



VKI

KÖZLEMÉNYEI

6

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

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET

KÖZLEMÉNYEI

6

KÖZZÉTESZI:

DR. LUKÁCS JÓZSEF

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

SZERKESZTETTE:

a Szerkesztő Bizottság

DR. BOGOLY ISTVÁN

okl. gépészmérnök,
a műszaki tudományok kandidátusa,
a Villamos Technológiák II. Főosztály vezetője

DR. GANSZKY KÁROLY

okl. villamosmérnök,
a műszaki tudományok kandidátusa,
az Erősáramú Elektronika Főosztály vezetője

KISS MIKLÓS

okl. gépészmérnök,
a Villamos Berendezés Főosztály vezetője

DR. KOCSIS ALBERT

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

DR. MISZLIVETZ JÓZSEF

okl. gépészmérnök,
a Szigetelésttechnikai Főosztály mb. vezetője

DR. MOCSÁRY JÓZSEF

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

MOLNÁR ISTVÁN

okl. villamosmérnök,
a Villamos Technológiák I. Főosztály
vezetője

DR. NÉVERI ISTVÁN

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

TAR FERENC

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

Felelős kiadó: Dr. Lukács József
a VKI igazgatója

Megjelent a Műszaki Könyvkiadó gondozásában

ISBN: 963 10 2043 6

Felelős szerkesztő: Guller Jánosné villamosmérnök
A kézirat lezárva: 1977. január 31.

Műszaki vezető: Hegedűs Ernő
Tipográfus: Hegedűs Ernő
Műszaki szerkesztő: Mózer István
Ívterjedelem: 31,85 (A5)
Példányszám: 800
Azonossági szám: 0913

77-4607 — Szegedi Nyomda
Felelős vezető: Dobó József igazgató

Előszó

Ezennel rendelkezésre bocsátjuk a Villamosipari Kutató Intézet Közleményei 6. kötetét, amely az Intézet 25 éves fennállásának jubileuma alkalmával közreadott 5. kötet megjelenése óta elért legjelentősebb tudományos-műszaki eredményekről ad tájékoztatást.

E kötet az intézet munkatársai által írt cikkeket, tanulmányokat — az eddigi kötetek tagolásától eltérően — nem főosztályi tagolásban, hanem témacsoportonkénti összeállításban közli.

A témacsoportok a következők:

- Erősáramú elektronika és irányítástechnika
- Nem kötőtpályás villamos járművek
- Villamos energia közvetlen előállítása
- Félvezető-, villamos- és hőtechnológiák
- Villamos készülékek
- Szigeteléstechika
- Méréstechnika.

Megítélésünk szerint a kötet cikkei tükrözik az intézetnek azt a törekvését, amely a magyar ipar és ezen belül elsősorban az erősáramú villamosipar struktúraváltására, korszerű elemek, berendezések, szabályozások, technológiák létrehozására és ipari megvalósítására irányul.

Szerkesztő Bizottság

ERŐSÁRAMÚ
ELEKTRONIKA
ÉS IRÁNYÍTÁSTECHNIKA

1.

Meleghengersori szabályozott hajtások a Dunai Vasműben

BALLÓK IMRE—WEINER GYÖRGY

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk ismerteti a melegen történő lemezhengerlés technológiáját, majd az előnyújtó-sor függőleges állványának és a készsori állványoknak a szabályozórendszerét. A függőleges állványnál a két henger együttfutása digitális kiegyenlítő szabályozással történik. A készsoron az állványok együttfutását analóg rendszerű hurokszabályozók végzik és központi szabályozórendszer gondoskodik a készlemez vastagságának szabályozásáról.

РЕГУЛИРОВАННЫЕ ПРИВОДЫ ГРУППАМИ КЛЕТЕЙ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ В ПОДУНАЙСКОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ

И. Баллок — Д. Вейнер

Резюме

Статья излагает технологию листовой горячей прокатки, системы регулирования привода чистовыми группами клетей и вертикального привода обжимными группами клетей. Синхронность двух валков вертикальных клетей обеспечена цифровой дифференциальной регулировкой. Синхронности валков чистовой группы обеспечены аналоговыми петлевыми регуляторами, толщина готового листа регулируется с помощью центральной управляющей системы.

GEREGELTE WARMWALZWERKANTRIEBE IM EISENWERK DUNA

I. Ballók—Gy. Weiner

Zusammenfassung

Der Aufsatz legt die Technologie des Warmbandwalzens, das Regelungssystem des Vertikalhauptantriebs der Uhmkehrstrasse und das der Antriebe der Fertigstrasse dar. Der Gleichlauf der zwei Walzen des Vertikalgerüsts erfolgt durch Digitalausgleichregelung. Bei der Fertigstrasse wird das Zusammenwirken der Gerüste durch analoge Schlingenregelungen durchgeführt, und der Hauptregler sorgt für die Banddickenregelung.

HOT-STRIP-MILL ELECTRIC DRIVES IN DUNA IRON WORKS

By I. Ballók—Gy. Weiner

Summary

The paper deals with the technology of the hot-strip rolling, the control system of the vertical main drive of the roughing mill and that of the drives of the hot-strip finishing mills. The synchronous operation of the two rolls of the vertical stand takes place by digital balancing control. In the hot-strip finishing mills the synchronous operation of the automatic speed control of the stands will be carried out by analogue loop controls and the main control system provides for the automatic strip gauge control.

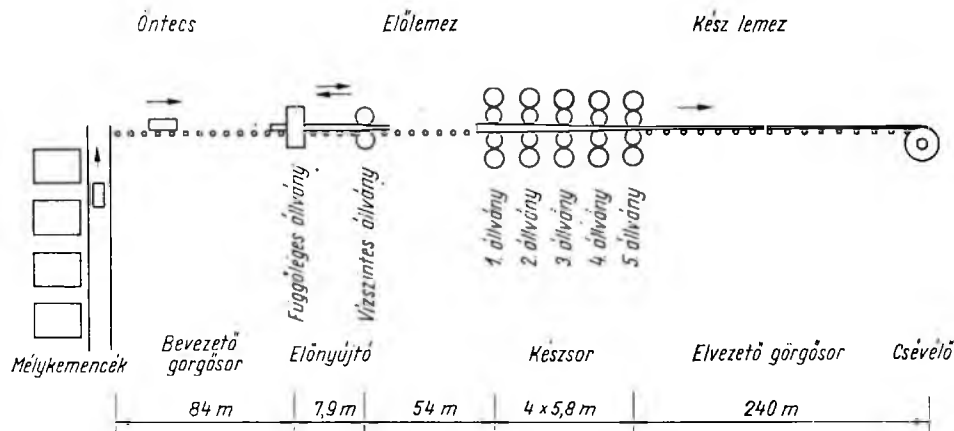
1. Bevezetés

A VKI évek óta folyamatosan foglalkozik hengerművek villamos hajtásainak és szabályozásainak fejlesztésével. E területen jelenleg és a következő években a Dunai Vasmű Meleghengerművének rekonstrukciós munkáiban veszünk részt.

A D. V. Meleghengerművében az ország acéltermelésének közel egyharmadát, kb. évi 1,2 millió tonna acélt dolgoznak fel melegen hengerelt lemezzé. Az 1960-ban üzembe helyezett hengermű jelenlegi technológiai folyamata a következő:

Az acélműben kb. $1700 \times 1100 \times 500$ mm méretű kokillákba öntik az acélt, majd az acél dermedése után a kokillákat lehúzzák és a max. 7,5 t tömegű öntecseket a meleghengermű gázfűtésű mélykemencéiben kb. 1200°C -ra hevítik. Az öntecseket a bevezető görgősorokon az előnyújtóhoz szállítják. Az előnyújtó egy vízszintes és egy függőleges hengerállványból áll. Az előnyújtón az öntecset többször keresztülengedik előre és hátra irányban, miközben a vízszintes hengerek hengerrését minden átfutás (szúrás) után kisebbre állítják. A függőleges hengerekkel a lemez szélességi méretét szabályozzák. A vízszintes hengerek között történő 13...17 szúrás után az öntecsből 25...30 mm vastag 30...40 m hosszú előlemez lesz, amely görgősoron keresztül a készsorba kerül.

A készsor jelenleg öt hengerállványból áll (1-1. ábra). Az állványok kvartó elrendezésűek, tehát a két vízszintes helyzetű, 650 mm átmérőjű munkahengereken kívül a kihajlás ellen 2 db 1200 mm átmérőjű támhengert is tartalmaznak. A hengerek palásthosszúsága 1700 mm.



1-1. ábra. A meleghengermű technológiai elrendezése

A készsoron az anyag csak egyszer halad keresztül és a bevezetés után a lemezt egyszerre hengerli mind az öt állvány. A kifutó kész lemez vastagsága a hengerlési programoktól függően 2...5 mm, hossza a 400 m-t is elérheti. A készsorból kifutó lemezt az utolsó állvány sebességével szinkronban futó, elvezető görgősor viszi a csévéllőkhöz, amelyek a lemezt tekercsekbe csévelik.

A következő években a meleghengermű hengerlési teljesítményét kb. a kétszeresére kívánják növelni új hengersor építése nélkül a következő fejlesztésekkel:

A hengerlés nem öntecsből, hanem kb. 180 mm vastag, max. 15 t tömegű öntött bugából indul. A bugák a folyamatos acélöntőműből érkeznek, és azokat a meleg-

hengerműben mélykemencék helyett tolokemencékben fogják felhevíteni, tehát az előnyújtósornak vékonyabb méretből kell az előlemez kihengerelni és a készsori fejlesztések következtében az előlemez is vastagabb lehet. Ezek csökkentik az előnyújtón történő hengerlési szúrások számát, amit még tovább csökkent az, hogy az eredeti 4600 kW-os, vízszintes sorvonómotort 6200 kW teljesítményű és ilyen arányban nagyobb nyomatékú motorra cserélték ki. A Ward—Leonard rendszerű hajtás a korábbi amplitudines szabályozórendszer helyett VKI tervezésű és szállítású tirisztoros gerjesztőköri szabályozóval van felszerelve, amely a motor irányváltását 1 s-nál rövidebb idő alatt valósítja meg, nagy mértékben csökkentve ezzel a hengerlési mellékidőket. Tovább csökkenti a hengerlési mellékidőket a kb. kétszeres bugatömeg, az előnyújtó körüli segédhajtások tirisztorizálása és automatizálása (görgősorok, terelőlécek, hengerállítás, stb.).

A készsor öt hengerállványán az eredeti 2570 kW-os motorokat 5200 kW-os ikermotorokra cserélik ki. A motorok higanykatódos egyenirányítói helyett tirisztoros áramirányítókat alkalmaznak, és a sort két ugyanilyen teljesítményű hajtással hétállványosra bővítik. A sor végsebessége a jelenlegi max. 9 m/s végsebességről 15 m/s-ra fog növekedni. A nagyobb sebesség és a mellékidők csökkenése a darabok nagyobb tömege következtében a sor teljesítőképességét kb. kétszeresére növeli. Az elvezető görgősorot az új végsebességnek megfelelően kicserélik. A csévélok cseréje már megtörtént, azok alkalmasak a nagyobb sebességgel érkező lemez fogadására és max. 15 t tömegű csévék készítésére.

E rekonstrukció előkészítése során a villamos hajtások és szabályozások szakterületén a VKI a Ganz Villamossági Művekkel és a KOGÉPTERV-vel együttműködve tanulmánytervetet szolgáltatott, amelyek elősegítették az optimális megoldás kiválasztását. A gyakorlati megvalósításban is részt veszünk, a következőkben a szállítás alatt levő hajtások közül néhányat ismertetünk.

2. Előnyújtósor függőleges állványának főhajtása

A két függőleges tengelyű hengert eredetileg kardántengelyeken és kúpfogaskerék-áttételeken keresztül 1 db egyenáramú motor hajtotta Ward—Leonard rendszerben, amplitudines szabályozóberendezéssel. A rekonstrukció során a függőleges állvány tetejére két függőleges tengelyű 724 kW teljesítményű Ganz gyártmányú motor kerül, amelyek kardántengelyeken keresztül közvetlenül hajtják a hengereket.

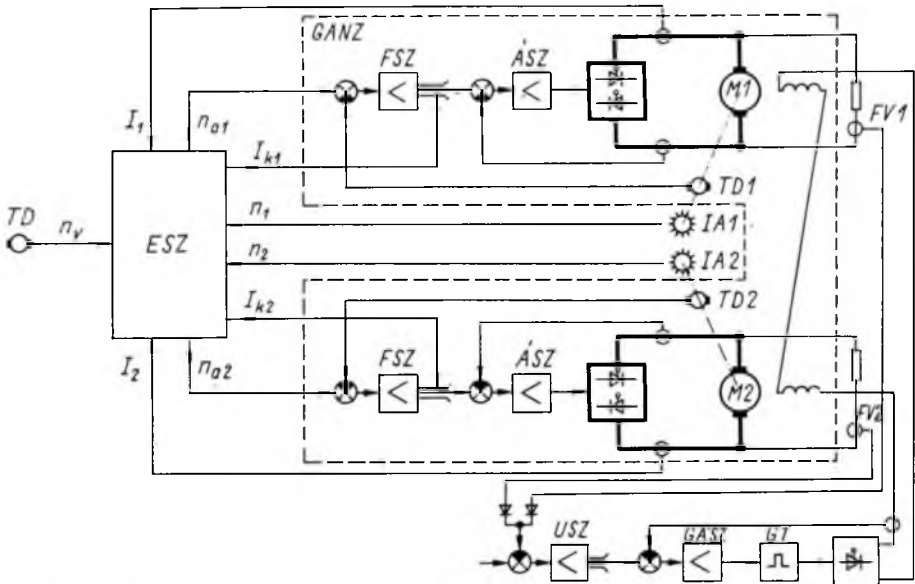
A függőleges állvány főhajtásának szabályozása összetett feladat. A motor terhelése lökészerű, nagysága a hengerelt anyag méreteitől, alakítási tulajdonságaitól és a szúrás nagyságától függ. A terhelésekből és a gyorsításokból adódó nyomatékok elérhetik az áramkorlátozási értéket is, amely a névleges nyomaték 2,5-szerese. A motorok névleges fordulatszáma 50 ford/min, ezt mezőyengítéssel kétszeresére lehet növelni. A vízszintes hengerállvánnyal való együttfutás érdekében a hajtásnak jó dinamikai tulajdonságokkal kell rendelkeznie, pl. 1 s-on belül kell irányt váltania.

A két motor együttfutását nagy pontossággal kell biztosítani, egyébként a hengerelt anyag elhajlik és nekimegy a terelőlécnak, vagy a vízszintes hengerállványba nem középen, a hengerekre nem merőlegesen fut be, ami lehetetlenné teszi a normális hengerlést.

A függőleges állvánnyal történő hengerlésnél egyes esetekben az anyag már belenyúlik a vízszintes hengerállványba is. A két állvány együttfutásával kell biztosítani, hogy a hengerelt anyagban se hurok, se nagy feszítés ne keletkezzék. Ez azt jelenti, hogy előre irányuló hengerlés esetén a függőleges állványból kilépő anyag sebessége

legyen egyenlő a vízszintes állványba belépő anyag sebességével, hátra irányú hengerlés esetén pedig a vízszintes állványból kifutó anyag sebessége egyezzen meg a függőleges állványba belépő anyag sebességével.

E feltétel pontos teljesítése igen nehéz feladat, mert az állványokból kilépő, ill. belépő anyag sebességét sok paraméter határozza meg, pl. a hengerek kerületi sebessége, a szűrés nagysága, a hengerátmérők, a hengerelt anyag alakíthatósági tulajdonságai, sűrűlódás a hengerek és az anyag közt stb. A függőleges állványba be-, ill. onnan kilépő anyag sebessége és a vízszintes állványból kilépő anyag sebessége közelítőleg megegyezik a hengerek kerületi sebességével. A vízszintes állványba belépő anyag sebessége viszont az alakítás mértékétől függően kisebb, mint a hengerek kerületi sebessége. A leírt követelményeket kielégítő szabályozás blokkvázlata az 1-2. ábrán látható.

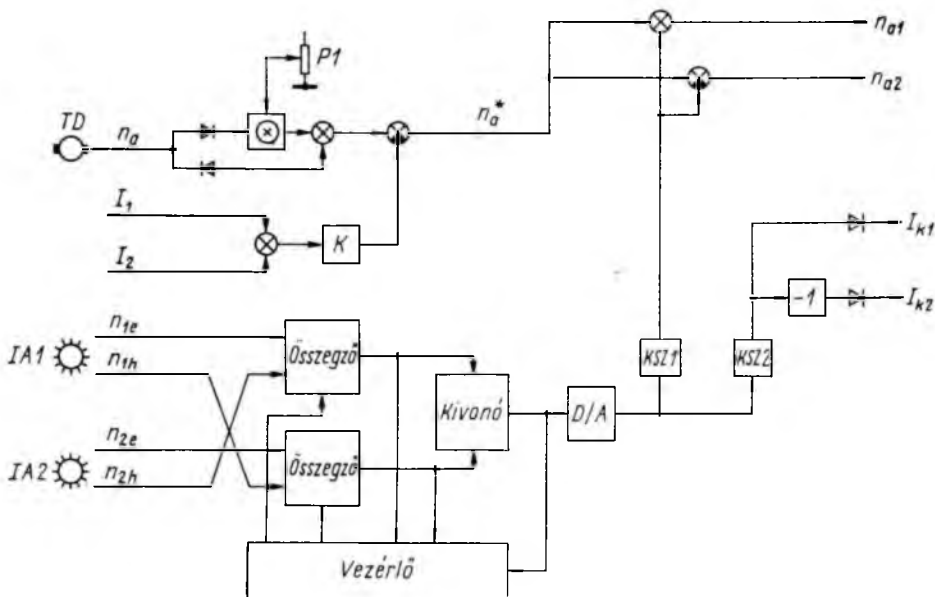


1-2. ábra. A függőleges állvány motorjainak szabályozási vázlata

Az $M1$ és $M2$ motorokat külön-külön áramirányító táplálja, amelyek mindegyike saját fordulatszám- és áramszabályozó körrel rendelkezik. A két komplett fordulatszám-szabályozott hajtást a Ganz szállítja. A hajtások részére az alapjeleket és a gerjesztésszabályozást a VKI biztosítja. A névleges fordulatszám eléréséig a fordulatszám-szabályozás a kapcsolófeszültség változtatásával történik. Ebben a tartományban az USZ szabályozó kimenőjele a korlátozással beállított értékű, és a $GÁSZ$ szabályozó a névleges gerjesztőáramra szabályoz. Névlegesnél nagyobb fordulatszám esetén a főáramköri FSZ fordulatszám-szabályozók a névleges kapcsolófeszültség fölé akarják növelni a motorok kapcsolófeszültségét, az USZ feszültség-szabályozó azonban ilyenkor állandó kapcsolófeszültségre szabályoz és a motorok gerjesztésének csökkentésével állítja elő a kívánt fordulatszámértéket. A két motor egymással és a vízszintes főhajtással való együttfutását az ESZ együttfutás-szabályozó biztosítja.

Az együttfutás-szabályozó blokkdiagramja az 1-3. ábrán látható. A függőleges állvány két motorjának nagy pontosságú együttfutását digitális szabályozás biztosítja.

Az $IA1$, ill. $IA2$ impulzusadók két csatornán, előre irányú forgás esetén az n_{1e} és n_{2e} impulzusokat, hátra irányú forgás esetén az n_{1h} és n_{2h} impulzusokat szolgáltatják. Az impulzusadók fordulatonként 1000 impulzust adnak. A két motor szögelfordulásának előjelhelyes különbségképzése az 1-3. ábrán látható módon történik. A vezérlőegység biztosítja, hogy az összegezők ne csorduljanak túl, oly módon, hogy egy adott érték elérése után a különbség előjelének megfelelően az egyik összegezőbe az alapállapotot, a másik összegezőbe pedig a kivonás pillanatnyi eredményét írja be. Ily módon az összegező viszonylag kisebb tároló kapacitásával is biztosítható, hogy a D/A váltó kimenetén mindig a két henger szögkülönbségével arányos jel jelenjen meg.



1-3. ábra. A függőleges állvány együttfutás-szabályozó rendszere

A $KSZ1$ különbségszabályozó úgy módosítja a motorok n_{a1} , ill. n_{a2} fordulatszám-alapjelét, hogy a szögelfordulás különbsége mindig 0 legyen.

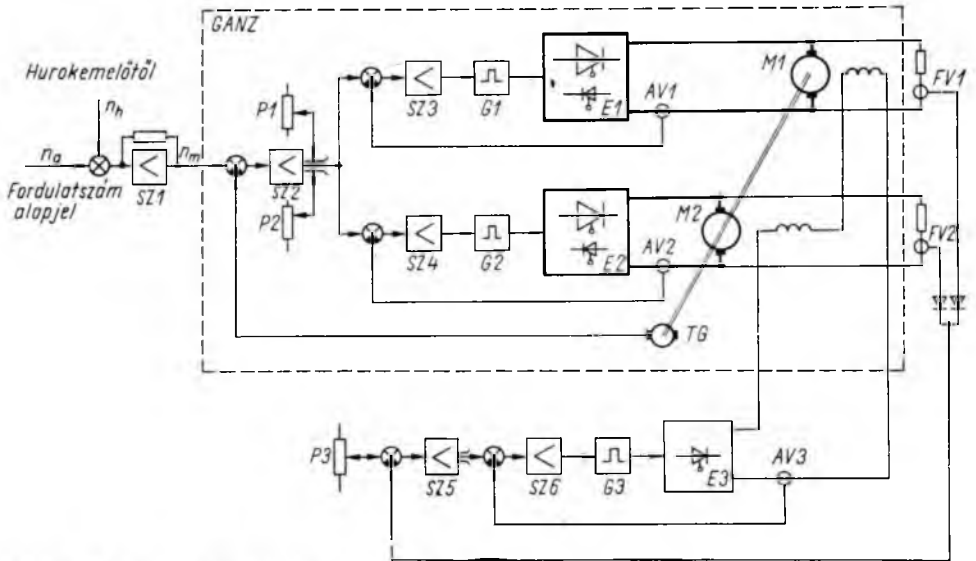
A fordulatszám-alapjelek módosítása csak olyankor hatásos, ha a hajtások nem az áramkorlátozási tartományban üzemelnek, ezért a $KSZ2$ szabályozó úgy csökkenti a különbség előjelétől függően vagy az I_{k1} , vagy az I_{k2} áramkorlátozási küszöb értékét, hogy a motorok együttfutása az áramkorlátozási tartományban is biztosítható legyen.

A függőleges hajtásnak a vízszintes hajtást kell követnie. Az n_a vezetőjelet a vízszintes hajtás TD tachométerdinamója szolgáltatja. Előre irányú hengerléskor a vízszintes hajtásnak kell kismértékben húznia az anyagot, hátra irányú hengerléskor pedig a függőlegesnek. Előre irányú hengerléskor a vízszintes és függőleges állvány hengereinek kerületi sebessége — a már elmondottaknak megfelelően — a vízszintes állványban történő alakítás miatt jelentősen különbözik. Az alakítás mértékével arányos jelet a $P1$ potenciométerrel lehet beállítani. Mivel mind a vízszintes, mind a függőleges hajtás jó minőségű fordulatszám-szabályozással van felszerelve, ezért terhelési karakterisztikájuk merev, a terhelés hatására a fordulatszám gyakorlatilag

nem változik. Ez azt eredményezi, hogy a hengerlési sebesség kismértékű eltérése is az anyagban jelentős húzást, ill. tolást okoz. Ennek elkerülésére célszerű a függőleges hajtás terhelési jelleggörbéjét lágyabbá tenni. Ezt a célt szolgálja a K erősítő, amelynek kimenőjele a két függőleges hajtás áramának az összegével arányos. Ez az áramtól függő, tehát a függőleges hajtás terhelésével arányos jel csökkenti a függőleges hajtások közös n_* fordulatszám alapjelét. Így a függőleges hajtás jelleggörbéje lágyabbá tehető.

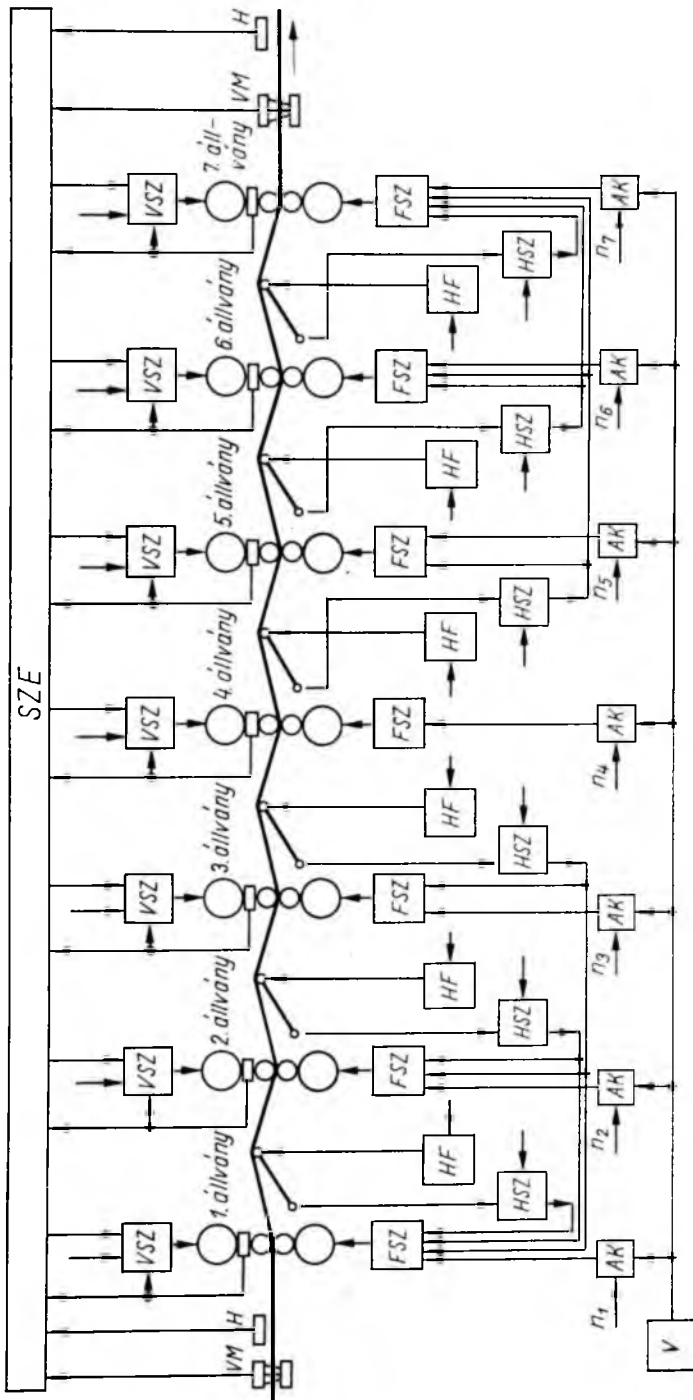
3. Kézsori főhajtások

Egy hengerállvány alsó és felső munkahengerét a közös tengelyen levő ikermotor hajtja. Az ikermotor két forgórészét az 1-4. ábrán látható módon két független tirisztoros áramirányító táplálja, amelyek ellenpárhuzamos kapcsolású egyenirányítók tartalmaznak. A két ellenpárhuzamos egyenirányító közül az egyik csak a darab kifutása utáni fékezésre, vészfékezésre és esetenként a sor hátrafelé irányú, lassú forgatására szolgál, ezért teljesítménye kb. 1/3-a az üzemi egyenirányító teljesít-



1-4. ábra. A kézsori főhajtások szabályozási vázlata

ményének. Az ikermotor $E1$ és $E2$ áramirányítóját 10 kV-ról táplált, két szekunder tekercselésű transzformátor látja el feszültséggel. A hálózati felharmonikusok csökkentésére a transzformátor egyik szekunder tekercselése delta, a másik pedig csillag kapcsolású. A motorok névleges kapocsfeszültsége 765 V, névleges áramuk 3200 A, és kétszeresen túlterhelhetők. Maximális fordulatszámukat kb. kétszeres mezőgyengítéssel érik el. A motorokat, a főáramköri áramirányítókat, ill. azok áram- és fordulatszám-szabályozó egységeit a Ganz Villamossági Művek szállítja, a gerjesztőköri és a technológiai szabályozót a VKI. A gerjesztésszabályozás felépítése azonos a függőleges hajtásnál elmondottakkal.



