok villamos minőségéről (Martin R.)	161
13. Mérési módszer levezetőellenállások működését utánzó próbákhoz (Szent-Iványi Gy.)	167
Villamos Készülék Laboratórium	
14. Újtípusú, DIN 43 625 előírásai szerinti, középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó biztosítók (Dr. Mocsáry J.)	173
15. Kutatási feladatok kisméretű váltakozóáramú mágneskapcsolók korszerű kialakításához (Dr. Néveri I.)	187
16. Villamos készülékek nagyteljesítményű vizsgálatai az Intézet zárlati laboratóriumában (Csáthy K.)	203
17. Vas deionlemezek váltakozóáramú villamos ívre gyakorolt erőhatásának vizsgálata (Polgár T.)	215
Klimatizációs Osztály	
18. Nedves trópusra kerülő normál kivitelű kistranszformátorok otóvédelme (Sulyok J.)	231
19. Heterogén villamos szigetelőanyagok vízfelvétel—idő-függvénye nedves-meleg igénybevételnél (Sulyok J. — H. Dr. Magyar L.)	239

Содержание

Положение и направления развития Исследовательского Института Электрической Промышленности в первом периоде нового экономического механизма (Д-р. И. Урбанек)	5
Лаборатория Изоляционных Материалов	
1. Испытание и разработка электрических обогревателей поездов (П. Давид—М. Немет)	17
2. Испытание электрических изоляционных материалов на термическое и разрядно-химическое старение (П. Давид)	33
Лаборатория Электрического Оборудования	
3. Цепи с импедансами Z-характеристики (Д-р. Л. Гадор)	43
4. Выпрямители, питающие электролизеры (Д-р. К. Гански—М. Марти)	61
5. Перенапряжения в цепях системы освещения поездов, питающихся от генератора переменного тока (Б. Чаба—З. Ради—Д-р. Л. Витайош)	81
6. Кремниевые выпрямители и электронная защита отечественной разработки для электровоза мощностью 3000 л. с. (Я. Халаш)	95
7. Позиционное регулирование установки валков с предварительным выбором диошдьерского блюминга (Т. Млинко)	107
Лаборатория Полупроводников	
8. Замечания по термически восстанавливаемым топливным элементам с цинковым анодом (Й. Керти—Д-р. Й. Лукач)	121
9. Несколько методов измерения эффективного времени жизни неосновных носителей зарядов в p-n переходах (М. Палфи)	133
10. Новый метод измерения толщины диффузионных слоев (З. Ёкути)	147
11. Промышленные условия измерения термoeлектрических материалов (Я. Эгри)	153
12. Об электрическом качестве порошка из карбида кремния (Р. Мартин)	161
13. Метод измерения для испытаний сопротивления утечки (Г. Сент-Ивани)	167
Лаборатория Электрических Аппаратов	
14. Средневольтные токоограничительные предохранители нового типа с высокой разрывающей способностью, разработанные на основе условий стандарта ДИН 43625 (Д-р. И. Мочари)	173
15. Исследовательские задачи по разработке современных низковольтных контакторов для переменного тока (Д-р. И. Невери)	187
16. Испытания электроаппаратов на большой мощности в лаборатории коротких замыканий Института (К. Чати)	203
17. Испытание воздействия деионных стальных пластинок на электрическую дугу переменного тока (Т. Полгар)	215
Климатизационный Отдел	
18. Дополнительная защита маломощных трансформаторов нормального исполнения, применяемых в условиях влажного тропического климата (И. Шуйок)	231
19. Водопоглощение гетерогенных электрических изоляционных материалов в функции от времени при применении в условиях влажного теплого климата (И. Шуйок—Д-р. Л. Мадьяр)	239