1-5. ábra. A készsori állványok együttműködés- és vastagságszabályozó rendszere

A sor együttfutás-szabályozási vázlata hét állvány esetére az 1-5. ábrán látható. Az állványok között egyenáramú nyomatékmotorokkal mozgatott hurok feszítő karok vannak, amelyeknek az a feladata, hogy két állvány között a szalagban állandó feszítőerőt tartsanak. Ezeket a hajtásokat a hozzájuk tartozó szalagfeszítés-szabályozással együtt az ábrán *HF*-fel jelöltük.

Az állványhajtó motorok fordulatszám-szabályozással ellátott hajtását *FSZ*-szel jelöltük. E hajtások számára a fordulatszám-alapjelet az *AK* egységek szolgáltatják. Az *AK* egységekbe a hengerlési program szűrősterveinek megfelelően az egyes állványokra megadott alapfordulatszámokat kézzel vagy a későbbiekben számítógép segítségével lehet beadni.

A hengerlés során az egyes állványok beállított fordulatszámát különböző okok miatt — ha pl. a bejövő anyag vastagsága, hőmérséklete vagy valamelyik állvány hengerrése eltér a tervezettől — változtatni kell, mert enélkül az állványok között túl nagy hurok vagy túl nagy anyagfeszítés, esetleg szakadás keletkezne. A nagy hengerlési sebességek következtében a beavatkozást igen gyorsan és pontosan kell elvégezni. Ezt a feladatot a *HSZ* hurokszabályozók látják el, amelyek érzékelik a hurok feszítő karok helyzetét és ezek állásától függően folyamatosan módosítják az előttük levő vagy az utánuk következő hajtások beállított fordulatszámát, amellyel állandó huroknagyságra szabályoznak.

A hétállványos sor teljes kiépítése után további automatizálással a kész lemez méretpontosságát lehet javítani. Ennek egyik módja a folyamatos vastagságszabályozás. Az *SZE* jelű számítógépszelemben folyamatosan érkeznek az adatok a sorhoz érkező anyag vastagságáról, hőmérsékletéről, az egyes állványokban fellépő hengerlési erőkről, és a kifutó lemez vastagságáról, hőmérsékletéről. Ezek alapján az *SZE* egység beavatkozási parancsokat ad ki az állványokon levő *VSZ* hengerállító hajtásoknak a hengerrések módosítására úgy, hogy a kifutó anyag vastagsága a hengerlés során állandó maradjon.

A méretpontosság javításának másik módja a hengerlési technológia módosítása. Egy anyag hengerlési ideje a készsoron kb. 1,5 min, tehát a lemez vége ennyivel később kerül a hengerek alá, mint az eleje. Ez az időkülönbség a lemez hűlése miatt hőmérséklet-különbséget okoz a lemez eleje és vége között. A hidegedő lemez jobban szétfeszíti a hengerállványokban a hengerrést és ezért a hengerrések módosítása nélkül a lemez vastagsága az elejétől a végéig folyamatosan növekszik. Ha a lemezt csak kb. fél sebességgel kezdik hengerelni, majd a sebességet egyenletesen úgy növelik, hogy a hengerlés befejezésekor a sebesség megközelítse a maximális értéket, akkor a hengerléskor az anyagba bevitt alakítási teljesítmény a szalag hengerlése során folyamatosan nő, és ezzel kompenzálni lehet a lehülést. Ezt nevezik felgyorsítós hengerlésnek és az 1-5. ábrán ezt a feladatot a *V*-vel jelölt egység irányítja.

Az eddig elmondottakkal érzékeltetni kívántuk, hogy a hengerművi technológiák milyen magas követelményeket támasztanak a szabályozóberendezésekkel szemben. A hengersor néhány napos karbantartási leállás kivételével egész évben folyamatosan üzemel, a váratlan meghibásodások okozta leállás óránként több millió forintos termelés kiesést jelent, ezért a szabályozórendszerek tervezése és kivitelezése során rendkívül fontos szempont a maximális üzembiztonság.

2.

Frekvenciaátalakító fejlesztése aszinkron motoros járműhajtások céljára

BENCZE JÁNOS—BOGOSI GYÖRGY—LÁSZLÓ JÁNOS

ÖSSZEFOGLALÁS

Az aszinkron vontatómotoros járműhajtások céljára készülő frekvenciaátalakítókat annak figyelembevételével kell kialakítani, hogy a rendelkezésre álló tápfeszültség fix egyenfeszültség, és a nulla fordulatszám körüli nyomatékot jól kézben kell tudni tartani. Ezek a körülmények részben meghatározó jellegűek a teljesítmény-áramkörök és vezérlési mód kialakítására nézve. A cikk ismerteti a KGM célprogramok kapcsán elért eredményeket, és a kutatás tapasztalataiból levonható fontosabb következtetéseket.

РАЗРАБОТКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПРИВОДА ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Я. Бенце—Д. Богоши—Я. Ласло

Резюме

При разработке преобразователей частоты для привода транспортными средствами с асинхронным двигателем следует учитывать, что питание есть постоянное напряжение постоянного тока, и момент около нулевого оборота имеет важное значение. Эти и частично являются определяющим условиям при образовании мощных схем и режима управления. Статья излагает результаты, связанные с целовыми программами Министерства Metallургии и Машиностроения.

ENTWICKLUNG EINES WECHSELRICHTERS MIT ASYNCHRONMOTOR FÜR FAHRZEUGANTRIEBE

J. Bencze—Gy. Bogosi—J. László

Zusammenfassung

Bei der Entwicklung des Wechselrichters für Asynchronmotor-Fahrzeugantriebe ist zu beachten, dass die verfügbare Fahrdrachtspannung eine praktisch konstante Gleichspannung ist und das Drehmoment im nahen Bereich der Drehzahl Null gut geregelt werden muss. Diese Umstände sind bei der Entwicklung der Leistungskreise und der Steuerungsart von bestimmenden Charakter. Der Artikel erläutert die im Laufe eines Zielprogrammes des Ministeriums für Metallurgie und Maschinenbau erreichten Ergebnisse und die aus den Forschungserfahrungen zu ziehenden wichtigeren Schlüsse.

DEVELOPMENT OF DC-AC CONVERTERS USED IN VEHICLES DRIVEN BY ASYNCHRONOUS MOTORS

By I. Bencze—Gy. Bogosi—J. László

Summary

In designing dc-ac converters used for driving vehicles equipped with asynchronous traction motors one must take into consideration that available supply voltage is a fixed dc. voltage, and driving moment around zero speed has to be kept well under control. These conditions are partly determining the design of power circuits and control method. Mention is made of results achieved through a special program of the Ministry of Metallurgy and Machine Industry as well as of some important conclusions that can be drawn from research experience.

1. Bevezetés

Frekvenciaátalakítóról táplált aszinkron motorral a legnagyobb igényeket is kielégítő hajtások készíthetők. Alkalmazásuk ma még magas árak miatt olyan területekre korlátozódik, ahol az egyszerű és robusztus kalickás aszinkron motor előnyei döntőek (pl. robbanásveszélyes, agresszív anyagokat tartalmazó környezet, kis karbantartási igény, nagy fordulatszám). A vontatást is ide sorolhatjuk, ahol az aszinkron vontatómotor növekvő jelentőségét kísérleti járművek sora bizonyítja: akkumulátoros mozdony; dízel villamos mozdony; váltakozóáramú felsővezetékéről táplált villamos mozdony; egyenáramú felsővezetékéről táplált elővárosi motorvonat és közúti villamos [1], [2], [3], [4], [5] és [7].

Az aszinkron vontatómotor kisebb és könnyebb az azonos teljesítményű egyenáramú vontatómotornál, ezáltal a rugózatlan tömegek is csökkennek. Forgórészének nagyobb lehet a kerületi sebessége, mert hiányzik a kommutátor és nincs szeletfeszültség, ill. reakanciafeszültség-határ. Kicsi a karbantartási igénye, és a mezőgyengítés mértékét nem korlátozza a körtűzveszély. Ilyen üzemben is megengedhetők nagy áramok, ami közúti motorkocsi fékezésekor, ill. vészfékezésekor előnyös. A fluktuációmentés nem igényel külön beavatkozást, elegendő állandó feszültség mellett a frekvenciát növelni.

Az inverterről táplált motor sokban eltér a szokásosan, állandó feszültséggel és 50 Hz-el táplált motortól. A motor feszültségét és frekvenciáját egymástól függetlenül szabályozhatjuk. Így pl. az egész fordulatszám-tartományban nagy nyomatékot érhetünk el, ha az inverteres táplálással a teljes fluxust létrehozuk a gépben. A hajtás fordulatszám—nyomaték jelleggörbáját a vontatás követelményének megfelelően alakíthatjuk ki.

Az inverteres hajtásban a menetüzemről féküzemre való áttérés, valamint az irányváltás nem igényel főáramkörüi átkapcsolást. Az üzemmódváltás a vezérlésben egyszerűen elvégezhető.

A VKI 2. Főosztályán kétféle jármű vonatkozásában folynak kísérletek inverteres aszinkron motoros hajtással. Az IK 260/2 hibrid autóbusszal a futási próbákat végezzük, 1977 végére pedig egy 3600 psz. közúti villamost szerelünk fel ilyen hajtással. A hibrid autóbussz hajtásának fő adatai:

Motor:

EVIG, RHX 225 V 2 típusú, háromfázisú kalickás motor

$U=200$ V, $P=81$ kW, $I=275$ A, $n=2950$ /min $\cos \varphi=0,93$, $n_{\max}=5900$ f/min
100 Hz-en.

Inverter:

$P = 100 \text{ kW}$, $f_{ki} = 0 \dots 100 \text{ Hz}$,
 $U_{ki} = 0 \dots 200 \text{ V}_{\sim}$ (háromfázisú),
 $U_{be} = 320 \text{ V} = (300 \dots 390 \text{ V})$.

Indítónyomaték:

470 Nm, ehhez 495 A_{eff} motoráram tartozik, az indítási szakasz 22 km/h sebességig tart.

A futási próbák során elért legnagyobb sebesség:

54 km/h, ami 90 Hz frekvenciának felel meg, a gyorsulás kb. 0,5 m/s².

A villamoson az egy forgóvázhoz tartozó két egyenáramú motort váltják ki az egyenként 37 kW-os négy pólusú kalickás motorok. A két motor párhuzamosan kapcsolódik a közös inverterre, amelynek fő adatai:

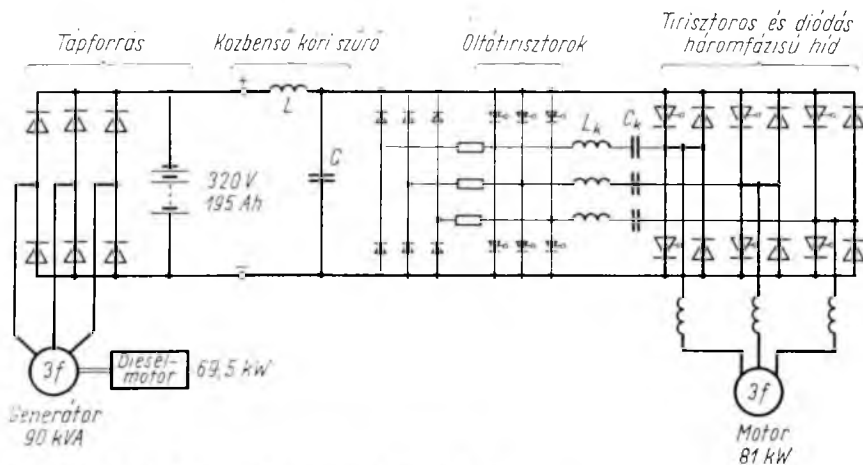
$P = 150 \text{ kW}$, $f_{ki} = 0 \dots 100 \text{ Hz}$,
 $U_{ki} = 0 \dots 380 \text{ V}_{\sim}$ (háromfázisú)
 $U_{be} = 600 \text{ V} = (400 \text{ V} \dots 720 \text{ V})$,

motor adatai: RZ 225 S4 tip.

$U = 380 \text{ V}$, $P = 37 \text{ kW}$, $n = 1470 \text{ f/min}$.

2. Frekvenciaátalakító

A hibrid autóbusz és a közúti villamos tápfeszültsége állandó egyenfeszültség, ebből háromfázisú inverter állít elő változtatható frekvenciájú és amplitúdójú váltakozófeszültséget az aszinkron motor táplálására. A váltakozófeszültség nagyságát impulzusvezérléssel változtatjuk: az inverter-tirisztorokat a motorfrekvencia félpériódusa alatt többször be- és kikapcsoljuk, miáltal a kimeneti feszültség közéértéke a bekapcsolási viszony függvényében változik. Az alsó frekvenciatartományban — a busznál 0...22 Hz között — az impulzusok szélességét szinuszosan változtatjuk. Az impulzusmodulációhoz szükséges nagy frekvenciát a McMurray-féle inverter-kapcsolással valósíthatjuk meg (2-1. ábra).



2-1. ábra. Hibrid autóbusz főáramköri kapcsolása

A kapcsolás működése az irodalomban [6] megtalálható. Az oltóáram félszínusz alakú, nagysága a terhelőáramtól független, a tápegyenfeszültséggel arányos. $C_k = 210 \mu\text{F}$ és $L_k = 15 \mu\text{H}$ adatokkal 320 V egyenfeszültség mellett az oltóáram csúcserőértéke 1190 A, a félperiódus-idő 180 μs . Az oltóáram biztonsággal nagyobb, mint a legnagyobb terhelőáram csúcserőértéke ($I_{t\max} = 1,20 \cdot \sqrt{2} \cdot 495 \text{ A} = 840 \text{ A}$, ahol a 20%-os növeléssel az impulzusvezérlés miatti áramhullámosságot vesszük figyelembe). A legnagyobb terhelésnél a kíméleti idő 50 μs , ami szintén biztonsággal nagyobb az alkalmazott Siemens BSt N 4460 gyorsirisztor 30 μs szabaddáválási idejénél.

A motor vonali árama egy inverterfázisban két tirisztor és két dióda között oszlik meg a fázistényezőitől és az inverter kivezéréseinek mértékétől függően. Motoros üzemben a tirisztorok árama — állandó motoráram mellett — növekvő $\cos \varphi$ -vel és növekvő kivezérléssel nő, visszatáplálás esetén a viszonyok fordítottak.

A közbenső köri LC szűrő a hálózati áram hullámosságának csökkentése, a fékenergia egy részének tárolása és a túlfeszültségvédelmet betöltő szerepe mellett biztosítja $C = 25\,200 \mu\text{F}$ kapacitásával az inverter impulzus alakú áramfelvételét. A kapacitás nagyságát az elektrolitkondenzátorok megengedett váltakozóáramú terhelhetősége szabja meg. Az autóbusz invertere a maximális árammal történő gyorsítás utolsó szakaszán — kb. 25 Hz motorfrekvenciánál — 250 A_{eff}, 400 Hz frekvenciájú árammal terheli a kondenzátortelepet.

3. Vezérlés, szabályozás

3.1 Alapelvek

A hajtás fordulatszám-szabályozást nem tartalmaz. A szabályozókör a motor áramát és az f_2 forgórészfrekvenciát állítja be. E két mennyiség együttesen meghatározza a gép nyomatékát, a nagyságuk — a névleges pont alatt — a fordulatszámától független lehet, a nyomaték állandó értéken tartható.

A vontatásban megkívánt nagy indítónyomaték előállítására a motort teljes fluxussal kell üzemeltetni. A névleges fluxus fenntartásához a primer áramot a forgórészfrekvencia függvényében kell beállítani. Az aszinkron gép alapegyenleteiből levezetett összefüggés szerint:

$$\Phi_1 = \Phi_{1n},$$

ha

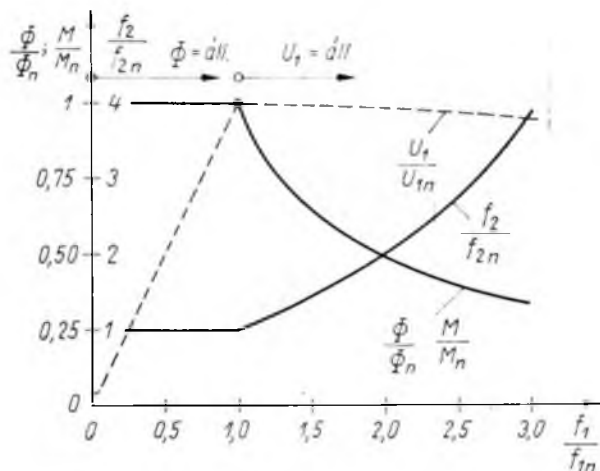
$$I_1 = I_{1n} \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{f_2}{50} \frac{x_{2n}}{R_2}\right)^2}{1 + \left(\sigma \frac{f_2}{50} \frac{x_{2n}}{R_2}\right)^2}}, \quad (1)$$

ahol I_{1n} a névleges fluxushoz tartozó mágnesezőáram, σ a szórási tényező. A motor nyomatéka így:

$$M = M_{bn} \cdot 2 \cdot \frac{\sigma \frac{f_2}{50} \frac{x_{2n}}{R_2}}{1 + \left(\sigma \frac{f_2}{50} \frac{x_{2n}}{R_2}\right)^2} \quad (2)$$

ahol M_{bn} a névleges fluxushoz tartozó billenőnyomaték.

Az (1) képlettel megadott motoráram beállításához a kapcsolófeszültséget a frekvenciával közel arányosan növelni kell. Mivel a frekvenciaváltó kimeneti feszültsége korlátozott, a kívánt értéket csak adott fordulatszámig tudja biztosítani (névleges pont), fölötté a gép mezőgyengítéssel üzemel. Kapocsfeszültsége állandó, a fordulatszám növelésével fluxusa hiperbolikusan csökken. Ha a forgórészfrekvenciát nem változtatjuk, az áram és a teljesítmény hiperbolikusan, a nyomaték $1/n^2$ szerint csökken. A billenőszlip eléréséig f_2 növelésével a motoráram és a teljesítmény közel állandó értéken tartható, a nyomatékcsökkenés hiperbolikus. A kialakuló jelleggörbéket a 2-2. ábra mutatja.



2-2. ábra. Frekvenciaváltóról táplált aszinkron motor Φ fluxusa, M nyomatéka, U_1 kapcsolófeszültsége és f_2 forgórész-frekvenciája az f_1 primer frekvencia függvényében (a névleges értékre vonatkoztatva)

Generátoros féküzem a frekvencia kismértékű csökkentésével áll elő. Az inverter a motor által visszatáplált energiát az egyenáramú körbe juttatja vissza. Itt a fékenergia tárolását (akkumulátor) vagy felemesztését (fékellenállás) biztosítani kell. A generátoros féküzem nyomaték- és teljesítményviszonyai a motoros üzeméhez hasonlóak. Mivel az állórész soros impedanciáján létrejövő feszültség a motor belső feszültségét a kapcsolófeszültséghez képest megnöveli, a névleges pont nagyobb fordulatszámnál adódik és a mezőgyengítés tartományában a nyomatékcsökkenés kisebb mértékű, mint motoros üzemben.

3.2 Szabályozókör

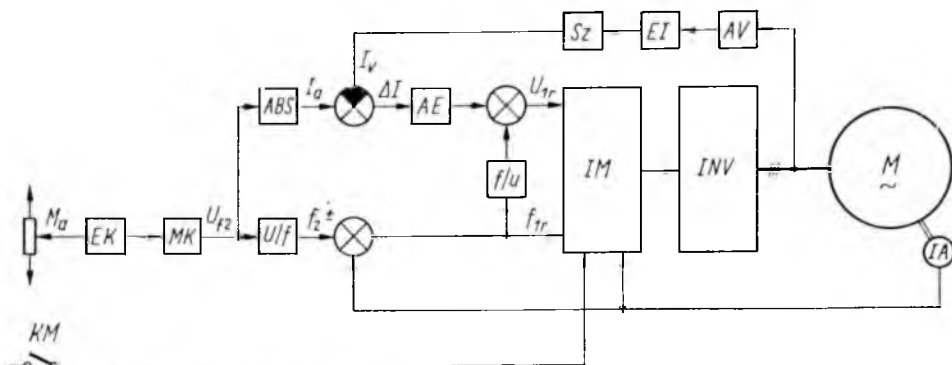
A szabályozás felépítését a 2-3. ábra mutatja. A kör két parallel hurkot tartalmaz. Egyik a primer frekvencia változtatásával az f_2 forgórészfrekvenciát, másik a kapcsolófeszültség változtatásával az I_1 motoráramot állítja be. Mindkettő bemenőjelét a menetszabályozó M_a nyomaték-alapjele adja. Az alapjel nagyságát és meredekségét EK és MK áramkörök korlátozzák.

A forgásirány kiválasztása a KM menetirány kapcsolóval a motor álló állapotában végezhető. KM átkapcsolásával az IM vezérlő elektronikában történik fázissorrendcsere.

Az f_1 primer frekvencia a motor tényleges fordulatszámához rendelt f_n forgási frekvencia és a kívánt f_2 forgórészfrekvencia összegeként áll elő:

$$f_1 = f_n \pm f_2, \text{ ahol } f_n = \frac{pn}{60}.$$

Menetüzemben f_2 hozzáadódik, féküzemben levonódik f_n -ből.



2-3. ábra. Szabályozás blokkvázlata

A primer frekvenciát létesítő hurok körerősítését pontosan egységnyire kell beállítani. A forgórészfrekvencia f_1 és f_n tényleges értékeinek különbségéből áll elő. A különbségképzés miatt kis eltérések is jelentős hibát okoznak f_2 -ben, különösen nagyobb fordulatszámok esetén.

Ha a hurokerősítés egynél nagyobb, f_2 nagyobb lesz, mint az alapjellel előírt. Az áramszabályozás a motoráramot továbbra is az alapjellek megfelelő értékre állítja be, a motor mezoenyengítéses üzembe kerül, a nyomaték jelentősen csökkenhet.

Egynél kisebb körerősítésnél a szlip az előírtnál kisebb lesz. Ez a hiba nagyságától és az áramszabályozás beállításától függően a nyomaték növekedését és csökkenését is okozhatja. Kis alapjelleknél a negatív irányú eltérés a szlip előjelének megváltozását, féküzemet is előidézhet.

A körerősítés pontos beállítására a motor fordulatszámát impulzusadóval frekvenciaként mértük és vezettük vissza, f_n és f_2 jelek összegezését is frekvencia formájában végeztük. Ehhez az M_a alapjelleből analóg feszültségként előállított U_{f2} jelet feszültség—frekvencia váltoval alakítottuk át f_2 frekvenciává. A körerősítést az impulzusadó osztásszáma, az előrevezető ágban alkalmazott frekvenciaosztás és a motor pólusszáma jelenti. Az átviteli tényezők megváltozása, nemlinearitás- és drift-problémák nem jelentkeznek, a körerősítés pontosan beállítható.

Az áramszabályozás alapjelét az ABS abszolútérték-képző az U_{f2} szlipjelleből az (1) egyenlet szerint képezi.

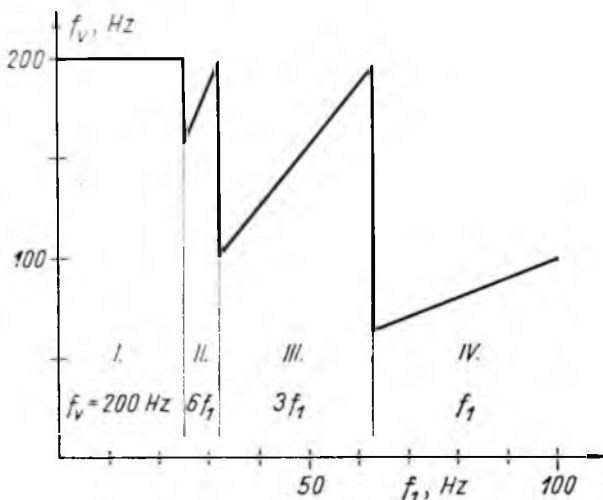
A visszavezetett jelet az AV áramváltó adja EI egyenirányítón és SZ szűrőn keresztül. Mivel a motor primer frekvenciája 0...100 Hz tartományban változik, egyen-áramú áramváltót kell alkalmazni, amelynek biztosítania kell a legnagyobb motorfrekvenciákon is az alakhű jelátvitelt.

Az arányos-integráló jellegű AE áramszabályozó erősítő kimenőjelét az f_1 frekvenciával arányos mennyiséggel megnöveljük. Ez a zavarkompenzálás a primer frekvenciával arányos kapocsfeszültség beállítását végzi, az áramszabályozást tehermentesíti.

Az előállított U_{1r} és f_{1r} kapcsolófeszültség és frekvencia mint rendelkezőjelek vezérlik az *IM* impulzusmodulációs áramkört, amely az inverter tirisztorainak gyűjtését vezérli. Itt történik a fázissorrend beállítása és az inverter indítása, leállítása is.

3.3 Impulzusmoduláció

Az állandó egyenfeszültségről táplált inverter kimeneti feszültségét impulzusvezérléssel szabályozzuk. Az impulzusvezérlés szempontjából a teljes, 0...100 Hz motorfrekvencia-tartomány négy részre osztható.



2-4. ábra. Vivőfrekvencia változása a motorfrekvencia függvényében

A legkisebb frekvenciákhoz tartozó I. tartományban (2-4. ábra) a lüktető motornyomatékok kiküszöbölésére szinuszos modulációt alkalmazunk. Ehhez szimmetrikus, háromfázisú, változtatható frekvenciájú és amplitúdójú szinuszos referenciajellet állítunk elő. A referenciajel frekvenciáját, ill. amplitúdóját a szabályozás f_{1r} , U_{1r} rendelkezőjelei állítják be. Az impulzusszélesség-moduláció a referenciajeleknek szimmetrikus háromszögjellel történő letapogatásával történik.

A háromszögjel frekvenciájának (f_v vivőfrekvencia) megválasztása ellentétes szempontok közötti kompromisszum eredménye. f_1 növelésével csökken a motoráram felharmonikustartalma, ezzel a motorvesztések és a főtirisztorok vezetési vesztesége. Kisebb lesz az egyenáramú kör szűrőkondenzátorának árama és az oltókör méretezésében irányadó terhelőáram csúcsértéke. Növekednek viszont a félvezetőelemek kapcsolási veszteségei és az oltókör áramának effektív értéke. Csökken a feszültségkihasználás, azaz az adott egyenfeszültségből előállítható maximális váltakozófeszültség nagysága. A megvalósított kapcsolásban a vivőfrekvenciát 200 Hz-re választottuk.