Inhalt

Die Lage und Entwicklungstendenzen des Forschungsinstituts der Elektroindustrie in der ersten Etappe des neuen Wirtschaftssystems (Dr. J. Urbanek)	5
Laboratorium für elektrische Isolationsmaterialien	
1. Entwicklung und Untersuchung von elektrischen Eisenbahn-Heizkörper (P. Dávid — M. Németh)	17
2. Prüfung der thermischen und entladungskemischen Alterung von elektrischen Isoliermaterialien (P. Dávid)	33
Laboratorium für elektrische Einrichtungen	
3. Stromkreise mit Impedanzen mit Z-Kennlinien (Dr. L. Gádor)	43
4. Gleichrichteranlagen zur Speisung von Elektrolysen (Dr. K. Ganszky — S. Marti)	61
5. Überspannungen in Drehstromgenerator gespeisten Zugbeleuchtungsstromkreisen (B. Csaba — Z. Rády — Dr. L. Vitályos)	81
6. Die in Ungarn entwickelten Gleichrichter und der elektronische Schutz der 3000 PS—Siliziumgleichrichter-Lokomotiven (J. Hadas)	95
7. Vorwahlregelung der Walzenverstellung bei der Blockstrasse im Walzwerk Diósgyőr (T. Mlinkó)	107
Halbleiter Laboratorium	
8. Bemerkungen im Zusammenhang mit einer thermisch regenerierbaren Kraftstoffzelle mit Zink-Anode (J. Kerti — Dr. J. Lukács)	121
9. Messmethoden zur Bestimmung der effektiven Lebensdauer der Minoritätsträger von P-N Übergängen (M. Pálffy)	133
10. Neue Methode zur Messung von Diffusions-Schichtstärken (Z. Jókuthy)	147
11. Industrielle Relationen der Messung thermoelektrischer Werkstoffe (J. Egri)	153
12. Elektrische Qualifizierung von Silizium-Karbid-Pulvern (R. Martin)	161
13. Messmethode für Proben von Ableitwiderständen, die den Betrieb nachahmen (Gy. Szent-Iványi)	167
Schaltgeräte Laboratorium	
14. Neue strombegrenzende HH — Sicherungen nach DIN 43625 (Dr. J. Mocsáry)	173
15. Forschungsaufgaben für die moderne Auslegung von Wechselstrom Niederspannungsschütze (Dr. I. Néveri)	187
16. Hochleistungsprüfungen an Elektrogeräten im Kurzschlusslaboratorium des Institutes (K. Csáthy)	203
17. Untersuchung der Kraftereinwirkung von Deion-Eisenblechen auf Wechselstrom-Lichtbögen (T. Polgár)	215
Klimatisationsabteilung	
18. Nachträgliche Klimaschutz-Massnahmen bei Kleinsttransformatoren, die unter feuchttropischen Verhältnissen zum Einsatz gelangen (J. Sulyok)	231
19. Wasseraufnahme von heterogenen elektrischen Isolierstoffen in Abhängigkeit von der Zeit bei feuchtwarmer Inanspruchnahme (J. Sulyok — Frau Dr. L. Magyar)	239

Contents

The situation and tendencies of development of the Research Institute of the Electrical Industry in the first stage of the new economic system (Dr. J. Urbánek)	5
Laboratory of Isolation Materials	
1. Development and Investigation of Electrical Railway Heaters (P. Dávid — M. Németh)...	17
2. Examination of the Thermal and Discharge-Chemical Ageing of Dielectrics (P. Dávid) ...	33
Laboratory of Electrical Equipment	
3. Circuits with Impedances of „Z” Characteristic (Dr. L. Gábor)	43
4. Rectifier Equipments Feeding Electrolytic Processes (Dr. K. Ganszky — S. Marti)	61
5. Overvoltages in Train Lighting Circuits fed by Alternators (B. Csaba — Z. Rády — Dr. L. Vitályos)	81
6. Rectifiers and Electronic Protection System Developed in Hungary for the 3000 HP Silicon Rectifier Locomotive (J. Hadas)	95
7. Pre-selective Position Control to the Roll Adjustment of the Blooming Mill at Diósgyőr (T. Mlinkó)	107
Semiconductor Laboratory	
8. Remarks on a Thermally Recuperative Zinc-Anode Fuel Cell (J. Kerti — Dr. J. Lukács)	121
9. Some Measuring Methods for the Determination of the Effective Lifetime of the Minority Carriers of P-N Junctions (M. Pálffy)	133
10. A New Methode of the Measurement of Diffusion Film Thickness (Z. Jókuthy)	147
11. Industrial Aspects of the Measurements of Thermoelectric Materials (J. Egri)	153
12. Electric Qualification of Silicon Carbide Powders (R. Martin)	161
13. Measuring Method for Test, Imitating the Operation of Non-Linear Resistances (Gy. Szent-Iványi)	167
Switchgear Laboratory	
14. New Type Medium-Voltage High Rupturing-Capacity Current-Limiting Fuses Complying with the Specifications of DIN 43 625 (Dr. J. Mocsáry)	173
15. Tasks of the Research on the Up-to-Date Development of the A. C. Low Voltage Contactors (Dr. I. Néveri)	187
16. High-Power Tests of Electric Devices in the Short-Circuit Laboratory of the Institute (K. Csáthy)	203
17. An Inquiry into the Power Effect of Iron Deion Plates on the A. C. Electric Arc (T. Polgár)	215
Climatisation Department	
18. Post-Protective Measures Applied to Small Transformers Delivered with Normal Finish to Wet Tropical Countries (J. Sulyok)	231
19. Water Absorption of Heterogeneous Electric Insulating Materials as a Function of Time under Damp-Heat Conditions (J. Sulyok — Mrs. Dr. L. Magyar)	239