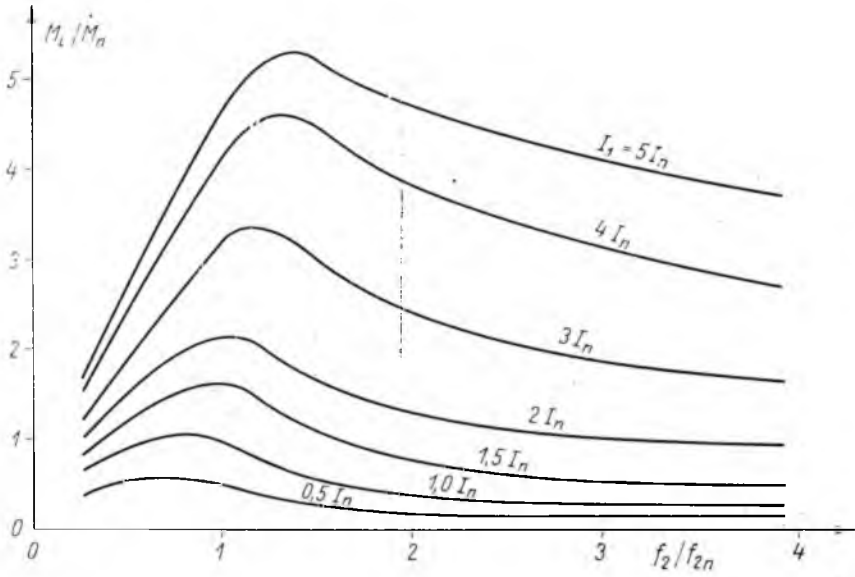
Az I. frekvenciatartományban f_v állandó, f_1 és vele az f_v/f_1 arány folyamatosan változik. Ez csak akkor engedhető meg, ha f_v nagyságrenddel nagyobb f_1 -nél. Nagyobb motorfrekvenciák esetén szinkron modulációra kell áttérni, ahol f_v egész számú többszöröse f_1 -nek. Ilyen modulációt alkalmazunk a II. és III. tartományban. A vivőfrekvencia II.-ben hatszorosa, III.-ban háromszorosa f_1 -nek. A moduláció itt már nem szinuszos, hanem négyszögfeszültség szerint történik.

A IV. tartományban az inverter közel négyszög alakú kimeneti feszültséget ad. A motor mezőgyengítésben üzemel, kapocsfeszültsége állandó, nyomatékát csak szlípel lehet szabályozni.

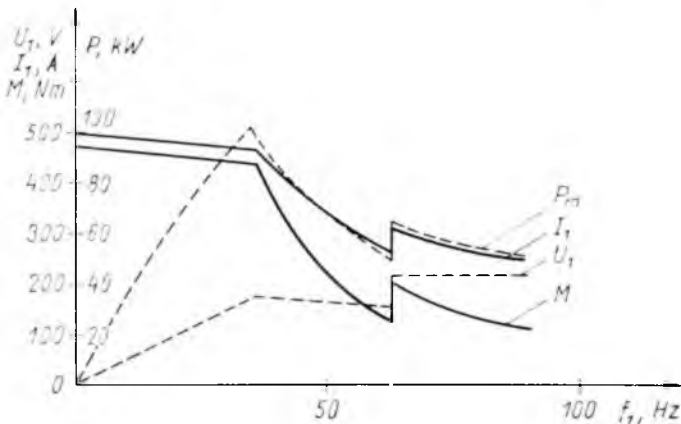
Az egyes modulációs tartományok között az átváltás az inverter rövid idejű lekapcsolásával, árammentes állapotban történik. Kivételt képez a III. és IV. tartomány közötti átmenet, itt az átváltást szünetmentesen, áram alatt végezzük.

4. Mérések

A 2-5...2-10. ábrákon az aszinkron motoros hajtás jelleggörbéit, a motor fázisáramát és a szabályozás működésének szemléltetésére egy indítási—fékezési folyamatot mutatunk be.



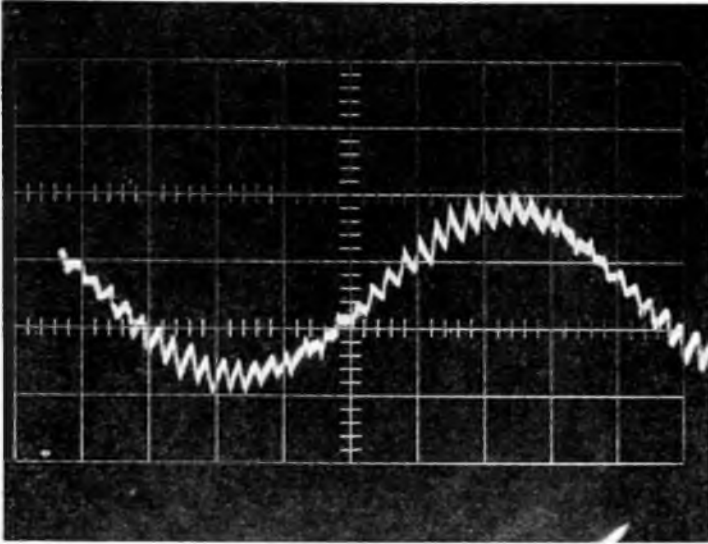
2-5. ábra. 37 kW-os aszinkron motor nyomatéka az állórészáram és a szlip függvényében



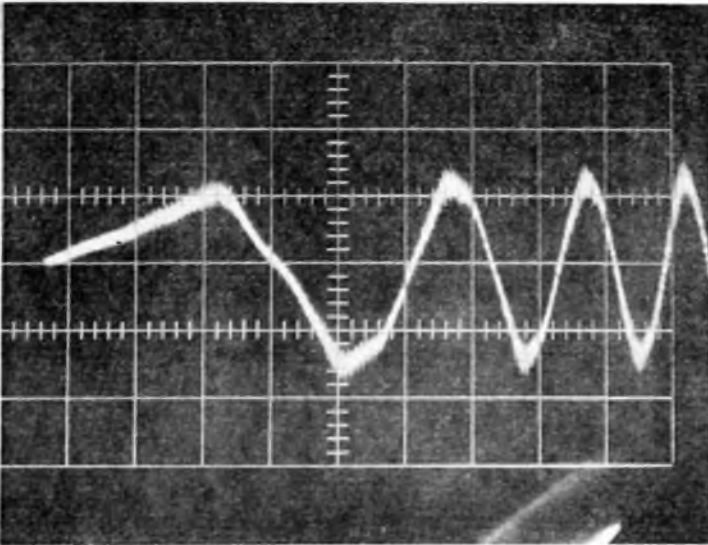
2-6. ábra. Hibrid autóbusz váltakozóáramú hajtásának jelleggörbéi

A 2-6. ábra jelleggörbéin a mezőgyengítés tartományában látható nyomaték- és teljesítményugrást a motor kapcsolófeszültségének az előző fejezetben ismertetett teljes négyzögfeszültségre történő átváltása okozza. Mezőgyengítésben a motor kapcsolófeszültsége és forgórész frekvenciája állandó, árama és teljesítménye csökken.

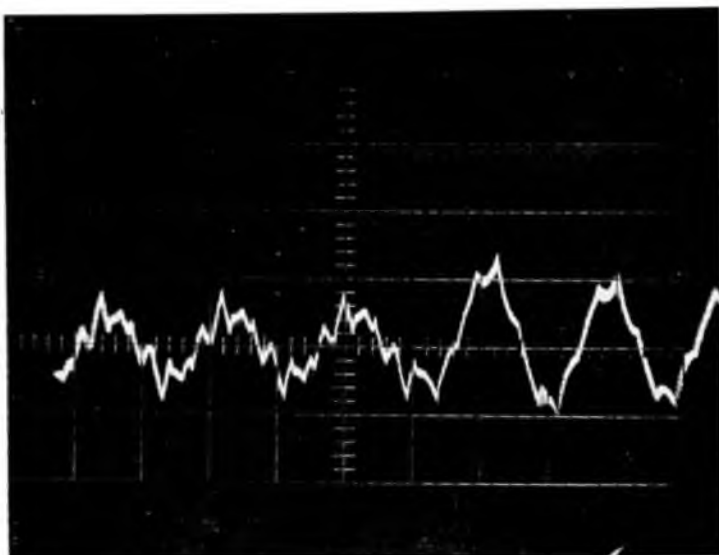
A 2-10. ábra próbatermi mérés indítási—fékezési folyamatát mutatja. A gyorsítás állandó árammal, 1250 ford/min fordulatszámig történt. A gyorsulás csökkenését a terhelőgép fordulatszámával arányosan növekvő nyomatéka okozta.



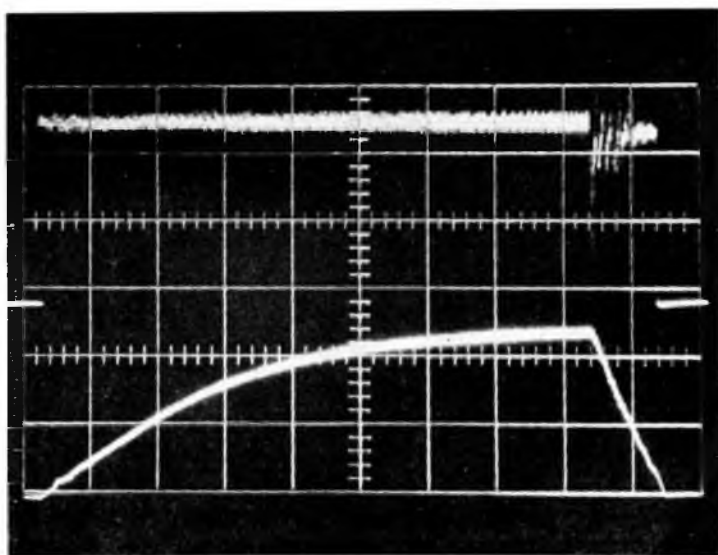
2-7. ábra. Motor fázisárama szinuszos impulzusmodulációnál (500 A/osztás; 10 ms/osztás)



2-8. ábra. Motor indítási árama (500 A/osztás; 100 ms/osztás)



2-9. ábra. Motoráram a moduláció átkapcsolásánál
(háromszoros vivőfrekvenciáról teljes négyzög kimeneti feszültségre)



2-10. ábra. Indítás-fékezés (motoráram visszavezetett jele: 50 A/osztás,
fordulatszám: 500 f/p/osztás; 1 s/osztás)

Irodalom

- [1] *Heumann, K.—Steimel, K.*: Kommutatorloser Bahnmotor mit Pulswechselrichter für Akkumulatortriebwagen. AEG-Mitteilungen 55 (1965) 3. sz.
- [2] *Teich, W.*: Diesel elektronische Triebfahrzeuge mit schleifringlosen Asynchronfahrmotoren. Elektrische Bahnen 43/1972 4. sz.
- [3] *Brechbühler, M.—Bohli, W.*: Erfahrungen mit der Versuchslokomotive Be 4/4 12001 der SBB mit statischen Umrichtern. Brown Boveri Mitteilungen (1973) 12. sz.
- [4] *Teich, W.*: Nahverkehrstriebwagen mit umrichtergespeistem Asynchronmotorantrieb in den USA. Elektrische Bahnen 44 (1973) 5. sz.
- [5] *Waidmann, W.*: Drehstromantrieb für Gleichstrombahnen. Siemens-Zeitschrift 50 (1976) 7. sz.
- [6] *Heumann, K.—Stumpe, A. C.*: Tiriszorteknika. Müszaki Könyvkiadó Bp. 1971.
- [7] *Rudiger, W.—Brunnecker, U.—Keijo K.*: Two manufactures try three-phase motors in dc traction. Railway Gazette International, 1976. Jun.

3.

Frekvenciaátalakító nagyfeszültségű vizsgálóberendezés táplálására

BÖJTHE LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

A MVM Tröszt rendelésére kifejlesztett tápegység a $3 \times 380/220$ V, 50 Hz ipari hálózatra csatlakoztatható, maximális teljesítménye 15 kVA. Fő egységei: félig vezérelt tirisztoros áramirányító, LC szűrőtag a közbenső egyenáramú körben és egyfázisú inverter. Az inverter feszültsége rögzített 200 Hz frekvenciájú, a feszültségalak megközelíti a szinuszhullámot. A feszültség távműködtetéssel állítható be a kívánt értékre a 75...440 V feszültségtartományban.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПИТАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Л. Бөйте

Резюме

Аппаратура питания, разработанная по заказу треста «МВМ» питается от промышленной сети питания $3 \times 380/220$ в, 50 Гц. Максимальная мощность аппаратуры 15 кВА. Важнейшие составные части: тиристорный преобразователь тока по полупроводимой схеме, L—C фильтр в промежуточной схеме постоянного тока и однофазный инвертор. Форма напряжения инвертора близко к синусоидальной, с фиксированной частотой 200 Гц. Значение напряжения может установиться дистанционным управлением в пределах 75...440 в.

FREQUENZUMRICHTER FÜR DIE SPEISUNG VON HOCHSPANNUNGS-PRÜFEINRICHTUNGEN

L. Bőjthe

Zusammenfassung

Das auf Bestellung der ungarischen Elektrizitätswirtschaft (MVMT) entwickelte Netzgerät hat eine Höchstleistung von 15 kVA und kann an das $3 \times 380/220$ V, 50 Hz Industrienetz angeschlossen werden. Die Hauptteile des Gerätes sind: ein halbgesteuerter Thyristorgleichrichter, ein LC-Filter in der Gleichstrom-Zwischenkreis und ein Einphasen-Wechselrichter. Der Wechselrichter arbeitet mit konstanter Frequenz von 200 Hz, die Spannungsform kommt der Sinuswelle nahe. Die Spannung kann durch Fernsteuerung im Spannungsbereich von 75 bis 440 V auf den gewünschten Wert eingestellt werden.

FREQUENCY CONVERTER FOR SUPPLYING H.V. TEST EQUIPMENT

By L. Bőjthe

Summary

This supply unit, developed at the order of the Hungarian Electricity Works Trust (MVMT) can be connected to the $3 \times 380/220$ V, 50 Hz industrial network and has a maximum output of 15 kVA. It consists of the following components: three-phase unidirectional thyristor rectifier, LC-filter in the dc. link, single-phase inverter. The inverter's voltage has a fixed frequency at 200 Hz; voltage shape comes near to a sine wave. Voltage can be adjusted to the desired value by remote control within the voltage range of 75 V...440 V.

1. Bevezetés

Intézetünket az MVM Tröszt bírta meg nagyfeszültségű vizsgálóberendezés energiaellátására alkalmas, egyfázisú, $f=200$ Hz frekvenciájú, 15 kVA maximális teljesítményű frekvenciaátalakító tápegység kifejlesztésével. Az autóbuszba beépített vizsgálóberendezéssel — amely nagyfeszültségű transzformátorból, szekunder tekercsén egyutas, együtemű egyenirányítóból és párhuzamosan kötött simítókondenzátorból áll — nagyfeszültségű készülékek és berendezések villamos szilárdságának vizsgálatát végzik. A szabványos hálózati frekvenciától eltérő frekvenciát az indokolta, hogy a rendelkezésre álló nagyfeszültségű transzformátor primer feszültségének növelését, a vizsgálo egyenfeszültség tartományának kiterjesztését csak növelt frekvenciájú tápfeszültséggel lehet elérni.

A tápegység kifejlesztése során az MVM Tröszt következő fontosabb üzemviteli és konstrukciós kívánásait kellett figyelembe venni:

— az energiaellátás a $3 \times 380/220$ V, 50 Hz-es ipari hálózatról történik (feszültségtűrés a szabványban előírt);

— a tápegység kimeneti feszültsége az $U=75...440$ V intervallumban fokozatmentesen változtatható; a 15 kVA teljesítmény a maximális feszültségen értendő;

— a tápegység be- és kikapcsolása és a feszültség vezérlése távműködtetéssel 70 m hosszú vezérlőkábelben keresztül történik. A vizsgálóberendezés a 200 Hz-es tápfeszültséget ugyancsak 70 m hosszú kábelben kapja;

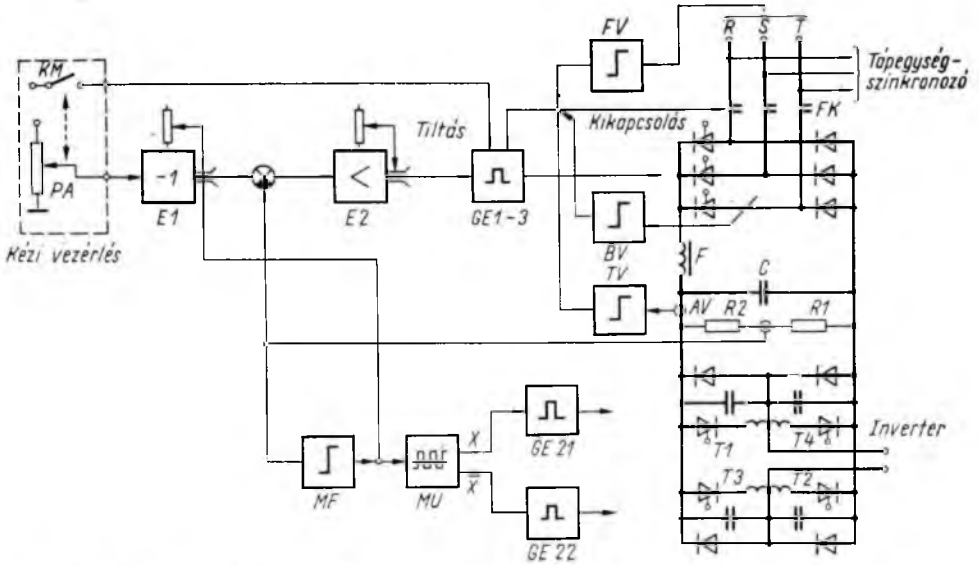
— a tápegység üzemelésére különböző helyeken (alállomás, erőmű, gyár stb.) kerül sor, az üzemeltető nem tudja biztosítani a táphálózat helyes fázissorrendjét,

— a tápegység mobil kivitelű, konstrukciója rázásállósági követelményeket is ki kell elégítsen. Emellett gondoskodni kell arról, hogy a tápegység mind daruval, mind villástargoncával mozgatható legyen.

Az e követelményeket kielégítő frekvenciaátalakító tápegység szabályozásának és működtetésének blokkvázlata a 3-1. ábrán látható. A tápegység fő részeiben háromfázisú vezérelt egyenirányítót, szűrőkört és egyfázisú invertert tartalmaz.

A háromfázisú hálózat táplálja az elektronikus szabályozó- és vezérlőegységnek ± 24 V stabilizálatlan és ± 12 V stabilizált feszültséget adó elektronika-tápegységet, a szinkronizáló egységet és az egyenirányítót, amely az inverter bemeneti feszültségét szolgáltatja. Az egyenirányító féligvezérelt tirisztoros és diódás híd, amelynél a fázisonkénti egy-egy tirisztor gyűjtőegységének a saját fázisról történő szinkronozása biztosítja a kifogástalan működést a hálózati feszültség helytelen fázissorrendje esetén is.

Az egyenirányító kimeneti feszültségének hullámosságát az F vasmagos fojtóból és C kondenzátortelepből álló szűrőtag csökkenti a kívánt mértékig.



3-1. ábra. Szabályozási blokkvázlat

A 200 Hz-es tápfeszültség előállítására egyfázisú Bedford—McMurray kapcsolású invertert alkalmaztunk. A kimeneti feszültség értéke a közbenső egyenáramú kör feszültségének változtatásával a tirisztoros híd gyújtáskésleltetési szögének szabályozásával változtatható.

2. Elvi működés

A hálózati feszültségnek az egyenirányítóra kapcsolásakor a tápegység mindaddig nem lép működésbe, ameddig a tirisztorok *GE1—3* gyújtóegységei a *KM* mikrokapcsoló érintkezőin keresztül le vannak tiltva. A tiltás megszüntetése után a vezérlőfeszültség, amely a *PA* potenciométerrel változtatható, hatásossá válik. A potenciométer feszültsége az *E1* egységnyi erősítésű előjelfordító műveleti erősítőbe megy, ennek kimeneti feszültsége a feszültség-alapjel. *E1* erősítő kimeneti feszültsége abszolút értékének maximuma külső beavatkozással (potenciométer) korlátozva van. Ez a maximális feszültség a 440 V-os egyenfeszültségnek megfelelő alapjel. Az *E1* erősítőbe beépített merevedéskorlátozó azt eredményezi, hogy a vezérlőfeszültség ugrásszerű változását a feszültség—alapjel időben lineáris változása követi. Az alapjelenek és az *R1—R2* feszültségosztóról levett, visszavezetett feszültségjelnek a különbsége mint hibajel hat az *E2* szabályozóerősítő bemenetén, a szabályozás tehát az inverter bemeneti feszültségének az alapjellel meghatározott, állandó értékére történik. A szabályozó *PI* jellege eleve biztosítja a statikus pontosságot, a visszacsatolás elemeinek megfelelő megválasztásával jó dinamikus tulajdonságok érhetők el.

A szabályozóerősítő kimeneti feszültsége a *GE1—3* gyújtóegységeken keresztül határozza meg a gyújtáskésleltetési szöget. A gyújtóegység által kiadott impulzus a szinkronozófeszültség félhullámán belül 180°-os szögtartományban tolható el a gyúj-

tőegység bemeneti feszültségének függvényében. Adott impulzushelyzetnél a gyújtás-késleltetési szög értéke és ezzel az egyenirányító kimeneti feszültsége a tirisztor fázis-feszültségének és a szinkronozó feszültségnek a fázisszögműködésétől függ. A megvalósított kapcsolatban az R fázis gyújtóegységének a szinkronozófeszültségét egy RC fázistoló tag 15° -kal késlelteti az R fázisfeszültséghez képest. Ugyanilyen fáziseltolás van az S és T fázisokon is. Emiatt a 0 bemeneti feszültséghez tartozó maximális 180° -os impulzuseltolás $\alpha=165^\circ$ gyújtás-késleltetési szögnek felel meg, 15° impulzuseltoláshoz pedig $\alpha=0^\circ$ gyújtás-késleltetési szög tartozik.

Az $E2$ szabályozó erősítő kimeneti feszültsége külső beavatkozással (potencióméter) olyan maximális értékre van korlátozva, amely meggátolja, hogy a gyújtás-késleltetési szög $\alpha=0^\circ$ -nál kisebb legyen. A maximálisan elérhető $\alpha=165^\circ$ gyújtás-késleltetési szög következtében az egyenirányító 0 feszültség—alaplajnel is működik. A híd közepes kimeneti feszültsége névleges tápfeszültség mellett nem haladja meg a 10 V -ot, a kimeneti feszültség maximális amplitúdója viszont mintegy 140 V . A tiltás feloldása után működésbe lépő egyenirányító az F fojtón keresztül tölti a nagy kapacitású C kondenzátortelep, amely elvileg — amíg az inverter nem dolgozik — közel csúcshőfeszültségre töltődik fel. Amikor azonban a kondenzátor feszültsége a 60 V küszöbértéket eléri, a feszültségosztóról levett visszavezetett jel átbillenti az MF kétállapotú, elektronikus multivibrátoregységet, amelynek kettős funkciója van:

— *munkaállapotában* indítja az MU tervjelű 200 Hz -es frekvenciagenerátort, amelynek komplementer kimenetei ellentétes fázisban triggerelik a $GE 21$ és $GE 22$ impulzusadókat. Az impulzusadók impulzustranzformátoron keresztül egyenirányító híd és illesztőegység közbeiktatásával váltakozva félperiódus hosszúságú gyújtójelet adnak az inverter $T1$ és $T2$, ill. $T3$ és $T4$ tirisztoraira. Az inverterüzem megindul, a kimeneti kapcsokon megjelenik a bemeneti egyenfeszültséggel arányos, 200 Hz frekvenciájú váltakozófeszültség,

— az inverter elindításával egyidejűleg a feszültség—alapjel értékét ugrás-szerűen megváltoztatja, $E1$ műveleti erősítő kimeneti feszültségét alulról korlátozva egy rögzített minimális alapjelet állít be, amely alá az alapjel nem csökkenhet a vezérlőfeszültség bármely kis értéke esetén sem. (Ha a vezérlőfeszültség értéke meghaladja ezt a rögzített alapjel-értéket, az alapjel természetesen a vezérlőfeszültséggel együtt nő.) A rögzített alapjellel a szabályozó a közbenső egyenáramú kör feszültségét a terhelésváltozástól és a feszültségingadozástól függetlenül $U=75\text{ V}$ -ra szabályozza. A feszültség—alapjelet alulról korlátozó kapcsolási elrendezés kiküszöböli az inverter esetleges működési zavarait, amelyek igen alacsony bemeneti feszültségnél léphetnek fel.

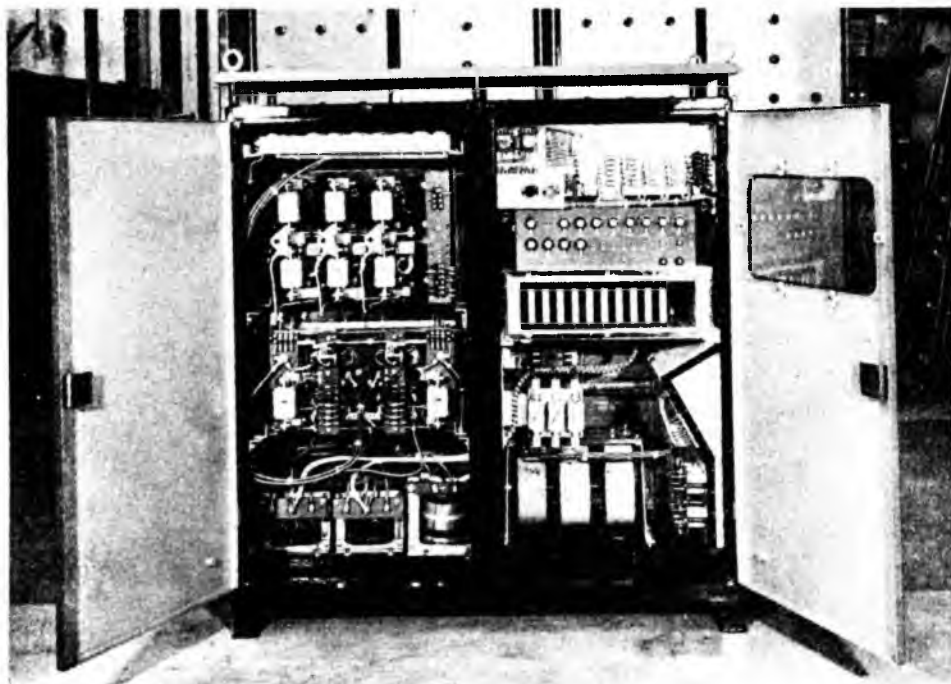
MF egység alapállapotában — amelybe akkor billen vissza, ha a kondenzátor feszültsége 30 V alá süllyed — leállítja a 200 Hz -es frekvenciagenerátort, ezzel együtt az inverter tirisztorainak a gyújtását és megszünteti a feszültség—alapjel alulról történő korlátozását. Az MF működésében levő hiszterézis következtében az inverter üzemének leállítását mindenképpen megelőzi az egyenirányító letiltása, vagy az FK főkapcsoló kikapcsolása, mert működő egyenirányító esetén éppen MF akadályozza meg, hogy a közbenső egyenáramú kör feszültsége 75 V alá csökkenjen.

A tápegység félvezető elemeinek védelmét két stabil állapotú, elektronikus védelmi egységek látják el. Az FV elektronikus komparátor a hálózati feszültséget ellenőrzi; bármelyik fázis kiesésekor letiltja az egyenirányító híd tirisztorainak gyújtását és kikapcsolja a főkapcsolót. A TV elektronikus túláramvédelmet az inverter bemeneti körébe épített AV egyenáramú áramváltó működteti. Ha az inverter bemenő árama egy előre meghatározott küszöbértéket meghalad, a védelmi egység ugyancsak az egyenirányító letiltását és a főkapcsoló leoldását váltja ki. Az azonos hatású BV elekt-

ronikus védelem az egyenirányító híd gyors biztosítói bármelyikének kiolvadása esetén szóval meg. Az utóbbi két védelem működését jelzőlámpa is mutatja. A tápegység csak a hiba elhárítása és a védelmi egységek alapállapotba való visszaállítása után kapcsolható ismét vissza.

3. Mechanikai kivitel

A tápegység összes berendezése — a távműködtető kézi vezérlődoboz és a csatlakozó kábelek kivételével — $1230 \times 630 \times 1310$ mm méretű szögvas keret szekrényben van elhelyezve (3-2. ábra). A féligvezérelt egyenirányító elemei az évek óta felhasznált, jól bevált *TVH* típusjelű hídkonstrukcióba kerültek beépítésre. A félvezető méretezése úgy történt, hogy az egyenirányító a tápegység maximális teljesítményű üzeme során sem kíván mesterséges szellőzést. Az egyfázisú inverter mechanikai konstrukciója új. A konstrukciós elvek azonosak a *TVH* hídhoz alkalmazott és bevált elvekkel. Az inverter helyigénye, felerősítési módja megegyezik a *TVH* megfelelő adataival. Az inverter szintén természetes hűtésű.

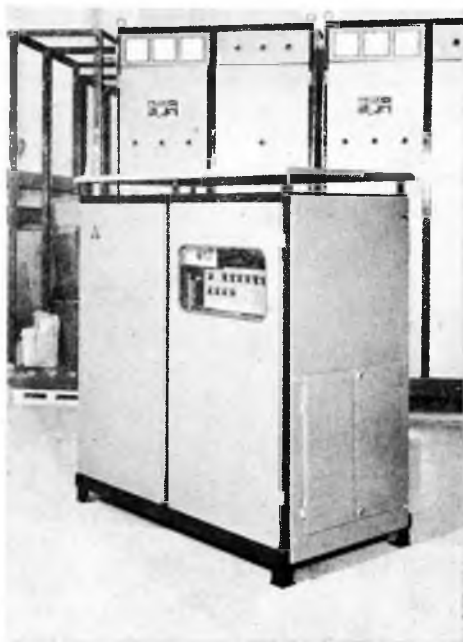


3-2. ábra. Tápegység-szekrény nyitva

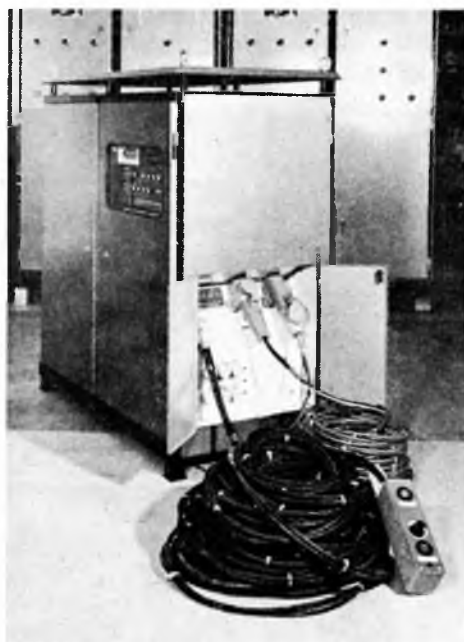
Az elektronikus szabályozó- és vezérlőrendszer elemei EDS 5000 típusú nyomtatott áramköri kártyákra vannak szerelve. A kártyák közül a műveleti erősítőket, a gyújtóegységeket, a védelmi egységeket és a komparátort a tirisztoros egyenáramú hajtásokhoz kifejlesztett elemrendszerből választottuk. Új fejlesztés az invertert működtető kombinált feladatot ellátó indítható frekvenciagenerátor, valamint a kettős impulzusadó egység.

A kártyarendszer EMG gyártmányú Rack-fiókban van elhelyezve. A Rack-fiókra szerelt paneleken vannak az elektronikus vezérlő- és szabályozóelemek beállítását szolgáló, rögzíthető potencióméterek, a szabályozás beállításának és működésének ellenőrzésére mérőhüvelyhez kivezetett mérési pontok, az elektronikus védelmek jelzőlámpái és nyugtázó nyomógombjai. A Rack-fiók az esetleges javítás megkönnyítése érdekében a szekrényből kiemelhető; a fiókot a szekrény többi elemével mintegy 1 m hosszú, különösen hajlékony vezetékkötég köti össze.

A frekvenciaátalakító tápegység egyéb elemei, a vasmagos fojtók, kondenzátor-telep, elektronika-tápegység, szinkronozógység stb. közvetlenül a szekrényvázra vagy külön panelekre vannak felszerelve. A gyakori szállításnak, rázkódásnak kitett tápegységbe táblaműszerek nincsenek beépítve, a legfontosabb jellemzőket (tápfeszültség, inverteráram, inverterfeszültség) külső mérőpontokhoz csatlakoztatható hordozható műszerekkel lehet mérni.



3-3. ábra. Tápegység-szekrény zárva



3-4. ábra. A tápegység üzemi helyzete

A szekrénynek homlok- és hátsó oldalán biztonsági zárral ellátott kettős ajtaja van (3-3. ábra). A homlokoldali ajtó műanyag ablaka mögött láthatók a szekrény feszültség alá helyezését és bekapcsolt állapotát jelző lámpák, a potenciómétereket tartalmazó panel és a védelmek működését jelző lámpák. A szekrény átszellőztetett kivitelű, a csepegővíz behatolása ellen védőtetővel van ellátva. Talpkiképzése, ill. a tetőre szerelt hordgyűrűk a tápegység mozgatását könnyítik meg. A homlok- és hátsó oldali ajtókat mind szállítás, mind üzem közben zárva kell tartani.

A szekrény oldalán kialakított, a szekrény belső terétől elválasztott, zárható térben vannak elhelyezve a külső villamos csatlakozási pontok csatlakozódugói, ill. -aljzatai, amelyekhez a háromfázisú hálózattól, a nagyfeszültségű vizsgálóberendezéstől, ill. a távműködtető kézi vezérlő dobozból jövő kábelek csatlakoztathatók (3-4.

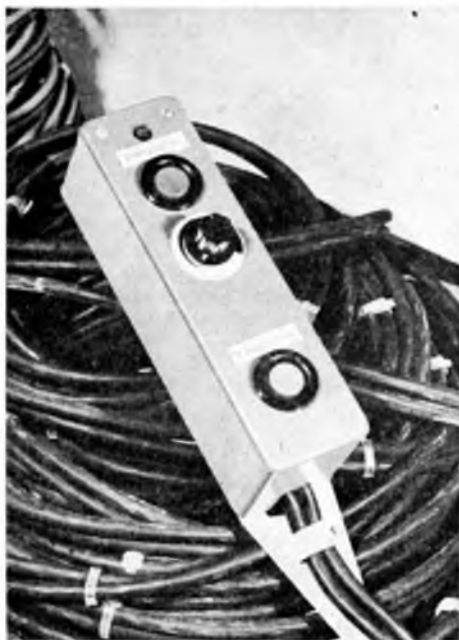
ábra). Ugyanebben a térben helyezkednek el a vezérlés és a működtetés biztosítói, valamint a tápegység néhány fontosabb mérési pontja mérőhüvelyekhez kivezetve. A csatlakozótér ajtaját szállítás közben zárva kell tartani a csatlakozók, biztosítók mechanikai sérülés elleni védelme érdekében. A külső csatlakozásoknak ez a kialakítása teszi lehetővé azt, hogy a tápegység távvezérléssel működtethető anélkül, hogy az áramvezető részek kézzel érinthetővé válnának.

A kézi vezérlődobozba vannak beépítve a be- és kikapcsoló nyomógombok, a *PA* vezérlő potenciométer és az ezzel együttműködő *KM* mikrokapcsoló, valamint egy miniatűr jelzőlámpa a tápegység bekapcsolt állapotának jelzésére (3-5. ábra). A vezérlődoboz zárt kivitelű, műanyag háza és textilbakelet alap- és fedőlapjai érintésvédelmi szempontból megfelelő biztonságot nyújtanak. A vezérlődoboz mérete és formája úgy van megválasztva, hogy a kezelő a dobozt tartó kezével működtetheti a nyomógombokat.

A tápegység üzembehelyezésekor a külső csatlakozókhoz a háromfázisú hálózat kábelét, a nagyfeszültségű transzformátor energiaellátó kábelét és a távműködtetés vezérlőkábelét csatlakoztatni kell. A hálózati feszültség bekapcsolásakor a működtetés, elektronika—tápegység és a szinkronozóegység kap feszültséget. A tápegységszekrényen fehér színű jelzőlámpa mutatja ezt az állapotot. A tápegység bekapcsolása — az egyenirányító híd feszültség alá helyezése — csak a kézi vezérlődobozról történhet. A bekapcsolás feltételei:

- a táphálózat feszültségeinek a szabványos túrésen belüli értéke;
- a túláramvédelmi elektronikus egység alapállapota;
- a biztosítókiolvadás-védelmi elektronikus egység alapállapota;
- a *PA* vezérlő potenciométer nulla helyzete.

FK bekapcsolása után — ezt piros színű jelzőlámpa mutatja mind a tápegység szekrényen, mind a vezérlődobozon — a *PA* vezérlő potenciométer elmozdításával indítható el a tápegység üzeme.



3-5. ábra. Kézi vezérlődoboz

4.

Korszerű áramforrás villamos karámok táplálására

APOR ZSUZSA

ÖSSZEFOGLALÁS

A korszerű mezőgazdaságban egyre jobban terjed a különféle állatok őrzésére és a vadvédelemre alkalmas villanypásztorok használata. A cikk áttekinti a villamos karámok táplálására szolgáló áramforrásokat. Összefoglalja azok tulajdonságait és alkalmazási területeit. Ismerteti a VP—101 típusú hálózatról táplált készülék működési módját és előnyeit az eddig alkalmazott készülékekkel szemben.

СОВРЕМЕННЫЙ ИСТОЧНИК ДЛЯ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОСТОРОЖЕВ

Ж. Апор

Резюме

В современном сельском хозяйстве для сторожения различных животных и охраны зверей применяются электросторожи. Статья обобщает источники, предназначенных для питания электросторожев, сравнивает их свойств, областей применения. Излагает режим работы оборудования типа «VP—101», питающего от сети, и показывает его преимущество по сравнению старших типов.

MODERNES STROMVERSORGUNGSGERÄT FÜR WEIDEZAUNANLAGEN

Zs. Apor

Zusammenfassung

In der modernen Landwirtschaft gewinnt die Verwendung von elektrischen Weidezäunen zur Bewachung verschiedener Tiere und zum Wildschutz immer mehr an Boden. Die Abhandlung gibt einen Überblick über die verschiedene Stromversorgungsgeräte elektrischen Weidezäune, fasst ihre Eigenschaften und Anwendungsgebiete zusammen und schildert die Wirkungsweise des netzgespeisten Gerätes Typ VP-101 nebst den Vorzügen desselben gegenüber den bisher verwendeten Geräten.

UP-TO-DATE POWER SUPPLY SOURCE FOR ELECTRIC FENCES

By Zs. Apor

Summary

Up-to-date agriculture uses increasing number of electric fences as a means for guarding various animals and protecting on the pasture the fields against damage done by game. A survey is given of power supply sources used to supply electric fences, as well as of their properties and application fields. Description is given of the equipment fed from the a.c. network, type VP-101, its mode of operation and its advantages against equipment used so far.

1. Bevezetés

A korszerű mezőgazdaságban egyre jobban terjed a különféle állatok őrzésére és a vadvédelemre alkalmas villamos karámok alkalmazása.

A villamos karám a tápegységből és az oszlopokra szerelt karámvezetékéből áll. A karám tápegysége közvetlen villamos kapcsolatban áll a karámvezetékkel, amelyet a földtől és a karám oszlopaiktól gondosan elszigetelnek. A tápegység feladata az, hogy a karámvezetéken a földpotenciálhoz képest több ezer voltos feszültségimpulzusokat állítson elő. Ezek az impulzusok megjelennek a karámvezeték teljes hosszán. Ha a talajon álló állat érinti a vezetéket, a karámáramforrás által kiadott feszültségimpulzusok miatt áramütés éri, mivel az élő szervezet a tápegységgel, a karámvezetékkel és a földdel zárt villamos kört alkot. A kapott áramütés hatására az állatban fiziológiai-pszichológiai gátlás alakul ki, ami megakadályozza azt, hogy ismételtlen hozzáérjen a karámvezetékhez.

A villamos karám az intenzív legelőgazdálkodás fontos eszköze. Külföldön különböző felépítésű és típusú karámáramforrásokat fejlesztettek ki és ezeket széles körben alkalmazzák. Hazánkban is folytattak kísérleteket saját fejlesztésű berendezésekkel, de eddig nagy darabszámban csak egy akkumulátoros készüléket gyártottak. A VKI-ban 1973-ban kezdtünk foglalkozni karámáramforrás fejlesztésével. Ennek során készült a VP—101 típusú hálózati táplálású kondenzátoros áramforrás, amely az eddig Magyarországon gyártott készülékek közül a leghosszabb karámvezeték ellátására alkalmas.

2. A villamos karámáramforrások felosztása

A karámáramforrásokat táplálásuk és az impulzuskeltésük módja alapján csoportosítják. *Táplálásuk szerint* a berendezések lehetnek: telepes, akkumulátoros és hálózati készülékek.

Az impulzusok létrehozásának alapján kondenzátoros és induktív készülékeket különböztetünk meg.

A kondenzátoros készülék impulzusait a nagy feszültségre feltöltött kondenzátornak a karámvezetékre való rásütése hozza létre. Az induktív berendezés a feszültségimpulzust a karámvezetékkel közvetlen kapcsolatban levő transzformátor nagy menetszámú tekercsében állítja elő a kis menetszámú tekercs áramának megszakításával.

3. A villamos karám tápegységének jellemző paraméterei

A tápegység kialakítását, paramétereit szabványok határolják. Az életvédelmi, funkcionális és munkavédelmi előírások szigorú követelményeket tartalmaznak. A legfontosabb megkötés az egy impulzus alatt leadott töltés, amelynek maximális értékét 2,5 mAs-ban adja meg a szabvány. Ennek túllépése kedvezőtlen esetben izomgörcsöt okoz.

A szabvány által rögzített másik paraméter az impulzusok követési frekvenciája. Ezt a megfelelő őrzésbiztonság érdekében nem célszerű 40/min-nál kisebbre választani. A felső határt életbiztonsági szempontok alapján 60/min-ban állapítják meg úgy, hogy az impulzusok közötti szüneteknek minimum 0,5 s-nak kell lenni.

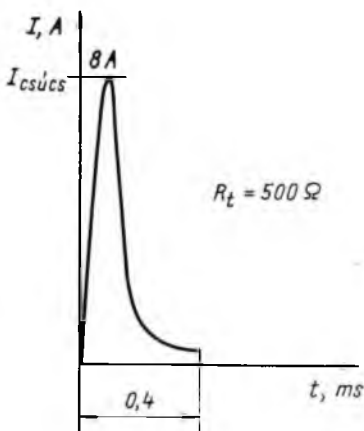
A készülék hatékonyságát ezenkívül további paraméterek szabják meg.

A kimenő impulzus alakja jelentősen befolyásolja a villamos karám hatásosságát. A 2,5 mAs töltés létrehozható egy gyors felfutású, nagy csúcsértékű, rövid áramimpulzussal vagy hosszabb ideig tartó kisebb csúcsértékű árammal. A gyakorlatban a meredek felfutású impulzus az elriasztó hatás szempontjából kedvezőbb.

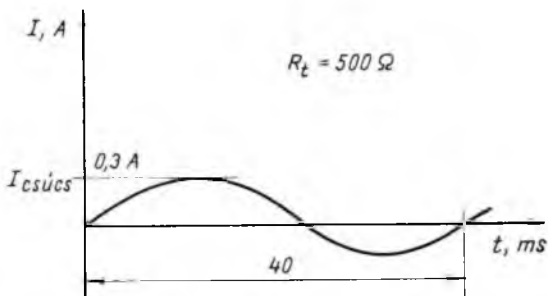
Az egészségkárosító hatásra az állaton átfolyó csúcsáram és impulzusidő szorzata utal. Ha ez a szorzat 30 mAs alatt marad, nincs az impulzusnak egészségkárosító hatása.

A védekezési reflex kialakításához szükséges minimális csúcsáram induktív készülékkel 100 mA, kondenzátorossal 200 mA. A csúcsáram növelésével kevesebb impulzus elegendő ahhoz, hogy az állatban félelemérzet alakuljon ki.

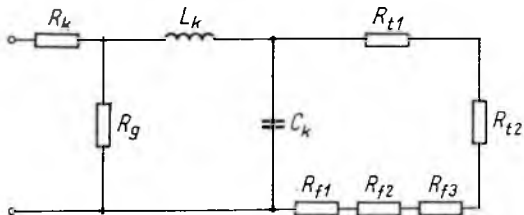
A kondenzátoros és az induktív készülékek által kiadott áramimpulzusok alakjai még azonos töltés esetén is lényegesen eltérnek egymástól. A kondenzátoros készülékre jellemző áramalak a 4-1. ábrán látható, az induktív készüléké a 4-2. ábrán. Az ábrákba berajzoltuk a maximális csúcsáramot számszerű értékekkel jellemezve, valamint az impulzusidő szokásos értékét.



4-1. ábra. Kondenzátoros készülék jellemző áramalakja



4-2. ábra. Induktív készülék jellemző áramalakja



4-3. ábra. Karámáramkör egyszerűsített helyettesítő rajza

Az állatot érő impulzusok maximális értékét jelentősen befolyásolják a karám-áramkör paraméterei, amelyeket a 4-3. ábrán levő egyszerűsített helyettesítő kapcsolási rajzon lehet követni, ahol

- R_k a karámvezeték rezisztenciája a kerítés legtávolabbi pontjáig, acélvezeték esetén 50...100 Ω /km;
- R_{r1} az állat és a karámvezeték közötti átmeneti rezisztencia, értéke attól függ, hogy az állat mely részével ér a karámvezetékhez;
- R_{r2} az állat rezisztenciája, ez legtöbbször 50...5000 Ω között van, meredek feszültségimpulzus hatására 200 Ω -ra is lecsökkenhet;
- R_{r1} a földelő rezisztenciája, amely a többi rezisztenciához képest elhanyagolható értékű;
- R_{r2} a föld és a földelő közötti átmeneti rezisztencia, 25...300 Ω közötti érték ajánlatos;
- R_{r3} az állat és a föld közötti átmeneti rezisztencia, amely a talaj nedvességétől függően változik;
- R_g a levezetési rezisztencia, amely a szigetelők, a karámvezetékhez érő tárgyak vagy a növényzet levezetési rezisztenciája, kívánatos értéke >100 k Ω ;
- L_k a karám és a föld alkotta áramkör induktivitása, szokásos elrendezés esetén az értéke: 3 mH/km;
- C_k a karámvezeték és a föld által alkotott kondenzátor kapacitása, szokásos elrendezés esetén az értéke 10 nF/km.

Az egyszerűsített helyettesítő kapcsolási rajz értékeiből következik, hogy a soros terhelőellenállás rezisztenciájának legkedvezőbb értéke kb. 500 Ω , amely kedvezőtlen esetben több k Ω -ot is elérhet. Az állatot érő feszültség- és áramimpulzus nagysága függ még az R_g és C_k értékétől. Az R_g levezetési rezisztencia értéke a kritikus, mivel az 1...2 M Ω -ról pl. egy száraz ágnek a karámvezetékhez való érésakor lecsökkenhet 10 k Ω -ra. R_g értékét még a nedves időjárás is csökkentheti. Ha az üresjárású feszültség csúcserőssége (a karámvezetékhez nem ér hozzá állat) 3 kV alá csökken a szigetelési rezisztencia romlása miatt, akkor megszűnik az őrzésbiztonság.

4. A VP—101 típusú készülék működése és felépítése

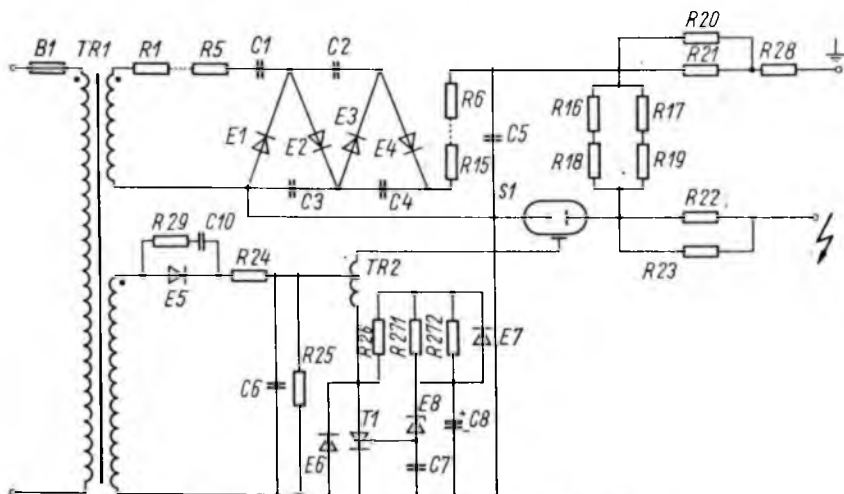
A VP—101 típusú készülék a hálózati táplálású kondenzátoros berendezések csoportjába tartozik. A készülék nagy feszültségre feltöltött kondenzátorát egy kapcsolócső másodpercenként a karámvezetékre köti, amely ezen keresztül kisül.

Elvi kapcsolási rajza a 4-4. ábrán látható. A karámáramforrás működésileg két különálló áramkörre bontható. Az egyik áramkör a C5 nagyfeszültségű kondenzátort 6 kV egyenfeszültségre tölti fel. A másik előállítja az S1 kapcsolócső begyűjtéséhez szükséges 15...20 kV nagyságú feszültségimpulzust.

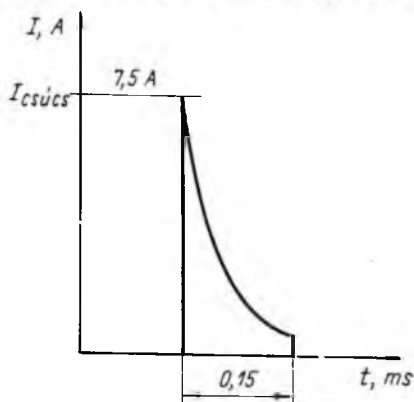
A 6 kV egyenfeszültséget az E1...E4 diódákhoz kapcsolódó áramköri elemekből álló, feszültségsokszorozó kapcsolás hozza létre. Ez az áramkör a TR1 biztonsági transzformátor 1000 V váltakozófeszültséget előállító tekercséhez kapcsolódik.

A C5 kondenzátorban tárolt energia az 500 Ω -os terhelőellenálláson 1,6 mAs töltést ad impulzusonként.

Az S1 kapcsolócső begyűjtéséhez szükséges 15...20 kV feszültségimpulzust a TR2 nagy áttételű transzformátor állítja elő úgy, hogy kis menetszámú tekercsére a TI tirisztor másodpercenként rákapcsolja a 200 V egyenfeszültségre feltöltött C6 kondenzátort.



4-4. ábra. VP—101 típusú karámtápegység elvi kapcsolási rajza



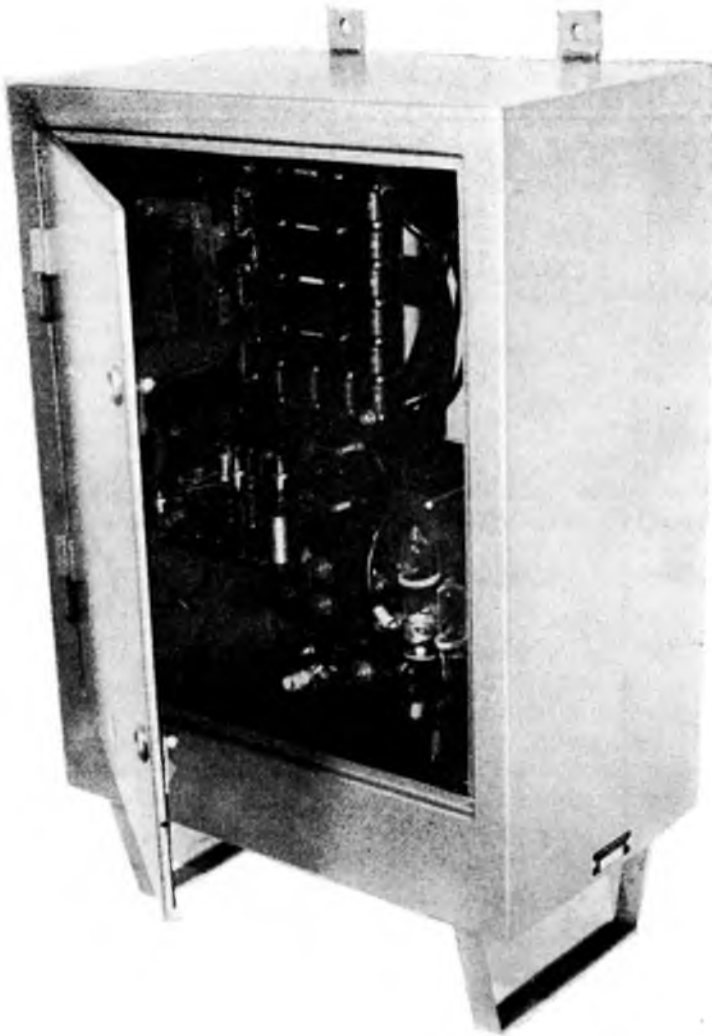
4-5. ábra. VP—101 típusú karámtápegység kimenő áramának alakja

A készülék a rövidzárt tartósan elviseli. A rövidzárlati áramot az $R20...R23$ ellenállások korlátozzák. 500 Ω -os terhelőellenállás esetén a kimeneti feszültség maximális értéke 3,7 kV, kimenő áramának alakja a 4-5. ábrán látható.

A karámáramforrás tartozéka a túlfeszültségek levezetésére alkalmas villámhárító. Ez a karámvezeték elektrosztatikus feltöltődéséből és a villámcsapásból adódó feszültségeket szünteti meg. Megszólalási szintje 6,5...7,5 kV. Mechanikai felépítése szikraköznek felel meg.

5. A villamos karámáramforrások összehasonlítása

A következőkben három tipikus, a mezőgazdaságban alkalmazott készüléket hasonlítunk össze. A három készülék egy-egy típust képvisel és jellemző rájuk a közel azonos töltés. A három készülék közül az egyik telepes induktív, a másik hálózati



4-6. ábra. VP—101 típusú karámtápegység

induktív, a harmadik a VKI hálózati kondenzátoros készüléke. Az összehasonlítást a jellemző paraméterek, valamint a karámáramkör szigetelési rezisztenciájának csökkenésekor fellépő üresjárási csúcsheszültségek alakulása alapján végeztük el. A jellemző paramétereket a 4-1. táblázatban foglaltuk össze.

A két induktív készülék a típusához képest nagy töltésmennyiséget szolgáltat. A hazánkban beszerezhető ilyen típusú berendezések ennél kisebb árammennyiséggel rendelkeznek.

Az elriasztó hatásra jellemző csúcsáram a telepes készüléknél kb. kétszer, a hálózati induktívé kb. négyszer, a hálózati kondenzátorosé negyvenszer akkora, mint a szükséges minimális érték.

4-1. táblázat

A különböző típusú készülékek jellemzőinek összehasonlítása

Táplálás	Impulzus-előállítás	Töltés, mAs	Karámvezeték hossza, km	Csúcsáram, A	Az impulzus időtartama, ms	Csúcsáram \times impulzusidő, mAs
Telepes	induktív	1,7	3	0,27	36	9,7
Hálózati	induktív	2	3...6	0,44	60	26,4
Hálózati	kondenzátoros	1,6	10	7,5	0,4	3

4-2. táblázat

A különböző típusú készülékek kimeneti feszültségének alakulása a szigetelési rezisztencia romlásának hatására

Táplálás	Impulzus-előállítás	Üresjárási csúcsfeszültség, kV			
		ha a szigetelési rezisztencia			
		3000 k Ω	50 k Ω	10 k Ω	5 k Ω
Telepes	induktív	6,1	5,1	2,4	1,4
Hálózati	induktív	5	4	2	1,2
Hálózati	kondenzátoros	5,2	5,1	5	4,8

A csúcsáram-idő szorzat az egészségkárosító hatás szempontjából fontos. A három összehasonlított készülék közül a kondenzátorosé a legkedvezőbb.

A karámvezeték hosszát tekintve a kondenzátoros lényegesen kedvezőbb a másik kettőnél.

A készülékek különböző módon reagálnak a szigetelési rezisztencia romlására. Az előző három készülék üresjárási csúcsfeszültsége a 4-2. táblázat szerint változik.

Mind a telepes, mind a hálózati táplálású induktív készülék kimenő impulzusának csúcsértéke jelentősen csökken a szigetelési rezisztencia romlásával, a kondenzátoros készüléké viszont csak jelentéktelen mértékben változik. 10 k Ω -nál kisebb szigetelési rezisztencia esetén csak a kondenzátoros készülék őrésbiztonsága megfelelő.

6. Összefoglalás

Az induktív készülék kis gazdaságok rövid karámvezetékét képes ellátni impulzusokkal. A karámvezetékét sűrűn kell felülvizsgálni, mivel a rendszer annak szigetelési állapotára érzékeny.

A kondenzátoros készülék a leghosszabb karámvezetéken állít elő kedvező alakú impulzusokat. Mostoha körülmények között, kevés ellenőrzés mellett fokozott őrésbiztonságot nyújt. A VKI kondenzátoros készüléke a hazai piacon megszüntette a nagyteljesítményű készülékek hiányát. Ezeket a készülékeket mind a szarvasmarhatartásban, mind a vadvédelem területén előnyösen lehet alkalmazni.

Irodalom

- [1] Szabó János: Gyepgazdálkodás. Bp. Mezőgazdasági Kiadó, 1973.
- [2] Kocsis Károly: Elektronikus működésű elektromos kerítés és felhasználása az állattartásban. Agrártudományi Egyetem Gödöllő.
- [3] Csontos Imre: Villanypásztor-fejlesztés problémái és eredményei. Gyepgazdálkodás. 1974. 1., 87...99 p.

5.

Középfrekvenciás inverterkapcsolás kommutációs folyamatainak vizsgálata

HUSZTI GYÖRGY—SOÓS LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk egy háromfázisú, fázisok között kommutáló inverterkapcsolást tárgyal. Az elvi kapcsolat rövid ismertetése után részletesen elemzi a kommutációs folyamatot, amelynek célja az egyes passzív áramköri elemek áram- és feszültség-igénybevételeinek meghatározása. Ezen igénybevételek alapján méretezési szempontot ad, a kommutáló kör LC elemeinek megválasztásához.

ИСПЫТАНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СХЕМЫ СРЕДНЕЧАСТОТНОГО ИНВЕРТОРА

Д. Хустти — Л. Шоу

Резюме

В статье излагается трёхфазный инвертор, коммутирующий между фазами. После краткого изложения принципиальной схемы, с целью определения нагрузки по напряжению и току некоторых пассивных элементов схемы, подробно анализируется процесс коммутации. На основе этих нагрузок даётся методика расчёта LC элементов коммутационной цепи.

UNTERSUCHUNG DER KOMMUTATION VON MITTELFREQUENZ-WECHSELRICHTERSCHALTUNGEN

Gy. Huszti—L. Soós

Zusammenfassung

Der Artikel behandelt eine Dreiphasen-Wechselrichterschaltung mit Phasenkommulation. Nach kurzer Beschreibung der Prinzipschaltung wird der Kommutationsprozess analysiert, mit dem Ziel der Bestimmung der Strom- und Spannungsbeanspruchungen der einzelnen passiven Schaltelemente. Diese Beanspruchungen liefern Bemessungsgesichtspunkte zur Wahl der LC Elemente der Kommutationsschaltung.

INVESTIGATION OF COMMUTATION PROCESS OF MEDIUM-FREQUENCY INVERTER CONNECTION

By Gy. Huszti—L. Soós

Summary

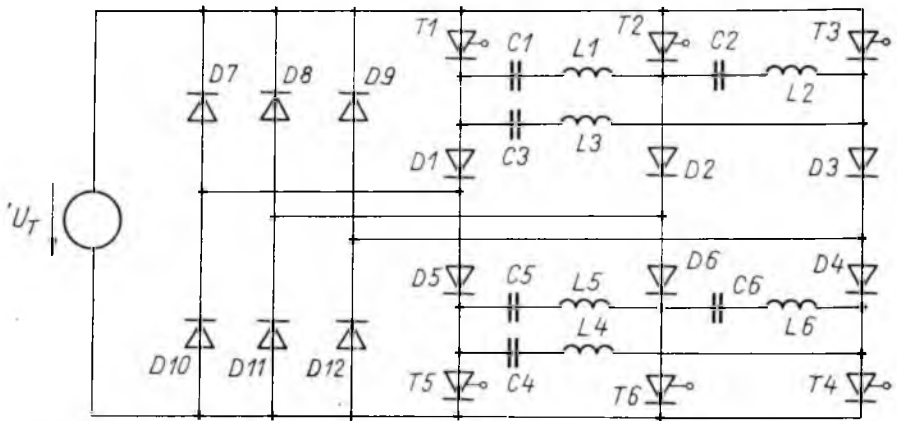
The paper deals with three-phase inverter connection implementing commutation between phases. Following a brief description of the elementary connection the commutation process is analysed in detail, which is aimed to determine the current and voltage stresses on each passive circuit component. Based on these stresses a criterion for dimensioning is given, which can be used in selecting the LC elements of commutating circuit.

1. Bevezetés

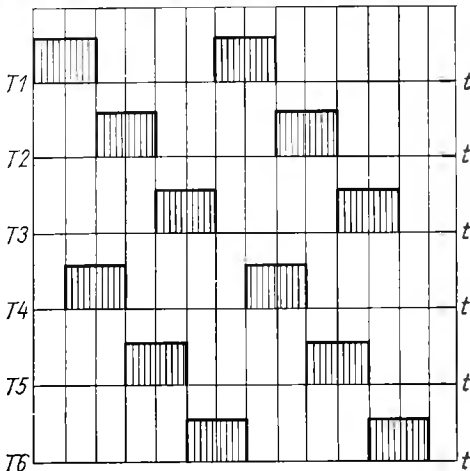
Az aszinkron motorok félvezetős áramátalakítókkal történő fordulatszám-változtatása napjainkban széleskörűen kezd elterjedni. E módszer egy speciális területe nagy fordulatszámú motorok változtatható frekvenciájú inverterrel való táplálása. A cikk bemutat egy ilyen célokra használható inverterkapcsolást és részletesen elemzi a méretezés szempontjából jelentős kommutációs folyamatokat.

2. Az alapkapsolás ismertetése

Az alapkapsolás egy ún. fázisok között kommutáló feszültséggenerátoros inverter (5-1. ábra). Működésének jellegzetessége, hogy az egymás után begyűjtött főtirisztorok oltják az előzőleg vezető állapotban levőket (fázisok közötti kommutáció). A háromfázisú kimeneti feszültség hullámot a tirisztorok 5-2. ábra szerinti vezérlésével lehet biztosítani.



5-1. ábra. Fázisok között kommutáló feszültséggenerátoros inverter



5-2. ábra. A tirisztorok vezérlésének időprogramja

Az inverter kommutáló köre az ún. Mc Murray-kapcsolás egy változata. Ennek megfelelően pl. a $T1$ tirisztor oltása a következőképpen történik. A feltöltött $C1$, $C2$, $C3$ kondenzátorok $T2$ tirisztor gyújtásakor $L1$, $L2$, $L3$ induktivitásokkal szabad, ill. gerjesztett lengésbe kezdenek. Eközben átveszik $T1$ tirisztor áramát, és $T1$ áramának megszűnésekor kinyitják a $D1—D7$ diódákat. A diódák vezetés alatti nyitóirányú feszültségese záróirányú feszültségként kapcsolódik az oltandó $T1$ tirisztorra és így megtörténik a $T1$ rétegeiben tárolt töltések eltávolítása. Az ismertetett kapcsolás annyiban tér el a klasszikusnak mondható Mc Murray-kapcsolástól, hogy míg az utóbbiban egy rezgőkör szabad lengése alatt történik meg az oltás, addig az előbbiben egy deltába kapcsolt LC -komplexum végez szabad, ill. gerjesztett lengést a kommutáció alatt.

3. Üresjárásban, ideális rezgőkörökkel történő kommutáció

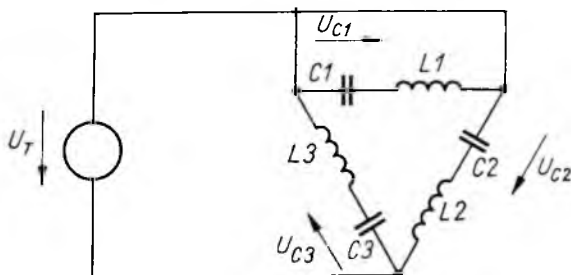
A kommutáló áramkör méretezése szempontjából döntő jelentőségű a kommutáló kondenzátorok feszültség hullámformájának az ismerete. Ebből egyrészt meghatározható az oltandó tirisztorok kíméleti ideje, másrészt pedig számítható a kommutáló kondenzátorok áramának effektív értéke, valamint a kommutáló fojtótekercek csúcsárama.

Elsőként olyan ideális viszonyok között határozzuk meg a kondenzátorok feszültségének a hullámformáját, amikor a rezgőkörök veszteségmentesek és a terhelőáram zérus. A vizsgálat során csak az 5-1. ábra szerinti felső $L1C1—L2C2—L3C3$ rezgőkör csoporttal foglalkozunk. Az áramköri és vezérlési szimmetria miatt ugyanis az alsó oltókörcsoporthoz ugyanolyan állapotváltozásokon megy át, mint a felső.

Tételezzük fel, hogy a vizsgált pillanatban a $T1$ és $T4$ tirisztorok kapnak gyújtójelet, ezt követően pedig $T1$ vezérlése megszűnik és $T2$ kap gyújtást. A kommutáló áramkörre ekkor az 5-3. ábrán látható helyettesítő kapcsolás érvényes. Az 5-3. ábra alapján $L1$ $C1$ szabad lengést, $L2$ $C2$ és $L3$ $C3$ pedig gerjesztett lengést végez mindaddig, amíg a kondenzátorok árama zérusra nem csökken. Feltételezve az $L1 = L2 = L3$, $C1 = C2 = C3$ paraméterszimmetriát, az áram nullaátmenetei egyszerre következnek be. Ekkor a kondenzátorok feszültsége az oltás előtt levő kondenzátorfeszültséggel kifejezve:

$$\left. \begin{aligned} U_{C11} &= U_{C10} - 2U_{C10} \\ U_{C21} &= U_{C20} + 2(U_T - U_{C20}) \\ U_{C31} &= U_{C30} - 2(U_T + U_{C30}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ahol U_{C10} ; U_{C20} ; U_{C30} a kondenzátorok kezdeti feszültségei.



5-3. ábra. A kommutáló áramkör helyettesítő rajza ideális rezgőkört feltételezve $I_T = 0$ terhelőáram esetén

Ha most ismét 10 és 30 indexszel jelöljük az oltandó tirisztor után levő, ill. előtti kondenzátor, 20-va! pedig a begyújtott tirisztor után levő kondenzátor feszültségét, akkor a következő összefüggések írhatók fel:

$$\left. \begin{aligned} U_{C10} &= U_{C21} \\ U_{C20} &= U_{C31} \\ U_{C30} &= U_{C11} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Ha általánosságban U_1, U_3, U_2 -vel jelöljük az oltandó tirisztor (pl. $T1$) után levő, előtti (pl. $T3$), ill. a begyújtott tirisztor (pl. $T2$) után levő kondenzátorok feszültségét, akkor ezekre (1) és (2) alapján a következő rekurzív összefüggések adódnak:

$$\left. \begin{aligned} U_1^{(n)} &= -U_2^{(n-1)} + 2U_T \\ U_2^{(n)} &= -U_3^{(n-1)} - 2U_T \\ U_3^{(n)} &= -U_1^{(n-1)} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

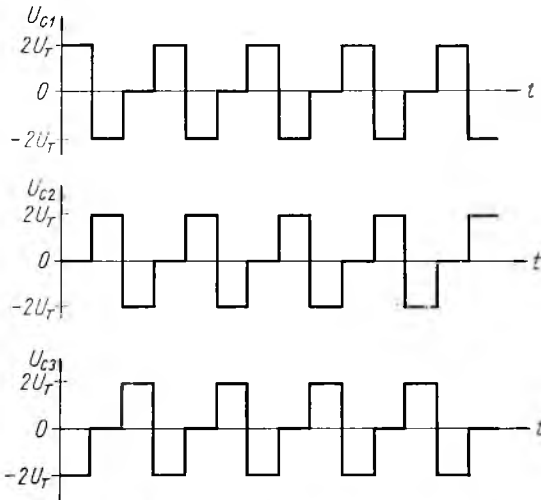
ahol a felső zárójeles indexek az időbeli lépésekre utalnak. Állandósult állapotban:

$$\begin{aligned} U_1^{(n)} &= U_1^{(n-1)}, \\ U_2^{(n)} &= U_2^{(n-1)}, \\ U_3^{(n)} &= U_3^{(n-1)}. \end{aligned}$$

Ezekkel a feltételekkel (3) egyenletrendszer megoldva megkapjuk a kondenzátorok feszültségének állandósult értékét:

$$\left. \begin{aligned} U_1|_{t \rightarrow \infty} &= 2U_T \\ U_2|_{t \rightarrow \infty} &= 0 \\ U_3|_{t \rightarrow \infty} &= -2U_T \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Az ennek megfelelő időbeli lefolyás az 5-4. ábrán látható.



5-4. ábra. A kommutáló kondenzátorok feszültségei

A kondenzátorok feszültségére adódó határérték csupán elméleti jelentőségű, mivel a (3) összefüggéssel adott sorozatok feltételezen konvergensek. Ennek illusztrálására bemutatunk egy divergens esetet. Legyenek a kondenzátorok energiamentesek és gyűjtsuk be elsőnek a $T1$ és $T4$ tirisztorokat. Ekkor

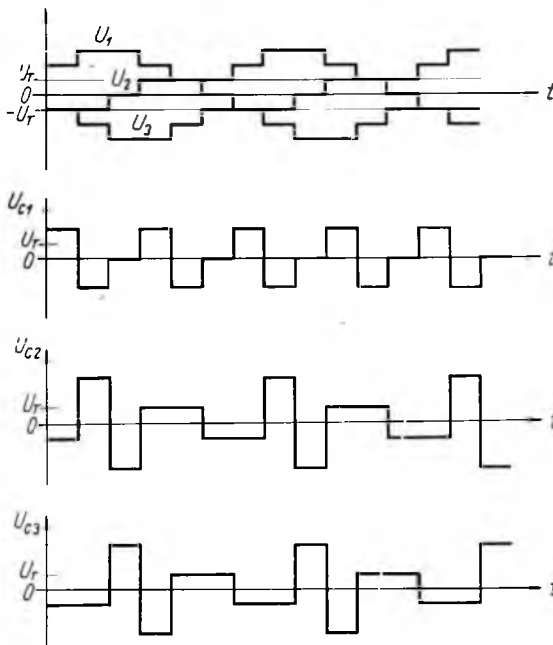
$$U_{C10} = 2U_T,$$

$$U_{C20} = -U_T,$$

$$U_{C30} = -U_T$$

feszültségekre töltődnek fel a kondenzátorok. Ezekkel a kezdeti értékekkel a (3) sorozat tagjait és az ezekből adódó időlefutást az 5-5. ábra szemlélteti. A sorozat divergens, de korlátos is, ami a feszültség hullám-formákban szubharmonikusok megjelenését okozza.

A valóságban a mindig jelenlevő rezgőköri veszteségek miatt konvergens eset adódik és szubharmonikusok csak a tranziensek alatt lépnek fel.



5-5. ábra. A kommutáló kondenzátor feszültsége veszteségmentes rezgőkört feltételezve, $I_T = 0$ terhelőáram esetén

4. A rezgőköri veszteségek hatása

Továbbra is az üresjárású esetben maradvan veszteséges esetben is az 5-3. ábrán látható kapcsolás érvényes a kommutáló áramkör állapotváltozására. A kondenzátorok feszültségei az áramok nullátmenetének pillanatában a csillapítás figyelembevételével

$$\left. \begin{aligned} U_{C11} &= U_{C10} - U_{10} \cdot (1+k) \\ U_{C21} &= U_{C20} + (U_T - U_{C20}) \cdot (1+k) \\ U_{C31} &= U_{C30} - (U_T + U_{C30}) \cdot (1+k) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ahol U_{C10} ; U_{C20} ; U_{C30} a kondenzátorok feszültségeinek kezdeti értékei és

$$k = e^{-\frac{\pi}{2Q}}$$

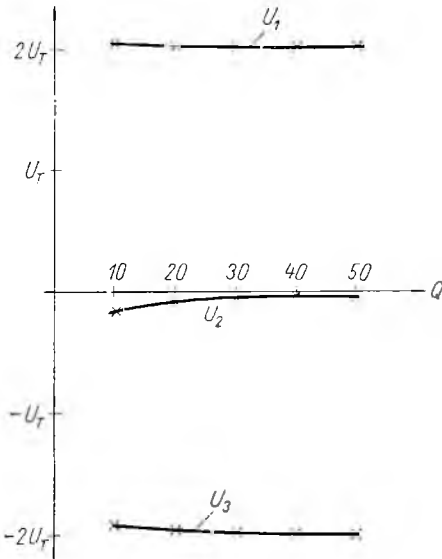
ahol Q a rezgőkörök jósági tényezője. (5) szerint az előző pontban ismertetett jelölések és gondolatmenet alapján a következő rekurzív összefüggések adódnak:

$$\left. \begin{aligned} U_1^{(n)} &= U_T(1+k) - kU_2^{(n-1)} \\ U_2^{(n)} &= -U_T(1+k) - kU_3^{(n-1)} \\ U_3^{(n)} &= -kU_1^{(n-1)} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Így a határértékek:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= U_T \frac{(1+k)^2}{1+k^3} \\ U_2 &= U_T \frac{(1-k) \cdot (1+k)^2}{1+k^3} \\ U_3 &= -U_T \frac{k(1+k)^2}{1+k^3} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

A (7) összefüggésekkel meghatározható U_1 , U_2 és U_3 függése a rezgőkör jósági tényezójétől (5-6. ábra).



5-6. ábra. A kommutáló kondenzátorok feszültségének határértéke a jósági tényező függvényében $I_T = 0$ terhelőáram esetén

Q	$\frac{U_1}{U_T}$	$\frac{U_2}{U_T}$	$\frac{U_3}{U_T}$
10	2,1177	-0,308	-1,809
20	2,069	-0,1562	-1,912
30	2,048	-0,1045	-1,943
40	2,036	-0,078	-1,958
50	2,03	-0,063	-1,967
∞	2	0	-2

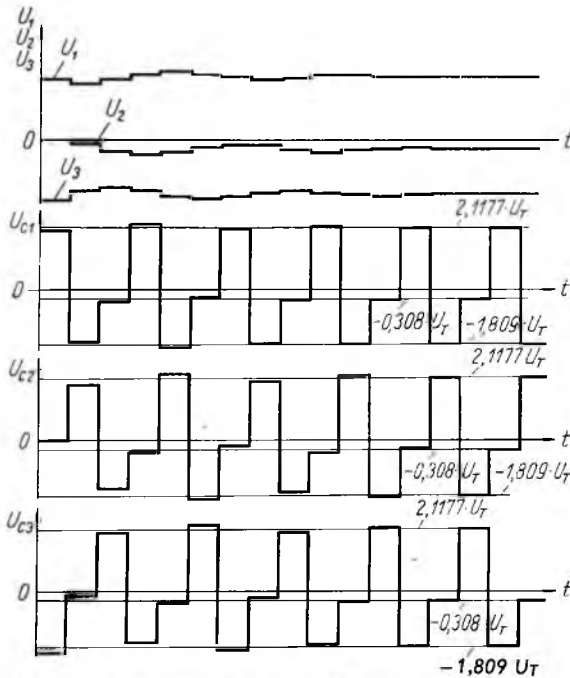
Az 5-6. ábrából az idődiagram a következő összefüggések alapján szerkeszthető:

$$\begin{bmatrix} U_{C1[1]} \\ U_{C1[2]} \\ U_{C1[3]} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_{C2[1]} \\ U_{C2[2]} \\ U_{C2[3]} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_{C3[1]} \\ U_{C3[2]} \\ U_{C3[3]} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}$$

Itt a szögletes zárójelben szereplő indexek az időbeli lépésekre utalnak. A konvergencia illusztrálására bemutatjuk $U_{C10}=2U_T$; $U_{C20}=0$; $U_{C30}=-2U_T$ kezdeti feltételek esetén a transziens folyamat idődiagramját (5-7. ábra).

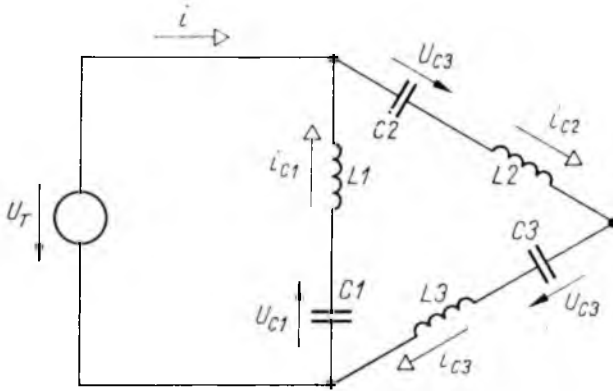


5-7. ábra. A transziens folyamat idődiagramja

5. A terhelőáram hatása

A terhelőáram hatásának vizsgálatokor feltételezzük, hogy a terhelés induktív időállandója akkora, hogy a kommutáció alatt a terhelőáram állandó, mivel ez a legkedvezőtlenebb eset. A kommutáció első fázisában itt is az 5-3. ábra helyettesítő kapcsolása érvényes. Megváltozik azonban az áramkör struktúrája, amikor a DI ,

$D7$ diódák lezárnak. Ekkor az 5-8. ábra szerinti kapcsolás érvényes a kommutáló körre mindaddig, amíg az i áram zérusra nem csökken. A $D1, D7$ diódák akkor zár-
nak le, amikor az 1-es és 3-as kondenzátor árama a csökkenő szakaszon eléri a ter-
helőáram értékét.



5-8. ábra. A kommutáló áramkör helyettesítő kapcsolása
 $D1, D7$ (l. 5-1. ábra) diódák lezárásától $i=0$ állapotig

A $D1, D7$ diódák lezárásakor a kondenzátorok feszültsége

$$\left. \begin{aligned} U_{C11} &= U_{C10} - U_{C10}[1 + k\varepsilon_1] \\ U_{C21} &= U_{C20} + (U_T - U_{C20}) \cdot [1 + k\varepsilon_1] \\ U_{C31} &= U_{C30} - (U_T + U_{C30}) \cdot [1 + k\varepsilon_1] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

ahol $U_{C10}; U_{C20}; U_{C30}$ a kondenzátorok kezdeti feszültsége;

$$k = e^{-\frac{\pi}{2Q}}$$

Q a rezgőkörök jósági tényezője;

$$\varepsilon_1 = e^{\frac{\varphi}{2Q}} \cos \varphi \quad \text{és}$$

φ az $i_3 - i_1 = I_T$ feltételt kielégítő vezetési szög.

A kommutációs folyamat végén a kondenzátorok feszültsége

$$U_{C12} = U_{C11} - \Delta U,$$

$$U_{C22} = U_{C21} + \frac{1}{2} \Delta U,$$

$$U_{C32} = U_{C31} + \frac{1}{2} \Delta U,$$

ahol
$$\Delta U = (U_T + U_{C11}) \cdot (1 - \varepsilon_2) - U_{C10} e^{-\frac{\varphi}{2Q}} \varepsilon_3 \sin \varphi,$$

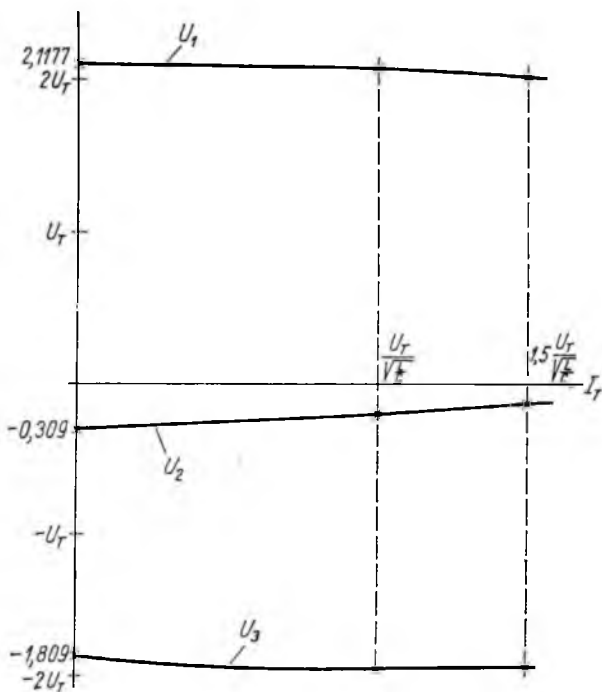
$$\varepsilon_2 = e^{-\frac{\varphi'}{2Q}} \cos \varphi',$$

$$\varepsilon_3 = e^{-\frac{\varphi'}{2Q}} \sin \varphi', \quad \text{és}$$

φ' az i áram nullátmenetének a szöge. Ebben az esetben a kondenzátorok feszültségének határértéke explicit alakban már nem fejezhető ki, a rekurziós összefüggések felhasználásával azonban a határértékek numerikus módszerekkel meghatározhatók. A számításokat illusztratív jelleggel $Q=10$ esetére

$$I_T = \frac{U_T}{\sqrt{\frac{L}{C}}} \quad \text{és} \quad I_T = 1,5 \frac{U_T}{\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

értékekre elvégeztük. Ennek eredménye az 5-9. ábrán látható.



5-9. ábra. A kommutáló kondenzátorok feszültségének határértéke $Q=10$ esetén a terhelőáram függvényében

6. Összefoglalás

Megvizsgáltuk egy adott kapcsolású fázisok között kommutáló inverter oltókörét. Azt tapasztaltuk, hogy a gyakorlati esetet jól megközelítő $Q=10$ nagyságú jósági tényező esetén a kommutáló kondenzátor nem leng fel. Állandósult állapotban a kondenzátor feszültségének értéke a terhelőáramtól függ. Jelleggörbével ábrázoltuk az állandósult állapotban levő feszültség terhelőáramtól és a rezgőkör jósági tényezőjétől való függését. Méretezés szempontjából a terhelőáramtól való függés elha-

nyagolható, mivel az eltérés különböző terhelőáramok esetén a kommutálóköri elemek szórásából adódó értéknél kisebb. Ennek felhasználásával a méretezést a rezgőkör jósági tényezőjének figyelembevételével az 5-6. ábra alapján lehet elvégezni, a klasszikus Mc Murray-kapcsolásra érvényes összefüggésekkel.

Irodalom

- [1] *A. Sz. Szandler—G. K. Avvakumova—A. V. Kudrsavcev—A. A. Nykolszkij: Preobrazovateli csasztotü na tirisztorah dla upravlenyija vüszokoszkorosztümi dvigateljami. Energija, Moszkva, 1970.*
- [2] *Heumann—Stumpe: Tirisztorteknika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.*

6.

Állandó programmal működő vezérlők tervezési kérdései

BOHUSS AURÉL

ÖSSZEFOGLALÁS

Gyakran felmerülő feladat nagyszámú végrehajtószerv meghatározott időbeli sorrendben történő automatikus működtetése. A programban bizonyos feltételektől függően elágazások, ugrások is lehetnek. A programot legegyszerűbben utasításszámlálóból, utasítástárolóból, dekóderből álló áramkörkészlettel lehet megvalósítani. Az így nyert automata huzalozott programozású lesz, ha az utasítástárolójába a megírt programot kitörölhetetlenül „beégetik”. A cikk a programnyelvnek és utasításkészletnek a folyamatábra alapján történő megszerkesztésével foglalkozik.

ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТОВ С ПОСТОЯННОЙ ПРОГРАММОЙ

А. Бохуши

Резюме

Часто возникает задание автоматического срабатывания некоторого n количества исполнительных органов по определённой временной последовательности. Программа — при некоторых условиях может содержать разветвлений и скачков. Программа реализуема простейшим образом набором из счётчика команд, регистра команд, дешифратора. Неочищаемым вжиганием записанной программы в регистр команд, автомат станет автоматом с проволочной программой. Статья занимается спроектированием программного языка и набора команд, исходя из диаграмм состояний.

PROJEKTIERUNGSFRAGEN DER STEUERUNGEN MIT FESTWERTSPEICHER

A. Bohuss

Zusammenfassung

Sehr häufig wird die Aufgabe gestellt, eine grosse Anzahl von Stellorganen in bestimmter Zeitfolge automatisch zu betätigen. Im Programm sind Abzweigungen und Sprünge möglich, die von gewissen Bedingungen abhängen. Das Programm kann am einfachsten mit Schaltungen, bestehend aus Anweisungszähler, Anleitungsspeicher, Dekoder und Steuerkreisen aufgebaut werden. Der derart erhaltene Automat wird mit Beschaltungsprogramm arbeiten, wenn das einge — brachte Programm unlöschar in den Anleitungsspeicher „eingebrannt“ wird. Der Artikel behandelt die Konstruktion anhand des Zustandsdiagramms der Programmsprache und der Befehls-garnitur.

DESIGN PROBLEMS OF CONTROLLERS OPERATED ACCORDING TO A PERMANENCE STORAGE

By A. Bohuss

Summary

It may often become necessary to operate a lot number of final control elements automatically within a determined time sequence. Depending on certain conditions the program may contain also branchings and jumps. The program can be implemented in the simplest way with the aid of a set of circuits consisting of instruction counter, instruction memory, decoder, control circuits. The automatic device obtained in this way will be of the wired program type if the written program is inefaceably "burnt in" in the instruction memory. The paper deals with establishing the program language and set of instructions on basis of the flowchart.

Gyakran visszatérő vezérléstechnikai feladat valamely gép, berendezés vagy elektronikus készülék egységeinek szigorúan meghatározott időbeli sorrendű automatikus működtetése. A működést leíró program bizonyos belső vagy külső feltételek logikai értékétől függően elágazásokat is tartalmazhat, vagy ciklikus működésű lehet. A tervezők általában egyedileg méretezett sorrendi hálózattal szokták megoldani a feladatot. Felrajzolják a folyamatábrát, kiszámítják a szükséges belső állapotok és ezek megvalósításához szükséges flip-flopok számát, majd a vezérlési egyenletek minimalizálásával megtervezik a hálózatot. A módszer hosszadalmas, nehezen áttekinthető, programelágazások és ciklusok esetén igen bonyolult hálózatot eredményez egyszerűen azért, mert építőkövéje túlságosan kevés sorrendi funkciót megvalósító eszköz, a flip-flop. A tervezés egyszerűsíthető, ha nagyobb bonyolultságú rendszertechnikai elemeket használunk. A mai digitális integrált áramkört választék erre tág lehetőséget nyújt.

1. A programvezérelt automata rendszertechnikai felépítése

Az automatikus működésű berendezés egységei a program lebonyolításában betöltött szerepük szerint három csoportba oszthatók:

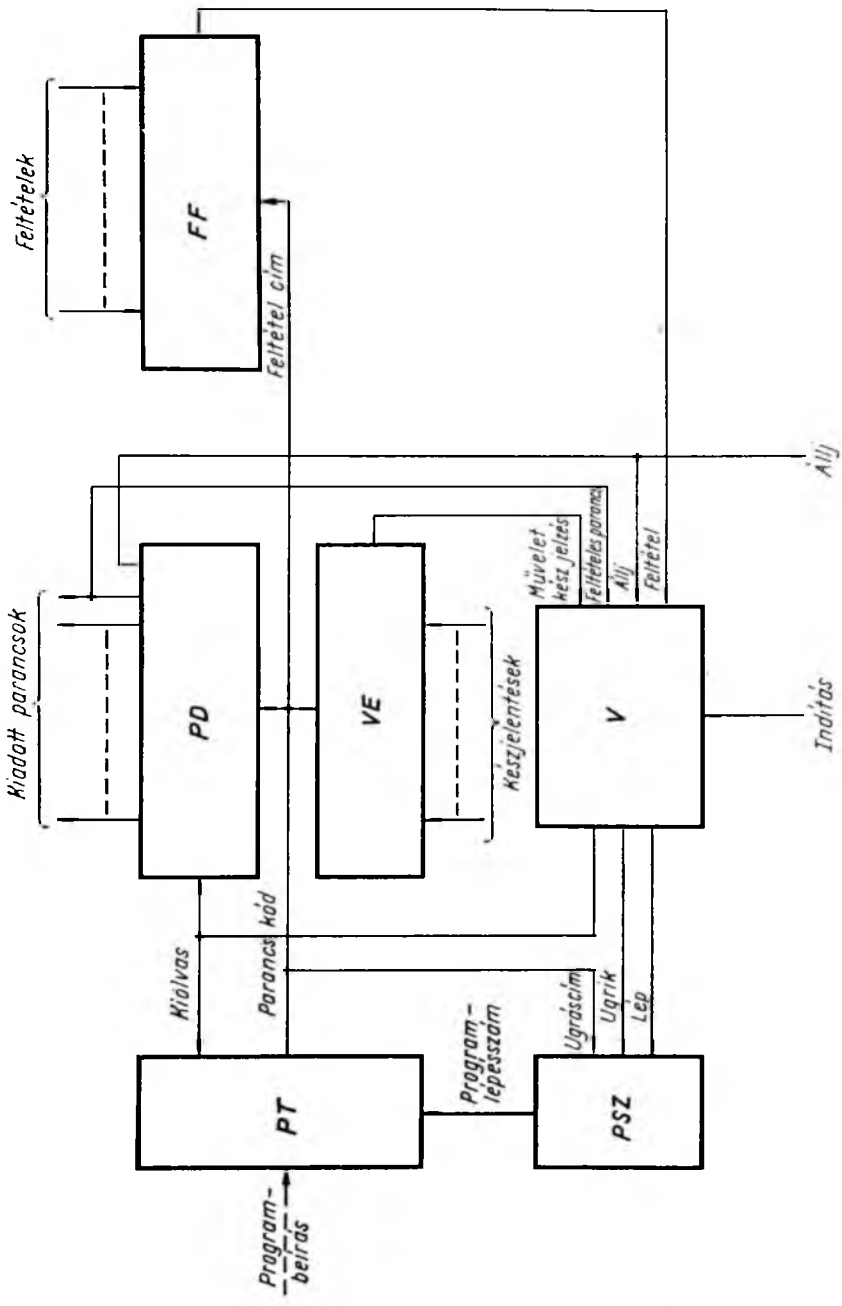
- műveletvégző áramkörök,
- az előbbiek program szerinti működését vezérlő áramkör,
- a program futását befolyásoló feltételek logikai értékét előállító áramkörök.

1.1 A vezérlőáramkör

A programvezérelt automata egységei közül a vezérlőáramkör feladatai fogalmazhatók meg a leghatározottabban:

- a programban értelmezett műveleteket tárolnia kell,
- biztosítania kell a műveletek elvégzési sorrendjét,
- ki kell adnia a parancsot a soron következő művelet végrehajtására,
- ellenőriznie kell a parancs végrehajtását,
- a külső és belső feltételek logikai értékétől függően programelágazásokat, ciklusokat kell gerjesztenie.

Az ismertetett feladatokat ellátó vezérlőáramkör blokkismáját a 6-1. ábra mutatja. Fő egységei a következők:



6-1. ábra. A vezérlóáramkör blokkjánja

- PT* Programtároló: a program szerint elvégzendő műveleteket tárolja kódolt formában.
- PD* Parancsdekóder: a *PT*-ből kiolvasott parancskódot értelmezi, a megfelelő műveletvégző áramkör indítja.
- VE* Végrehajtás-ellenőrző: figyelni a kiadott parancs végrehajtását.
- PSZ* Programszámláló: a parancsok program szerinti sorrendben történő végrehajtását biztosítja.
- FF* Feltételfigyelő: a program elágazásait befolyásoló feltételek logikai értékét figyelni.
- V* Vezérlő: az egész vezérlőáramkör indítását, leállítását az egyes blokkok munkájának összehangolását végzi.

A 6-1. ábra szerinti sémában valamely programlépés végrehajtása a következőképpen történik: *V* kiolvassa *PT*-ből a *PSZ* által megadott sorszámú programlépés parancskódját. *PD* ezt dekódolja, indítja a megfelelő műveletvégző áramkört. A művelet befejezése után a *VE*-n át beérkező készjelzés hatására *V* *PSZ*-t a soron következő programlépésre lépteti.

Az ismertetett egységekből álló vezérlőáramkör programelágazásokat is végre tud hajtani, mert *PT* feltételes parancsokat is tartalmazhat. Az ilyen parancsok kódja megadja, hogy melyik feltétel logikai értékét kell megvizsgálni, a feltétel teljesülése esetén hányas számú programlépésnél (ugráscím) kell a programot folytatni. Így *V* ha *PT*-től feltételes parancs kódját olvassa ki, *FF* a parancskódban megadott feltétel logikai értékét *V* felé továbbítja. A feltétel teljesülése esetén *V* a *PSZ*-t a parancskódban megadott sorszámú programlépésre ugratja, nemteljesülése esetén *PSZ* csak egyet lép. A programot a külső startjel indítja. Leállítását a program végén elhelyezett *Allj* parancs végzi.

A 6-1. ábra szerinti vezérlőáramkör *PT* tárolójának kialakításától függően az automata programja állandó vagy változtatható. Amennyiben *PT* író—olvasó típusú memória, akkor a működési programot *PT* tartalmának átírásával megváltoztathatjuk. Ebben az esetben a 6-1. ábrát ki kell egészíteni a *PT* feltöltéséhez szükséges, további áramköri egységekkel. Ha *PT*-t csak olvasásra használt memóriaelemekből (PROM) építjük fel, az automata állandó programú lesz.

1.2 A műveletvégző áramkörök

Az 1.1 pontban ismertetett vezérlőáramkör univerzális, mert igen sok gyakorlati feladat megoldására változtatás nélkül alkalmazható. A vezérlőáramkör által kiadott parancsokat végrehajtó műveletvégző áramkörök felépítését, funkcióját már a feladat határozza meg. Úgy is mondhatjuk, hogy egy-egy feladat megoldására az univerzális vezérlőáramkört kell kiegészítenünk a feladathoz igazodó műveletvégző áramkörökkel. Nézzünk néhány példát a megoldható feladatokra.

Programvezérelt gép vagy berendezés automatikájának tervezésekor a kiadott parancsok beavatkozószerveket (relék, kontaktorok, tirisztoros kapcsolók, szerszámmozgató hajtások stb.) kijelzőket működtethetnek. Célkalkulátor tervezésénél a parancsokkal aritmetikai műveleteket, tároló műveleteket, kiíratást, kijelzést, adatbevittelt stb. lehet vezérelni. Digitális berendezés, pl. adatgyűjtő esetén a parancsok betárolást, ellenőrzést, lyukszalagkészítést, nyomtatást, adatkivittelt stb. hajtának végre.

1.3 A feltételek logikai értékét előállító áramkörök

A programban elágazásokat vagy ciklusokat gerjesztő feltételek szintén a megoldandó feladattól függenek. Ezen feltételek logikai értékét előállító áramkörök, éppúgy, mint a műveletvégző áramkörök, az adott feladathoz igazodnak. Az 1.2 pont példái-nál maradvá: Programvezérelt géphez vagy berendezéshez mozgás, távolság, vég-állás, hőmérséklet, nyomás adott értékét figyelő áramkörök szükségesek. Célkalku-látorhoz szükséges feltétel-áramkörök: valamely számítás eredménye pozitív, nega-tív vagy nulla, két adat egymáshoz viszonyított relációi stb. Digitális berendezés, pl. adatgyűjtő feltétel-áramkörei: adott sorszámú adatforrás közöl-e adatokat, a bejött adatok kódhelyesek-e, tartalmilag helyesek-e, a kiírás formája a lehetőségek kö-zül melyik stb.

2. A vezérlőáramkör kialakítása

A vezérlőáramkör áramköri kialakítását több szempont befolyásolja:

- állandó vagy változtatható programú-e a vezérlő,
- az egymástól különböző parancsok száma,
- az összes parancsok száma,
- a feltételek száma,
- a feltételes parancsok maximális ugráscíme.

A felmerülő feladatok megoldására olyan vezérlőáramkört dolgoztunk ki, amely állandó programú, 13 egymástól különböző parancsot és egy feltételes paran-csot tud egymástól megkülönböztetni, a program maximálisan 64 lépésből állhat, a feltételek száma 15, feltételes parancsok esetén az ugratás 32 lépésből álló cso-ponon belül történhet. A továbbiakban a kidolgozott megoldást ismertetjük, amely-nek ismeretében más paraméterekkel rendelkező vezérlőáramkör is kialakítható.

2.1 A kidolgozott vezérlőáramkör

Az áramkör elvi kapcsolását a 6-2. ábra mutatja. Az egyes áramköri egységek jelö-lése a 6-1. ábrához igazodik. A *PT* programtárolót 2 db programozható, csak olva-sásra használt memória (PROM) alkotja. Az egyes programlépésekhez tartozó pa-rancskódokat *IC 1*-ben tároljuk, 64 darab 8 bites parancskód fér el benne. Címzését a *PSZ* programszámláló végzi a binárisan kódolt program lépésszám előállításával (*PA...PF*). A kiolvasását az *EN* engedélyező bemenetre adott „0”-val a *V* vezérlő érvényesíti. A kiolvasott parancskód a *PK1...PK8* pontokon jelenik meg. A *PT* pro-gramtároló másik részét az *IC3* adatkapcsoló segítségével 64×4 bit kapacitásúvá ala-kított *IC2* PROM képezi, amely a feltételes parancsokhoz tartozó feltételcímetek tárolja. A feltételcím 0-tól különböző, négyjegyű bináris szám (*PF1...PF4*). Az *IC2* kiolvasását a *V* vezérlő az *IC3* Strobe pontjára adott 0-val érvényesíti.

A *PSZ* programszámláló két darab szinkron bináris előreszámlálóból áll (*IC4—IC5*), amelyet minden egyes végrehajtott parancs után a *V* vezérlő eggyel léptet. A statikus *DA...DD* bemenetekre rá van kötve a parancskód öt bitje (*PK1...PK5*). Feltételes parancs végrehajtásakor (ha a feltétel teljesült) *V* a load (beíró) bemenetekre adott 0 impulzussal a számlálót a *PK1...PK5* bitekkel jellemzett állapotba ugratja. (A működést esetleg megzavaró „hazárdok” kiküszöbölése érdekében *PSZ* kimene-tei késleltetőkön át címzik *PT*-t). Tekintettel arra, hogy a parancskódnak csak öt bitjét lehet ugratásra használni (különben kevesebb parancsot lehet kódolni) pro-gramugratás csak a 0.—31. vagy a 32.—63. programlépés-csoporton belül lehet-

séges. Az ugráscím bitszáma tehát eggyel kevesebb, mint a program-lépésszám biteinek száma, ezért ugrás esetén az IC5 QB kimenete (PF) változatlan marad. A programszámláló a vezérlőáramkör indítatlan helyzetében 0 állapotban van.

A PD parancsdekóder az IC6 „1 a 16-ból” dekóder, amely a PK8...PK5 parancskódbitek által leírt *i*-edik sorszámú *Pi* vezetékre adott 0-val indítja az *i*-edik műveletvégző áramkört. A parancskód PK4...PK1 bitjei egy adott parancson belül további szelektálást végezhetnek, ezt a szelektálóáramkört azonban a műveletvégző áramkörökben kell elhelyezni. PD dekódolja az Állj és a feltételes parancsot is.

A VE végrehajtásellenőrző áramkör az IC7 multiplexer, amely a címző bemenetei által meghatározott sorszámú adatbemenetének állapotát kapcsolja Y kimenetére. A *Pi* parancs által indított műveletvégző áramkör a parancs teljesítésekor *Vi*-re adott 0-val jelzi a művelet elvégzését. Tekintettel arra, hogy IC7-t is a parancskód PK8...PK5 bitjei címzik, biztosítva van, hogy bármelyik parancshoz a megfelelő készenlétjelzés jusson a vezérlőre.

Az FF feltételfigyelő áramkör is multiplexer, E1...E15 bemeneteire csatlakoznak a feltételek logikai értékét előállító áramkörök. Ha valamelyik feltétel teljesül, akkor a hozzá tartozó *Fi* logikai értéke 0. Feltételes parancsok végrehajtása esetén PF1...PF4 vezetékeken át binárisan kódolt formában érkezik a figyelt feltétel *i* sorszáma. FF ezen sorszámmal megegyező *Fi* feltétel logikai értékét kapcsolja a V vezérlőhöz.

A V vezérlő az IC9 flip-flopból, az IC10 és IC11 kapuból áll. A program indítását az Indítás bemenetre érkező 0 végzi. Ekkor az IC11c kimenete 1 lesz, a programszámláló törlése megszűnik. A program futásának ütemét meghatározó első órajelre IC9 0-ba billen. A Q kimenet kiolvasójelet ad PT-re (IC1 EN és IC3 Strobe), engedélyezi a kiolvasott parancskód dekódolását (IC6 G1, G2). A *Pi*-n át kiadott parancs elindítja a megfelelő műveletvégző áramkört. Amint az a műveletet befejezte, a hozzá tartozó *Vi* bemenetre 0-t ad. Az IC7 Y kimenete és IC11b bemenete 1 lesz. Hatására IC11b kimenete 0 lesz, ezért IC9 a következő órajelre 1-be billen. A PT kiolvasó és PD engedélyező jele megszűnik, a PSZ programszámláló IC9 Q kimenetén létrejövő 1→0 váltás miatt egyet lép. Végrehajtott az első parancs, létrejött a következő parancs címe. Az IC11b kimenete IC9 1-be billenésekor újra 1 lesz, ezért C9 a következő órajelre újra 0-ba tud billenni, megindítja a következő parancs végrehajtását, amely a fent leírt módon megy végbe.

Feltételes parancs végrehajtásakor PT-ből kiolvasott feltétel címmel egyező sorszámú *Fi* feltétel logikai értéke IC10 egyik bemenetére továbbítódik. Ha a feltétel teljesült, e bemeneten 1 lesz. Az IC10 többi bemenetei IC9-ről, a feltételes parancsról és a Művelet kész jelzésről már 1-ben vannak. Az IC10 kimenete 0-ba vált, e ez rövid idejig tart, mert róla IC9 statikusan alaphelyzetbe (1) kerül. Az IC10 kimenetén megjelenő 0 impulzus hatására PSZ a parancskód PK5...PK1 bitjeit bevételezi, ezáltal a programban ugrás történik. Ha a feltétel nem teljesül, IC10 bemenete 0, kimenete 1, PSZ ugratása elmarad. Ilyenkor IC11b segítségével (IC7 E14, E15 0-ra van kötve) IC9 a következő órajelre 1-be billen, PSZ csak egyet lép. A programban szereplő parancsok és feltételes parancsok végrehajtása a fent leírt módon történik. A program végén elhelyezett Állj parancs kiadása után a kívülről jövő Indítás jelzés megszűnik.

2.2 A vezérlőáramkör utasításrendszere

A vezérlőáramkör által végrehajtható parancsok kódolását a 6-1. táblázat tartalmazza. Látható, hogy a parancsokat a parancskód PK8...PK5 bitjei különböztetik meg egymástól. A PK4...PK1 biteket nem tüntettük fel, ezeket a műveletvégző áramkörökben kell dekódolni, amennyiben egy adott parancson belül további szelek-

tálásra akarjuk használni őket. Feltételes parancs esetén a *PK5...PK1* bitek az ug-ráscím bináris értékét veszik fel. Ennél a parancsnál a vizsgált feltétel sorszámát a *PF1...PF4* feltételbitek határozzák meg. A feltételeket a 6-2. táblázatban láthatjuk.

6-1. táblázat

A parancsok kódjai

Parancs	PK 8	PK 7	PK 6	PK 5	Készjelzés
P0	0	0	0	0	V 0
P1	0	0	0	1	V 1
P2	0	0	1	0	V 2
.
.
.
.
P11	1	0	1	0	V 11
P12	1	0	1	1	V 12
Állj	1	1	0	1	—
FP	1	1	1	X	—

6-2. táblázat

A feltételek kódjai

Feltétel	PF 4	PF 3	PF 2	PF 1
F 1	0	0	0	1
F 2	0	0	1	0
F 3	0	0	1	1
.
.
.
F 13	1	1	0	1
F 14	1	1	1	0
F 15	1	1	1	1

3. Az állandó programú automata tervezési lépései

A 2. pontban ismertetett vezérlőáramkör felhasználásával az alábbi lépésekben állandó programú automatát lehet tervezni:

- a feladat megfogalmazása,
- a program folyamatábrájának elkészítése,
- a műveletvégző áramkörök feladatainak meghatározása,
- a vezérlőáramkör parancskészletének kiosztása,
- a végleges folyamatábra elkészítése,
- a programtároló tartalmának meghatározása,
- a PROM-ok programozása,
- a műveletvégző és feltételáramkör megtervezése,
- konstrukciós tervezés,
- bemérés, dokumentálás.

A fenti tervezési lépéseket (az utolsó három kivételével) példa megoldása kapcsán fogjuk bemutatni.

3.1 A feladat megfogalmazása

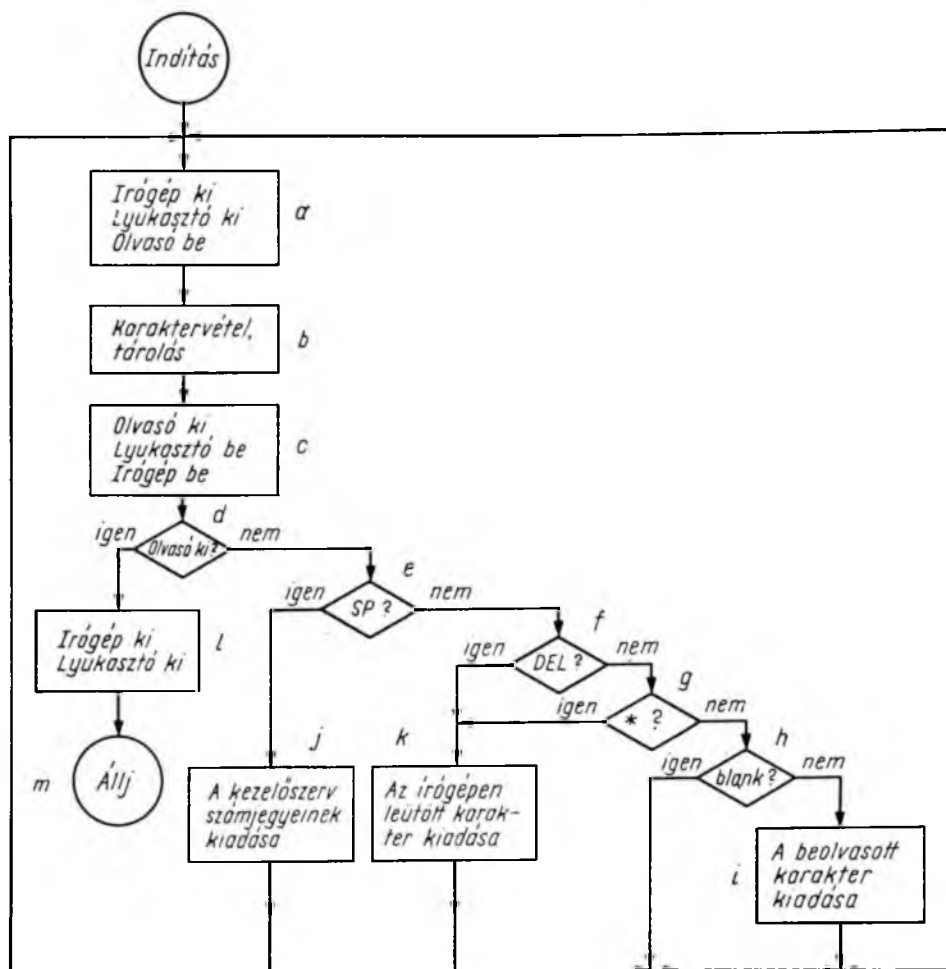
Egy lyukszalaglyukasztóból, olvasóból, írógépéből álló adatelőkészítő berendezést ki kell egészíteni szalagjavító elektronikával. Az elektronika az indítás megérkezése után végezze el az alábbiakat:

- az olvasóról kérjen be egy karaktert, de olvasás alatt ne vigye szalagra, ne gépelje ki. Az olvasás után vizsgálja meg, módosítsa a következők szerint:
- ha az olvasóról bekért karakter *SP*, helyette az elektronika *K* kezelőszervén beállított hatjegyű számjegyet írja ki, vigye szalagra;
- DEL (összes lyukpozíció) vagy * karakter helyett az írógép billentyűjén leütött karakter kerüljön szalagra, íródjon ki;
- Blank (üres) karakter ne lyukasztódjon;
- ha a karakter a fentiekkel nem egyezik, legyen változatlanul kigépelve, szalagra lyukasztva;
- az elektronika a lyukszalag valamennyi karakterét módosítsa a fentiek szerint;
- az elektronika működése álljon le a szalag végén található olvasókikapcsoló kód hatására.

3.2 A program folyamatárjábanak elkészítése

A 3.1 pontban megfogalmazott működési feltételekhez készített folyamatábrát a 6-3. ábra mutatja. Indítás után a programot végre kell hajtani a következő lépésekben:

- a) be kell kapcsolni az olvasót, ki kell kapcsolni az íróművet és a szalaglyukasztót;
- b) az olvasóról be kell kérni egy karaktert és tárolni kell;
- c) az olvasó kikapcsolásával, az írómű és szalaglyukasztó bekapcsolásával elő kell készíteni az adatrögzítést;
- d) meg kell vizsgálni, hogy a betárolt karakter olvasókikapcsoló kód-e, mert akkor a program befejezéséhez az *l*-edik lépésre kell ugrani;
- e) ha a betárolt karakter *SP*, el kell ugrani a *j*-edik lépésre, ahol a *K* kezelőszerv adatait nyomtatjuk;
- f) g) ha a betárolt karakter DEL vagy *, el kell ugrani a *k*-edik lépésre, hogy az írógép billentyűzetéről vigyünk szalagra adatot;
- h) ha a betárolt karakter blank, nem kell kiadni, ezért visszaugrunk a program elejére;
- i) ha az e), f), g), h) lépésekben megállapítottuk, hogy a betárolt karakter nem speciális, akkor ki kell adni az adatelőkészítőnek nyomtatásra, lyukszalagravitelre;
- j) a kezelőszerv számjegyeit sorban kiadjuk, majd visszaugrunk a program elejére;
- k) az írógépen leütött karakter lyukszalagra kerül és nyomtatódik, mert az írómű és lyukasztó be van kapcsolva. Ezután a program elejére ugrunk;
- l) kikapcsoljuk a perifériákat,
- m) a program véget ér.

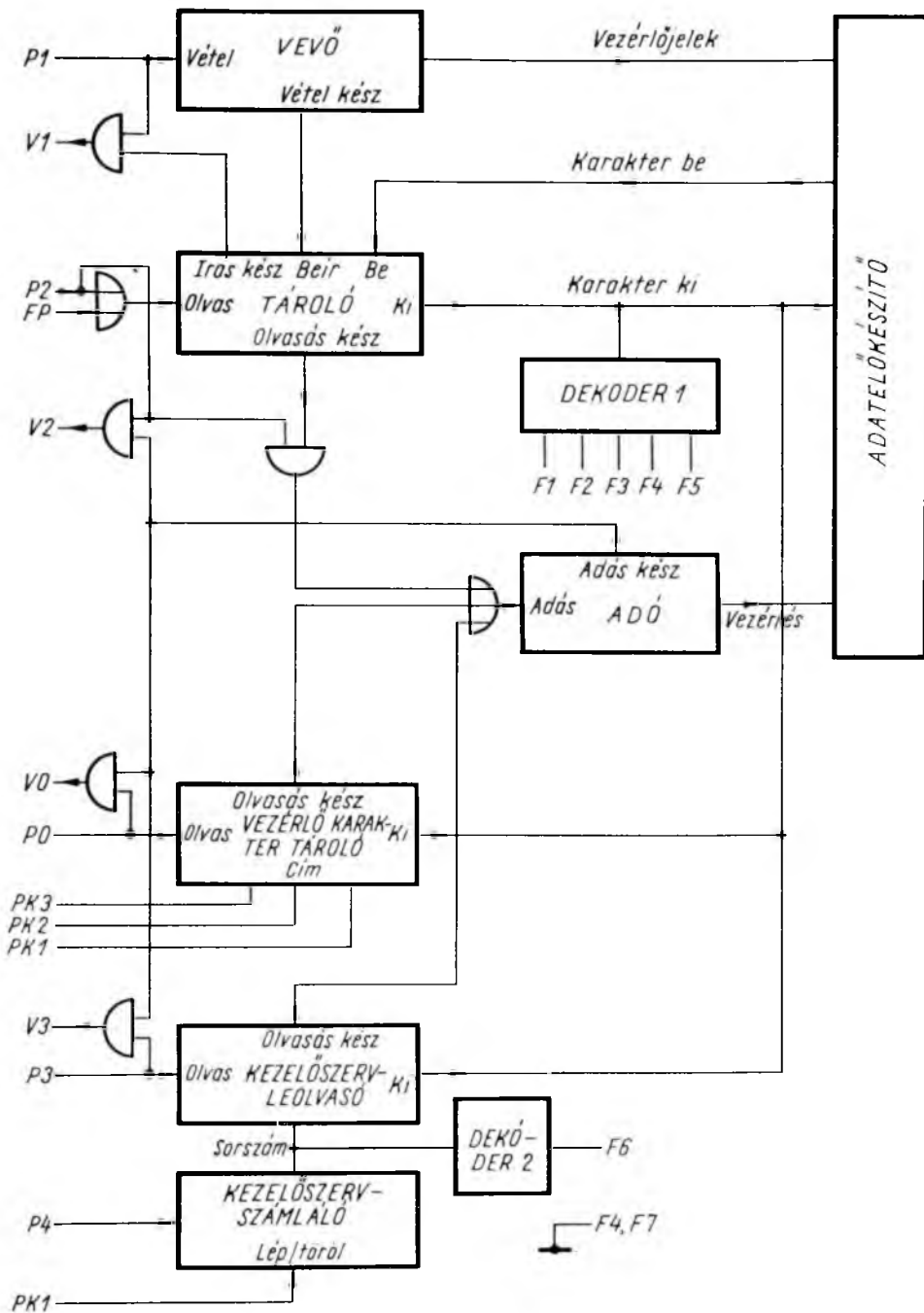


6-3. ábra. A 3.1 pont szerinti feladathoz tartozó folyamatábra

3.3 A műveletvégző áramkörök feladatainak meghatározása

A folyamatábra elkészítése után meghatározhatjuk a szükséges műveletvégző áramköröket, kioszthatjuk rájuk a vezérlőáramkör parancskészletét (6-4. ábra). A *P1* parancs indítja a *Vevő*-t, amely a szükséges vezérlőjelek kiadásával az *Adatelőkészítő*-től adatot kér. A beérkező karakter a *Vevő Vétel kész* jelzése hatására a *Tároló*-ba íródik. Az *Írás kész* jelzés egyben *P1* parancs *V1* készjelzését is szolgáltatja. A *P1* utasítást a *b)* és *k)* programlépések végrehajtásához használjuk fel. Az *Adatelőkészítő* mindig a bekapcsolt perifériáról fog adatot adni, így a *b)* lépésnél az olvasóról, *k)* lépésnél az írómű billentyűzetéről. A *b)* lépésnél a kikapcsolt lyukasztó, írómű miatt a vett karakter csak tárolódik, *k)* lépésnél lyukszalagra kerül, nyomtatódik is.

Az *i*-edik programlépés végrehajtását a *P2* parancs végzi. Ez a parancs kiolvassa a *Tároló*-ban levő karaktert. Az *Olvasás kész* jel elindítja az *Adót*, amely az *Adatelő*-



6-4. ábra. A műveletvégző áramkörök

készítő-nek kiadott vezérlőjelek segítségével a *Tároló* kimenetén levő karaktert szalagra viszi, nyomtatja. Az *Adó Adás kész* jelzése szolgáltatja a *P2* parancs *V2* készjelzését.

Az *a), c), l)* programlépések során az *Adatelőkészítő*-nek vezérlőkaraktereket kell kiadni. Célszerű ezeket egy fixtárban (PROM) tárolni (*Vezérlőkarakter-tároló*). Az *Adatelőkészítő* a vezérlőkaraktereket nem viszi szalagra, hanem végrehajtja. A *P0* parancs először is kiolvassa a *Vezérlőkarakter-tároló*ból a szükséges karaktert. A parancskód *PK3, PK2, PK1* bitjei meghatározzák, hogy melyik karakterre van szükségünk. Az *Adatelőkészítő*-nek kiadható vezérlőkaraktereket a 6-3. táblázat tartal-

6-3. táblázat

A vezérlőkarakterek kódjai

Parancs	Vezérlő-karakter	Jelentése	PK 3	PK 2	PK 1
PO/0	DC 4	írógép és szalaglyukasztó kikapcsol	0	0	0
PO/1	TC 8	az olvasó bekapcsol	0	0	1
PO/2	EM	az olvasó kikapcsol	0	1	1
PO/3	DC 1	a szalaglyukasztó bekapcsol	1	0	0
PO/4	DC 3	az írógép bekapcsol	1	0	1

mazza, ahol feltüntettük az egyes vezérlőkarakterekhez választott *PK3...PK1* értéket is. A *P0* parancs öt alparancsra bomlik. A *P0* parancsok végrehajtása tehát az alábbi: a *Vezérlőkarakter-tároló*-ból kiolvasódik *PK3...PK1*-gyel meghatározott vezérlőkarakter, az *Olvasás kész* jelzés elindítja az *Adót*, amely a szükséges vezérlőjelek biztosításával az *Adatelőkészítő*-nek a karaktert kiadja. Az *Adó Adás kész* jelzése lesz *P0* utasítás *V0* készjelzése. Megjegyezzük, hogy a 6-3. ábrán szereplő *a*-edik programlépést a fentiek szerint két, a *c*-edik lépést három *P0* parancsra kell lebontani.

A *j)* programlépést a következőképpen lehet végrehajtani: A *K* kezelőszerv számjegyeit a *Kezelőszervleolvasó* fogja kiadni. A kiadandó számjegy sorszámát a *Kezelőszervszámoló* határozza meg, amelyet az adás megkezdése előtt nullázunk, minden számjegy kiadása után egyet léptetünk. Az adást befejeztük, ha a *Kezelőszervszámoló* a 6. állapotba ér. A *j)* programlépéshez tehát két utasítás lesz szükséges. A *P4* utasítás fogja *PK1* rétektől függően léptetni, vagy törölni a *Kezelőszervszámoló*-t.

A *P3* utasítás hatására a *Kezelőszervleolvasó* a soron következő számjegyet leolvassa, majd az *Adó*-t elindítva azt lyukszalagra viszi, nyomtatja. A *P3* utasítás *V3* készjelzése az *Adó Adás kész* jelzésével egyezik meg. A *P4* utasítás azonnal teljesül, ezért *V4*-et 0-ra kötjük. A *j)* utasítást végrehajthattuk volna úgy is, hogy a *Kezelőszervleolvasó*-t ne számláló, hanem a parancskód *PK1...PK3* bitjei vezéreljék. Azért választottunk számlálót, hogy ciklikus működésű programot is bemutathassunk.

Hátra van még a program feltételeinek előállítása. A *d), e), f), g), h)* lépések során a *Tároló* tartalmát kell megvizsgálni. E célból a feltételes parancs (*FP*) kiolvassa a *Tároló*-t, a *Dekóder 1* megállapítja, hogy a tárolt karakter egyezik-e a program elágaztatását végző karakterek egyikével; egyezés esetén a megfelelő *F1...F5* feltételkimenetre 0-t ad. Az egyes feltételek kiosztását a 6-4. táblázat tartalmazza.

6-4. táblázat

A program parancsainak és feltételeinek kódjai

Parancsok

Jele	PK 8	PK 7	PK 6	PK 5	PK 4	PK 3	PK 2	PK 1	Hatása	
PO/0	0	0	0	0	0	0	0	0	DC 4 Írógép, lyukasztó kikapcsoló kód kiadása.	
PO/1	0	0	0	0	0	0	0	1	TC 8 Olvasó bekapcsoló kód kiadása.	
PO/2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	EM Olvasó kikapcsoló kód kiadása.
PO/3	0	0	0	0	0	0	1	1	DC 1 Szalaglyukasztóbekapcsoló kód kiadása.	
PO/4	0	0	0	0	0	1	0	0	DC 3 Írógépbekeapcsoló kód kiadása.	
P1	0	0	0	1	0	0	0	0	Karakter vétele és tárolása.	
P2	0	0	1	0	0	0	0	0	A tárolt karakter kiadása.	
P3	0	0	1	1	0	0	0	0	A kezelőszerv-számjegy kiadása.	
P4/0	0	1	0	0	0	0	0	0	A kezelőszervszámláló törlése.	
P4/1	0	1	0	0	0	0	0	1	A kezelőszervszámláló léptetése.	
FP/F/X	1	1	1	X	X	X	X	X	Az F feltétel teljesülése esetén ugrás X-re.	
Állj	1	1	0	1	0	0	0	0	Program vége.	

X bitek helyére a programnak azt a binárisan kódolt lépészetét kell elhelyezni, ahová ugrani kell a feltétel teljesülése esetén.

6-4. táblázat folytatása

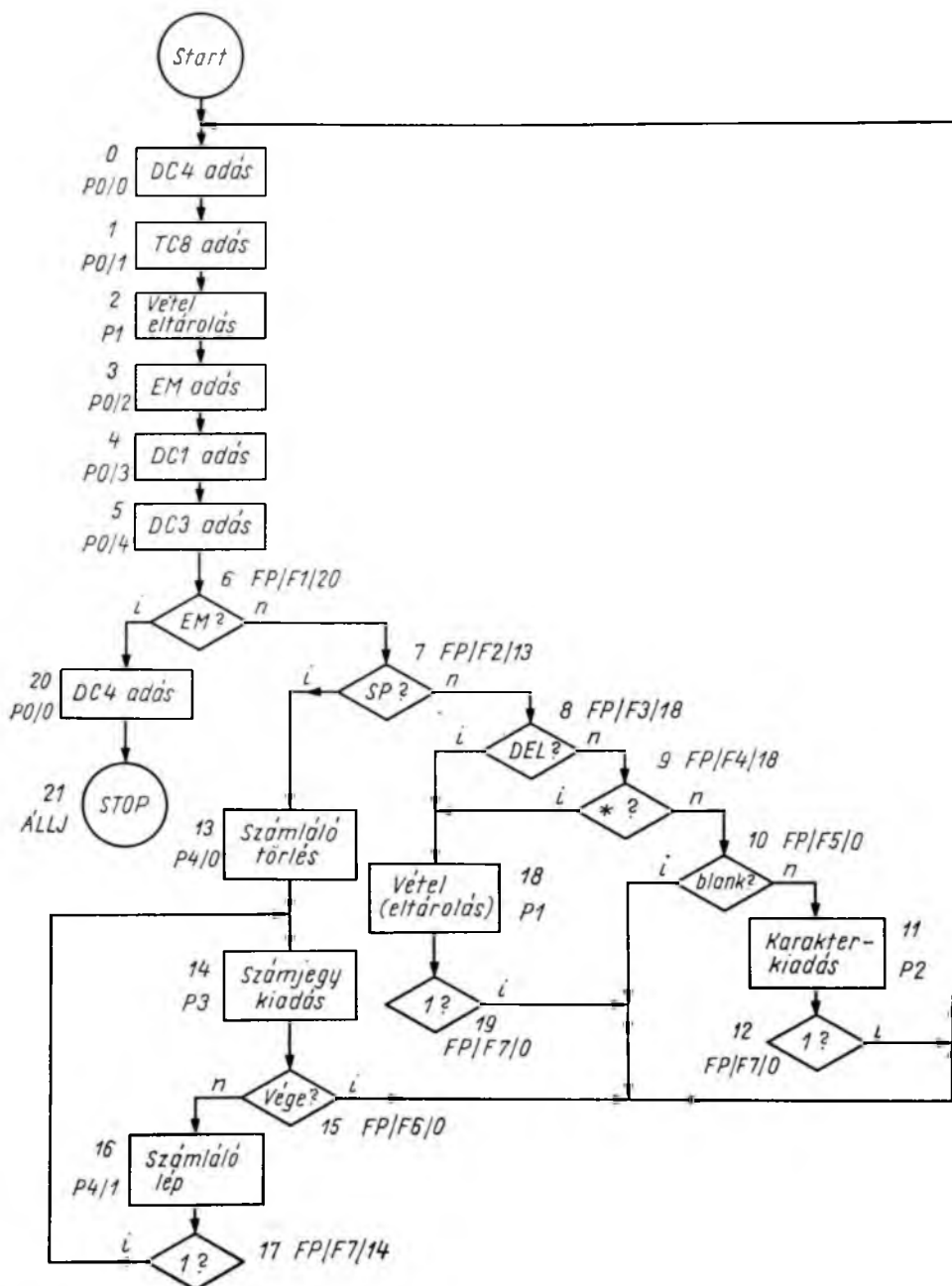
Feltételek

Jele	PF 4	PF 3	PF 2	PF 1	A vizsgált feltétel:
F1	0	0	0	1	A tároló EM (olvasó ki) karaktert tárol?
F2	0	0	1	0	A tároló SP (speciális) karaktert tárol?
F3	0	0	1	1	A tároló DEL (tele) karaktert tárol?
F4	0	1	0	0	A tároló * (csillag) karaktert tárol?
F5	0	1	0	1	A tároló blank (üres) karaktert tárol?
F6	0	1	1	0	A kezelőszerv összes számjegyét kiadtuk?
F7	0	1	1	0	Állandóan teljesülő feltétel.

A kezelőszerv leolvasásához szükségünk lesz még az F6 feltételre, amely akkor teljesül, ha a kezelőszerv összes számjegyét kiadtuk, azaz a Kezelőszervszámláló a 6. állásba lépett. Az F6 értékét Dekóder 2 határozza meg. A programban szükség van ún. feltétel nélküli ugrásokra is (pl. $i \rightarrow a$, $j \rightarrow a$), ezért F7 feltétel ún. állandóan teljesülő feltétel lesz, amit a vezérlőáramkör F7 pontjának 0-ra kötésével lehet megvalósítani.

3.4 A vezérlőáramkör parancskészletének kiosztása

A vezérlőáramkör parancskészletét és feltételeit már a 3.3 pont kidolgozása során kiosztottuk, összefoglalásul a 6-4. táblázatot készítettük el.



6-5. ábra. A végleges folyamatábra

3.5 A végleges folyamatra elkészítése

A végleges folyamatábrát a 6-5. ábra mutatja. Felrajzolásához a 6-3. ábrából indulunk ki a következő szempontok figyelembevételével:

- a programlépéseket betűk helyett sorszámoztuk. A sorszám megegyezik a programszámláló azon állásával, amelynél a programlépés végre lesz hajtva. A sorszámozást 0-tól kell kezdeni, olyan sorrendben kell a programlépésekre írni, amilyen sorrendben azokat végre akarjuk hajtani. Ha egy feltételes parancs feltétele nem teljesül, a programszámláló nem ugrik, hanem lép, ezért a feltétlen parancsok *nem* ágán haladva a sorszám csak egyet nőhet. Ugrani csak az *igen* ágon lehet,
- a feltétlen ugrások ($i \rightarrow a$, $k \rightarrow a$, $j \rightarrow a$) végrehajtásához olyan feltételes parancsokat kell beiktatni, amelyek feltétele állandóan teljesül (12., 17., 19.). Ha a program ezekhez a lépésekhez ér, akkor mindig ugrik,
- a 6-3. ábrán szereplő programlépések közül néhány a műveletvégző áramkörök sajátosságai miatt több programlépésre bomlik:
 - a -nak megfelel 0. és 1.
 - c -nek megfelel 3., 4. és 5.
 - j -nek megfelel a 13.—17. lépésekből álló ciklus,
- a programlépésekhez odaírtuk a parancs kódjelét,
- a feltételes parancsokhoz odaírtuk a vizsgált feltételt, és azt a számot, ahová ugrani kell.

3.6 A programtároló tartalmának meghatározása

Foglaljuk táblázatba a 6-5. ábrát úgy, hogy a parancsokat kódjukkal együtt a programlépésszám növekvő sorrendjében felírjuk. Ekkor megkapjuk a programtároló tartalmát (l. 6-5. táblázat). A programlépésszám a programtároló címével, a parancskód pedig az adott címen elhelyezendő tartalommal egyezik meg. A feltételes parancs kódjának utolsó öt bitjét az ugrás bináris címe határozza meg ($PK5$ súlya 16, $PK1$ -é 1). A $PF1...PF4$ feltétel cím az $F1...F7$ feltétel bináris kódjával egyenlő.

3.7 A PROM-ok programozása

A PROM a felhasználó által programozható, csak olvasásra szánt tároló (fixértékű tároló). Működése szempontjából mátrix rendszerű. A 74188, ill. 74186 típus kapacitásban tér el egymástól. A címbemenetek az áramkör belsejében (A, B, C, D, E) „1 a 32-ből” dekódolót hajtanak meg. Mind a 32 dekódolókimenet egy-egy emitterkövetőnek kapcsolt tranzisztort vezérel. A tranzisztornak nyolc emittere van, amelyek nikkkelkróm ellenállásokon, ún. programhidakon át a kimeneteket ($Y1...Y8$) vezérlő 8 db meghajtófokozat bemenetére csatlakoznak. Ha a programhíd megvan, a megcímzett tranzisztornak megfelelő kimenet 0 lesz, egyébként 1. A gyárilag szállított áramkör olyan programot tartalmaz, amelyben minden címen minden egyes kimenet 0. A felhasználó saját kívánságának megfelelően programoz, kiéget egyes programhidakat. E célból beállítja a tárolóba kerülő adat címét, 0-ra kapcsolja azokat a kimeneteket, amelyeken később 1 szükséges, rövid ideig 10 V-ra növeli a tároló tápfeszültségét. Emiatt a kiégetendő programhídon akkora áram folyik, hogy a híd kiég.

A PROM-ok programozására programozókészüléket építettünk. A készüléken a címet (6-5. táblázat: Lépésszám) előválasztó-kapcsolóval lehet beállítani, a prog-

6-5. táblázat

A programtároló tartalma

Lépcsőszám	Parancs	Ugráscím	Ugrásfeltétel	Parancs kód (IC1-ben)							Parancsfeltétel (IC2-ben)				
				PK 8 (Y 8)	PK 7 (Y 7)	PK 6 (Y 6)	PK 5 (Y 5)	PK 4 (Y 4)	PK 3 (Y 3)	PK 2 (Y 2)	PK 1 (Y 1)	PF 4 (Y 4)	PF 3 (Y 3)	PF 2 (Y 2)	PF 1 (Y 1)
0	P 0/0			0	0	0	0	0	0	0	0				
1	P 0/1			0	0	0	0	0	0	0	0	1			
2	P 1			0	0	0	1	0	0	0	0	0			
3	P 0/2			0	0	0	0	0	0	0	1	0			
4	P 0/3			0	0	0	0	0	0	0	1	1			
5	P 0/4			0	0	0	0	0	0	1	0	0			
6	FP	20	F 1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1
7	FP	13	F 2	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1
8	FP	18	F 3	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1
9	FP	18	F 4	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
10	FP	0	F 5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11	P 2			0	0	1	0	0	0	0	0	0			
12	FP	0	F 7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
13	P 4/0			0	1	0	0	0	0	0	0	0			
14	P 3			0	0	1	1	0	0	0	0	0			
15	FP	0	F 6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
16	P 4/1			0	1	0	0	0	0	0	0	1			
17	FP	14	F 7	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
18	P 1			0	0	0	1	0	0	0	0	0			
19	FP	0	F 7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
20	P 0/0			0	0	0	0	0	0	0	0	0			
21	Állj			1	1	0	1	0	0	0	0	0			

ramozandó bitmintát (6-5. táblázat: Parancskód) az adatbillentyűzen lehet beütni. A beadott 1-eseket világítódiodás kijelző mutatja. Ha a kezelő hibát követ el, törölhet, újra billentyűzhet. A programozási folyamatot indítóbillentyű indítja, a művelet alatt az adatbillentyűzet blokkolódik, nehogy véletlen megnyomás hibás programozást idézzen elő. A programozási folyamat után a beadott bitminta automatikusan törlődik. A memória tartalmát világítódiodás kijelző mutatja. Ha a memória tartalma és a beadott bitminta nem egyezik meg (valamely híd nem ég ki), a programozási folyamat megszakad.

A kijelzők összehasonlításával a hiba megállapítható vagy újabb programozással megszüntethető. A készüléknek másoló üzemmódja is van, már beprogramozott minta lemásolására.

Irodalom

- [1] Bipolar Controllers—they're fast, cheap and easy to use (Electronic Design 1976/22 p: 106—110).
- [2] Barrow, A.: Programmable Controllers (Machinery and Production Engineering: 1976 február 18, p: 155—157).
- [3] Spizig, J.: Programmierbare Steuerungen (VDI Nachrichten).
- [4] Applicationsbuch Band 1 (Texas Instruments kiadvány).
- [5] Im Blickpunkt: ROMs, PROMs und PLAs (Elektronik. 1976. május, p: 38—47).
- [6] Texas TTL Receptek. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1976.

7.

Akkumulátortöltőkhöz használt egyenirányítók főbb paramétereinek meghatározása számítógéppel

TIHANYI LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

Egy- és háromfázisú akkumulátortöltők tervezése, a félvezetők kiválasztása, a simító—fojtó és a transzformátor jellemzőinek meghatározása, nagyteljesítményű félvezetők méretezése a pn-átmenet maximális üzemi hőmérsékletének a számítása alapján. A szokványos kiindulási adatok felvételével a simító—fojtó minimális induktivitásának, a fojtó és a transzformátor vasmagjának, valamint a transzformátor áttételének számítása. A számítógépi programok Texas ISR—52 típusú gépre érvényesek.

РАСЧЁТ ВАЖНЕЙШИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРОВ, НА МАЛОЙ ЦВМ

Л. Тихани

Резюме

Проектирование однофазных и трёхфазных выпрямителей для зарядки аккумуляторов, выбор полупроводников с точки зрения определения характерных свойств сглаживающего дросселя и трансформатора, расчёт параметров мощных полупроводников с точки зрения максимальной рабочей температуры р—п перехода. Расчёт минимальной индуктивности сглаживающего дросселя, его железного сердечника и коэффициента трансформации трансформатора при задании обычных исходных данных. Программы применимы на ЦВМ Тексас ISR—52.

ERRECHNUNG DER WICHTIGSTEN PARAMETER VON GLEICHRICHTERN MITTELS KLEINRECHENMASCHINE FÜR AKKUMULATORLADEGERÄTE

L. Tihanyi

Zusammenfassung

Projektierung von Ein- und Dreiphasen-Akkumulatorladegeräten. Wahl der Halbleiter, hinsichtlich der Bestimmung der Parameter der Glättungsdrossel spule und des Transformators, Bemessung von Hochleistungs-Halbleitern anhand der Berechnung der maximalen Betriebs-temperatur des p-n Überganges. Unter Einsatz der üblichen Ausgangsdaten Errechnung der Mindestinduktion der Glättungsdrosselspule, des Drossel- und Transformator-Eisenkerns und der Transformatorübersetzung. Die Rechenmaschinenprogramme sind für die Maschine Typ Texas ISR-52 gültig.

USING A SMALL COMPUTER TO DETERMINE THE MAIN PARAMETERS OF RECTIFIERS REQUIRED FOR BATTERY CHARGERS

By L. Tihanyi

Summary

The design of single-phase and three-phase battery chargers, the selection of semi-conductors with a view to determining the characteristics of smoothing reactors and transformers; dimensioning of high-capacity semiconductors based on the calculation of maximum operating temperature of the $p-n$ junction. The calculation of minimum inductivity of smoothing reactors, of reactor and transformer iron cores and of transformer's ratio by assuming the conventional initial data. Computer programs are applicable to the machines, type Texas I SR-52.

1. Bevezetés

A mérnöki számításokban a segédeszköz szerepét a logarléctől a kisszámítógép veszi át. Az integrált áramköri technika fejlődése lehetővé tette, hogy kisszámítógép méretben programozható, adattárolókat tartalmazó számítógépeket forgalmazzanak. A programozható számítógépek sok tekintetben megváltoztatták a mérnöki számítások és méretezések menetét. A kisszámítógépek alkalmazásával olyan számítási módszerek használatára is mód nyílt, amelyeket a logarléc nem tett lehetővé. A kisszámítógép lényegesen lerövidítette a számítások időtartamát, mentesítette a mérnököt a sok manuális munkától, ill. közelítő méretezések helyett pontos és részletes számításokat tett lehetővé.

Intézetünk a tervezési és kutatási munka megkönnyítésére Texas I. gyártmányú SR 52 típusú kisszámítógépet vásárolt. Az SR 52 típusú kisszámítógép rendkívül hasznos segítséget nyújt az akkumulátortöltők tervezéséhez. Programot készítettünk a teljesítményfélvezetők méretezésére, ill. félig vezérelt egyenirányítót és egyenáramú simító—fojtó tekercset tartalmazó akkumulátortöltők főbb paramétereinek a meghatározására. A kisszámítógép alkalmazásával lehetőség nyílt az egyes paraméterek megváltoztatásának hatását nyomon követni és ezáltal a célszerű méreteket könnyen megválasztani.

2. Félvezetők kiválasztása

Félvezetős áramirányítók méretezése során az egyik fontos lépés a teljesítményfélvezetők kiválasztása. A félvezetőkben keletkező veszteségi teljesítmény a következő összefüggéssel számolható:

$$P_d = U_0 I_k + R_d I_{\text{eff}}^2, \quad (1)$$

ahol I_k a félvezetőkön átfolyó áram középértéke, I_{eff} ugyanezen áram effektív értéke, U_0 a nyitóirányú feszültségesés és R_d a dinamikus ellenállás.

Időben tetszőlegesen változó periodikus áram esetén a középérték definíció-szerűen

$$I_k = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt, \quad (2)$$

az effektív érték:

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}. \quad (3)$$

A veszteségi teljesítmény számítására az (1), (2) és (3) egyenletek felhasználásával számítógépprogramot készítettünk. A program tetszőleges lefolyású áramterhelés esetén megadja a félvezetőkben keletkező veszteséget.

A numerikus integrálást trapéz módszerrel végeztük. Az integrálás összegezéssé módosítható:

$$\int_a^b f(x) dx = \sum_{k=a}^b \frac{f(x_k) + f(x_{k+h})}{2} \cdot h$$

A program lefuttatása előtt be kell programozni az áram időfüggvényét. Kiindulási adatként az integrálás kezdeti és végétértékét, valamint a lépéshosszat kell beadni. Az integrálás során elkövetett hiba a h lépéshossz négyzetével fordítottan arányos.

A számítógép program az 1. Függelékben található (77. old.).

A tetszőleges lefolyású periodikus áram középértéke a 09 adattárolóban, az effektív értéke pedig a 08 adattárolóban található. Az „A” címzésű, numerikus integrálást végző programrészt más feladatokhoz, mint például feszültség—idő terület számításához is felhasználható.

A gyakorlatban előforduló esetek legtöbbszörében az egyenirányítók félvezetőin állandó amplitúdójú négyszögletes (nagy simító-fojtótekerccsel) vagy szinuszos lefolyású áram folyik. Ezekben az esetekben az áram közép- és effektív értékére egyszerű összefüggések adódnak, tehát a numerikus integrálást nem kell elvégezni.

Nagy induktivitású fojtótekerccsel simított egyenáram esetén a félvezetőelemek áramának középértéke

$$I_k = I_{cs} \frac{\alpha_v - \alpha_k}{T}$$

ill. effektív értéke

$$I_{eff} = I_{cs} \sqrt{\frac{\alpha_v - \alpha_k}{T}}$$

ahol I_{cs} az áram csúcsértéke; α_k az áramvezetés kezdete radiánban; α_v az áramvezetés vége radiánban; T periódus (π vagy 2π).

Szinuszos lefolyású áram esetén is egyszerűen programozható összefüggések adódnak. Az előbbi jelölésekkel:

$$I_k = I_{cs} \frac{\cos \alpha_k - \cos \alpha_v}{T}$$

$$I_{eff} = I_{cs} \sqrt{\frac{\alpha_v - \alpha_k + \frac{\sin 2\alpha_k - \sin 2\alpha_v}{2}}{T}}$$

A számítógépi programot úgy célszerű felépíteni, hogy az áramalak jelzésére az egyik adattárolóba 0-t vagy 1-et kell beírni. A középérték vagy az effektív érték számítása során logikai döntéssel (if zro) el lehet dönteni, hogy a program melyik összefüggéssel számoljon. Az eredményként kapott középértéket a 09 adattárolóba, az effektív értéket pedig a 08 adattárolóba célszerű elteni.

Aramirányítók tervezésekor általában a félvezető típusát előzetesen meghatározzák a határáramnak és a terhelőáramnak az összehasonlítása alapján. Az ellenőrzést két módon lehet elvégezni. Az egyik módszer szerint ellenőrizni kell, hogy

adott hűtőtest felvételekor a maximális réteghőmérséklet nem haladja-e meg a választott félvezetőre megengedett értéket. A másik módszer kiszámítja, hogy milyen eredő hőellenállást kell biztosítani ahhoz, hogy a maximális réteghőmérséklet adott értéken belül maradjon. Az eredő hőellenállás ismeretében a megfelelő hűtőtest kiválasztható.

Akkumulátortöltők egyenirányító hídjára mindig nagy induktivitású fojtótekerccs csatlakozik. A simító-fojtótekerccs eredményeképpen a félvezetőkben folyó áram négy-szöghullám formájú. A félvezetőelemek áramának középpértéke tehát a (2) egyenlet, effektív értéke pedig a (3) egyenlet segítségével számolható. Nulldióda nélküli esetben a p ütemszám, ill. $I_{cs} = I_d$ bevezetésével írható:

$$I_k = \frac{I_d}{p}, \quad I_{\text{eff}} = \frac{I_d}{\sqrt{p}}.$$

Az előbbi egyenleteket az (1) egyenletbe helyettesítve:

$$P_d = U_0 \frac{I_d}{p} + R_d \left(\frac{I_d}{\sqrt{p}} \right)^2.$$

A felírt egyenletből a megengedhető veszteségi teljesítmény, a félvezető paramétereinek, a hűtés, ill. az egyenirányítókapcsolás (p) ismeretében a maximális terhelő egyenáram számolható:

$$I_d = \frac{-U_0 + \sqrt{U_0^2 + 4pR_d P_{d\text{max}}}}{2R_d}. \quad (4)$$

A $P_{d\text{max}}$ maximális veszteségi teljesítmény az eredő hőellenállás, a környezeti hőmérséklet és a megengedhető pn-átmenet hőmérséklet ismeretében számolható.

A teljes számítógépi program megadja a pn-átmenet maximális hőmérsékletét, a minimálisan szükséges hőellenállást vagy a fojtótekerccsel történő simítás esetén az egyenirányító kapcsolás áramterhelhetőségét. A program csak a félvezetők U_0 , R_d és $\vartheta_{pn\text{max}}$ adatait, az áram közép- és effektív értékét használja kiindulási adatként. A számítógépi program a 2. Függelékben található.

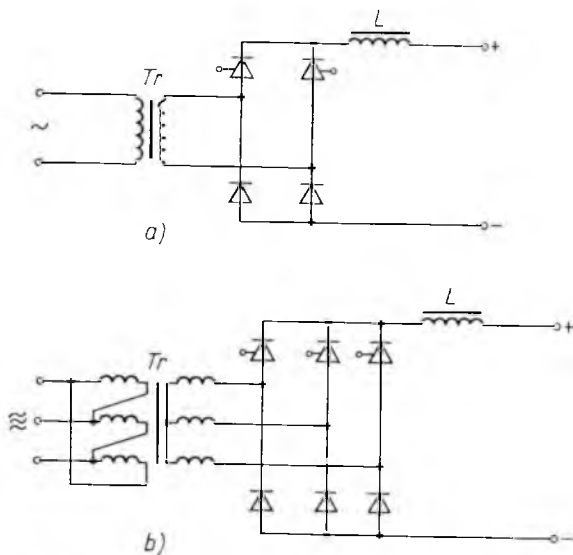
A számítógépi program használatával a teljesítményfélvezetők melegeedésre történő ellenőrzése jelentősen egyszerűsíthető. Az adatok több grafikonból történő leolvasása és összevetése elmaradhat.

3. Akkumulátortöltő tervezése

Az akkumulátortöltők tervezéséhez a következő adatokat kell ismertnek feltételezni: a névleges tápfeszültség, a tápfeszültség túrése (n és m), a maximális töltési feszültség (U_c) és a maximális kimenő áram (I_k). A tervezés kiindulási adataként meg kell még határozni a megengedhető áramhullámosságot (h) és a minimális gyűjtőkésleltetési szöget (α_{min}).

Akkumulátortöltés céljaira 10 kW egyenáramú teljesítményig félig vezérelt egyenirányítókapcsolásokat szoktak választani. Az egyenirányítókapcsolás a táplálástól függően egy- vagy háromfázisú híd. A simítókör általában egyenáramú fojtótekerccs. Az egy- és háromfázisú akkumulátortöltő alapkapcsolását a 7-1. ábra mutatja.

Az akkumulátortöltők tervezésénél elsősorban a simító-fojtótekercs induktivitásának és méreteinek, valamint a transzformátor szekunder feszültségének, ill. típusjelzésének meghatározása a feladat. A teljesítményfelvevők a 2. fejezet alapján választhatók ki. A tervezést a fojtótekercs méretezésével célszerű kezdeni. A simító-fojtótekercs és a felvevők ismeretében az egyenáramú feszültségesések és ezzel a transzformátor minimálisan szükséges áttétele számolható.



7-1. ábra

A simító-fojtótekercs induktivitását a fojtóra kerülő feszültség és a maximálisan megengedhető áramhullámosság befolyásolja. A minimális induktivitás — L_0 — a következő összefüggéssel számolható:

$$L_0 = \frac{\int u dt}{\Delta I}. \quad (5)$$

Az integrál értéke a simító—fojtó tekercsre kerülő váltakozófeszültséget jelenti, ΔI a csúcstól-csúcsig értelmezett áramhullámosság. Az integrál értékét nem kell számolni. A fojtótekercsre kerülő legnagyobb feszültség—idő terület a maximális üresjárási egyenfeszültség ismeretében meghatározható.

$$\int u dt = U_{d0\max} T \quad (6)$$

T értékét a gyújtáskésleltetési szög függvényében különböző egyenirányítókapcsolásokra grafikonok adják meg. Félvezérelt egyfázisú híd esetén $T_{\max} = 3$ ms, félvezérelt háromfázisú híd esetén pedig $T_{\max} = 1,3$ ms.

A hálózati feszültség túsérének ismeretében az ideális üresjárási egyenfeszültség közelítőleg számolható. A negatív irányú túsérés legyen n , a pozitív irányú pedig m . A túsérést relatív egységben kell megadni. A maximális egyenfeszültség:

$$U_{d0\max} = \frac{1,2mU_1}{n} \quad (7)$$

Az 1,2 szorzószám az akkumulátortöltő veszteségét képezi le. A szorzószám felvétele a méretezés pontosságát nem befolyásolja, hiszen akkumulátortöltőknél minimális induktivitás értéket célszerű definiálni.

A megengedhető százalékos h áramhullámosság felvételével és a (6), ill. (7) egyenletek felhasználásával L_0 számolható. Az összefüggés L_0 értékét mH-ban adja meg.

$$L_0 = \frac{120U_t mT}{I_k n h} \quad (8)$$

A kimenő egyenáram és a szükséges induktivitás ismeretében a fojtó megtervezhető. A két adat ismerete egyben támpontot ad arra, hogy a simító-fojtó tekercset mekkora vasmagra lehet elkészíteni. Az LI^2 szorzat jó kapcsolatot teremt a fojtó villamos és a vasmag geometriai adatai között.

Az LI^2 szorzat csak vasmagra jellemző mennyiségekkel fejezhető ki. $I \sim I_m$ közelítéssel, amely a fojtótekercs méretezésekor nem, de a vasmag kiválasztásakor megengedhető, írható

$$LI^2 = A_{Cu} A_v B_m s. \quad (9)$$

Ha A_{Cu} cm², B_m T, ill. s A/mm², akkor a kapott számértéket 10^{-2} állandóval meg kell szorozni. Az LI^2 szorzat ismeretében tehát a vasmag könnyen ellenőrizhető, hogy adott átfolyó egyenáram mellett a kívánt induktivitás biztosítható-e.

Az LI^2 szorzat és a vasmagra készíthető transzformátor típusjelzője között is kapcsolat teremthető. Feltéve, hogy a transzformátor primer és szekunder tekercsének látszólagos teljesítménye azonos:

$$S_{tip} = 111LI^2. \quad (10)$$

A transzformátor típusjelzőjének kiszámításához ismerni kell a szükséges áttételt. Az áttétel a minimális tápfeszültség, α_{min} gyújtáskésleltetési szög, a maximális terhelés és a maximális töltési feszültség mellett számolható. Első lépésben meg kell határozni a fojtótekercsen eső veszteségi egyenfeszültséget. A fojtótekercs veszteségi teljesítménye:

$$P_f = \rho A_{Cu} I_k s^2. \quad (11)$$

A fojtótekercs veszteségi teljesítménye tehát a vasmag adatainak függvényében számolható. Ha a képletben ρ Ω mm²/m, A_{Cu} cm², I_k közepes menethossz cm és s A/mm², akkor az eredmény W-ban adódik. Néhány jellegzetes vasmagra ezt az értéket kiszámolva, majd az LI^2 szorzat függvényében ábrázolva közelítő görbe adható meg. Lin-log ábrázolásakor az 500 VA...10 kVA típusjelzőtartományban egyenes megfelelő pontosságú közelítést ad. Az egyenes egyenlete:

$$P_f = 100 \lg (LI^2) - 20. \quad (12)$$

A fojtótekercsen eső egyenfeszültség tehát

$$U_f = \frac{P_f}{I_k}. \quad (13)$$

A teljesítményfelvezetőknél eső feszültség közelítőleg 3 V, tehát a minimálisan szükséges egyenfeszültség

$$U_d = \frac{2U_t}{1 + \cos \alpha_{min}} + 3 + U_f. \quad (14)$$

A szekunder feszültség effektív értéke és az egyenirányított feszültség középértéke között az összefüggés közismert. Egyfázisú hídkapcsolás esetén:

$$K = \frac{U_d}{U_s} = 0,9,$$

ill. háromfázisú hídkapcsolás esetén

$$K = \frac{U_d}{U_s} = 2,34.$$

A szekunder feszültség meghatározásakor a transzformátor dropját is figyelembe kell venni. 500 VA...10 kVA tartományban a típusjeljesítmény és a drop között a következő közelítő összefüggés adható meg:

$$d = -0,05 \lg (S'_{tip}) + 1,225. \quad (15)$$

A programban a közelítő drop számításakor a transzformátor tényleges típusjeljesítménye még nem ismert. Nem követünk el hibát a méretezésben, ha a drop értékét

$$S'_{tip} = 1,5 U_d I_k \quad (16)$$

összefüggéssel számoljuk.

A transzformátor névleges szekunder feszültsége tehát

$$U_s = \frac{U_d d}{Kn}, \quad (17)$$

a transzformátor típusjeljesítménye pedig:

$$S_{tip} = m U_s I_k. \quad (18)$$

Az akkumulátortöltők méretezési programja a 3. Függelékben található.

E számítógépi program jelentősen megkönnyíti az egyenirányítók, ill. akkumulátortöltők tervezését. Az áram hullámossága sokszor nem szigorúan kötött adat, a minimális gyújtáskésleltetési szög pedig részben a tervezőtől és a vezérlés felépítésétől függ. Az áramhullámosság a fojtótekercs méretét erősen, a transzformátor méretét pedig kevésbé befolyásolja. Az α_{min} változtatása inkább a transzformátor méreteire hat. A programot különböző h és α_{min} értékekkel lefuttatva a vasmag típusjeljesítményére gyakorolt hatás könnyen figyelemmel kísérhető.

1. Függelék

Programcímkézések:

E ...	az integrálás végértéke,
D ...	az integrálás kezdeti értéke,
C ...	integrálási lépéshossz,
A ...	határozott integrál számítása,
E' ...	középérték számítása π periódusra,
D' ...	középérték számítása 2π periódusra,
C' ...	effektív érték számítása π periódusra,
B' ...	effektív érték számítása 2π periódusra.

Programlépések:

LBL E	b végérték tárolása,
STO 01	
HLT	
LBL D	a kezdeti érték tárolása,
STO 02	
HLT	
LBL C	a h lépéshossz tárolása,
STO 03	
HLT	
LBL A	
0	
STO 04	
RCL 02	
STO 06	x_a tárolása a 06 adatregiszterben,
SBR B	$y_a = f(x_a)$ számítása,
STO 05	$y_a = (x_a)$ adat tárolása a 06 adatregiszterben,
LBL 1'	trapézterületek összegzésének alprogramja,
RCL 03	
SUM 06	$x_k + h = x_{k+1}$ számítása,
RCL 06	
SBR B	$y_{k+1} = f(x_{k+1})$ számítása,
+	
EXC 05	$y_k + y_{k+1}$ számítása és y_{k+1} egyidejű tárolása a 05 adatregiszterbe,
=	
÷	
2	
x	
RCL 03	
=	
SUM 04	x_k és x_{k+1} közti trapézterületen a trapézok területének összegzése a 04 adatregiszterben,
RCL 01	
RCL 06	
=	
if poz	$x_b > x_k$ feltétel keresése,
1'	nem esetén: vissza az LBL 1' alprogramhoz,
RCL 04	igen esetén: a határozott integrál értéke a 04 adatregiszterben
rtn	van,
LBL E'	
inv. st. flg 0	a 0 programzásló nem áll (közéérték),
A	határozott integrál számítása ($i(t)$ áram-idő függvény),
÷	
π	
=	
STO 09	π periódusra történő átlagolás,
HLT	
LBL D'	

inv. st. flg. 0	a 0 programzászló nem áll (középérték),
A	határozott integrál számítása ($i(t)$ áram-idő függvény),
÷	
π	
÷	
2	
=	
STO 09	2π periódusra történő átlagolás,
HLT	
LBL C'	
st. flg. 0	a 0 programzászló áll (effektív érték),
A	határozott integrál számítása ($i^2(t)$ áram—idő függvény),
÷	
π	
=	
\sqrt{x}	
STO 8	π periódusra történő átlagolás,
HLT	
LBL B'	
st. flg. 0	a 0 programzászló áll (effektív érték),
A	határozott integrál számítás ($i^2(t)$ áram—idő függvény),
÷	
π	
÷	
2	
=	
\sqrt{x}	
STO 08	2π periódusra történő átlagolás,
HLT	
LBL B	
(
:	
:	$i(t)$ áram—idő függvény programja f/x ,
:	
)	
if. flg. 0	
2'	
rtn	a 0 programzászló nem áll: $y_k = i(t)$,
LBL 2'	a 0 programzászló áll: $y_k = i^2(t)$,
x^2	
rtn	

2. Függelék

Programcímkézések:

E' ...	a félvezető áramának effektív értéke, A;
D' ...	a félvezető áramának középértéke, A;
C' ...	eredő hőellenállás, °C;
B' ...	megengedhető pn átmenet hőmérséklet, °C;
A' ...	maximális környezeti hőmérséklet, °C;

E ...	dinamikus ellenállás, Ω ;
D ...	nyitóirányú küszöb feszültség, V;
C ...	a p ütemszám beütése után megadja a fojtóval történő simítás esetén az egyenirányító maximális terhelhetőségét;
B ...	a maximális p_n átmenet hőmérsékletéhez tartozó hőellenállás;
A ...	a p_n átmenet tényleges hőmérséklete — ha a hőmérséklet meghaladja a megengedhető értéket, az eredmény pislog—.

Programlépések:

Megjegyzés: az E' és D' programrészt nem kell megcímezni, ha a közép- és effektív értéket másik program segítségével már meghatároztuk.

LBL E'	
STO 08	effektív érték tárolása,
HLT	
LBL D'	
STO 09	középerték tárolása,
HLT	
LBL C'	
STO 14	hőellenállás tárolása,
HLT	
LBL B'	
STO 13	p_n átmenet megengedhető hőmérsékletének tárolása,
HLT	
LBL A'	
STO 12	maximális környezeti hőmérséklet tárolása,
HLT	
LBL E	
STO 11	dinamikus ellenállás tárolása,
HLT	
STO 10	nyitóirányú küszöb feszültség tárolása,
LBL D	
HLT	
LBL B	max. hőellenállás számításának részprogramja,
SBR 8'	hőellenállásra eső hőmérséklet-különbség számítása,
÷	
SBR 5'	veszteségi teljesítmény számítása,
=	
STO 06	
HLT	
LBL A	p_n átmenet hőmérséklet-számításának részprogramja,
SBR 5'	veszteségi teljesítmény számítása,
X	
RCL 14	
+	
RCL 12	
=	
STO 07	eredmény tárolása,

RCL 13

=

+/-

\sqrt{X}

if err

6'

X^2

+

RCL 13

=

HLT

LBL 6'

RCL 07

HLT

LBL C

STO 15

RCL 10

X^2

+

4

X

RCL 15

X

SBR 7'

X

RCL 11

=

\sqrt{X}

RCL 10

=

\div

2

\div

RCL 11

STO 16

HLT

LBL 5'

RCL 09

X

RCL 10

+

RCL 08

X^2

X

RCL 11

)

rtn

LBL 7'

megengedhető pn-átmenethőmérséklet,

ha az eredmény nagyobb, mint a megengedhető, a kijelzett szám pislog,

a pn átmenet hőmérséklete — pislogva,

pn átmenet hőmérsékletének kijelzése,

megengedhető áramterhelés számításának részprogramja,
 p tárolása,
(4) egyenlet számítása,

$P_{d\max}$ számítása,

a megengedhető áramterhelés tárolása,

veszteségi teljesítmény számításának alprogramja az (1) egyenlet alapján,

$P_{d\max}$ számításának alprogramja,

SBR 8'	hőellenállásra eső hőmérséklet-különbség számítása,
÷	
RCL 14	
)	
rtn	
LBL 8'	hőellenállásra eső hőmérséklet-különbség számításának al-
	programja,
RCL 13	
—	
RCL 12	
)	
rtn	

3. Függelék

Programcímkézések:

A' ...	maximális töltési feszültség, V;
B' ...	maximális kimenő áram, A;
C' ...	hálózati feszültség túrése negatív irányban;
D' ...	hálózati feszültség túrése pozitív irányban;
E' ...	áramhullámosság csúcstól csúcsig, %;
E ...	minimális gyújtáskésleltetési szög, villamos fokban;
D ...	0 — félig vezérelt egyfázisú egyenirányítás; 1 — félig vezérelt háromfázisú egyenirányítás;
C ...	transzformátor névleges szekunder feszültségének kijelzése;
A ...	a transzformátor vasmagjának típusjelzésítője.

Programlépések:

1	
HLT	
LBL A'	U_t tárolása,
STO 19	
HLT	
LBL B'	
STO 18	I_k tárolása,
HLT	
IBL C'	
STO 17	n érték tárolása,
HLT	
LBL D'	
STO 16	m érték tárolása,
HLT	
LBL E'	
STO 15	h érték tárolása,
HLT	
LBL D	

f zro	az egyenirányítókapcsolásra vonatkozó döntés,
1'	
2	
.	
3	
4	
STO 13	<i>K</i> érték tárolása (három fázis),
1	
.	
3	
STO 12	<i>T</i> érték tárolás (három fázis),
RSET	
LBL 1'	
.	
9	
STO 13	<i>K</i> érték tárolás (egy fázis),
3	
STO 12	<i>T</i> érték tárolása (egy fázis),
0	
st flg 0	
HLT	
LBL E	
cos	
STO 14	$\cos \alpha_{\min}$ tárolása,
HLT	
LBL A	
1	
1	
1	
STO 04	(6) összefüggés számítása,
1	
2	
0	
X	
RCL 19	
X	
RCL 12	
X	
RCL 16	
÷	
RCL 18	
÷	
RCL 17	
÷	
RCL 15	
=	
STO 10	L_0 eredmény tárolása,
X	LI^2 szorzat számítása,

*
 0
 0
 1
 X
 RCL 18
 X²
 =
 STO 09
 PROD 04
 lg
 X
 1
 0
 0
 -
 20
 =
 ÷
 RCL 18
 +
 3
 +
 2
 X
 RCL 19
 ÷
 (
 1
 +
 RCL 14
 =
 STO 08
 X
 (
 (
 STO
 X
 RCL 18
 X
 RCL 16
)
 lg
 *
 0
 5
 +/-
 +
 1
 *

LI^2 eredmény tárolása,

U_f feszültségesés számítása — (12) egyenlet,

P_f érték,
 (13) egyenlet számítása,

U_f érték,
 (14) egyenlet számítása,

U_d érték tárolása,
 névleges feszültség számítása — (17) egyenlet,

drop számítása — (15) egyenlet,
 (16) egyenlet számítása,

2	
2	
5	
)	d értéke,
÷	
RCL 13	
÷	
RCL 17	
X	
STO 07	U_s érték tárolása,
RCL 16	$U_{s\max}$ számítása,
X	
STO 06	$U_{s\max}$ tárolása,
RCL 18	a transzformátor típusjelzésének számítása,
X	
1	
.	
2	
if flg 0	
2'	
X	
2	
LBL 2'	
=	
STO 05	S_{tr} tárolása
HLT	

Irodalom

- [1] Csáki—Ganszky—Ipsits—Marti: Ipari elektronika. Műszaki Könyvkiadó. Budapest 1975.
- [2] Liska: Villamos gépek I. Transzformátorok. Tankönyvkiadó. Budapest 1967.
- [3] Áts Illés: Kistranzformátorok. Műszaki Könyvkiadó. Budapest 1976.
- [4] *Vacuumschmelze Firmenschrift*: Schnittbandkerne Vacuumschmelze GmbH, 645 Hanau (katalógus).
- [5] Erlicki, M.—Schieber, D.: Working range and design of a static constant-current transformer. IEEE PAS—87. k. 5. sz. 1968. p. 1259—1262.

8.

Nagyteljesítményű postai egyenáramú áramellátó rendszer egyenirányító készülékeinek kifejlesztése

MOSONYI KÁROLY

ÖSSZEFOGLALÁS

A Villamosipari Kutató Intézet 1976-ban üzembe helyezte az első nagyteljesítményű, egyenáramú, postai áramellátó rendszerét a szegedi új postaközpontban. A rendszerben 4 db 630 A névleges áramú egyenirányító üzemel párhuzamosan kapcsolva. Az egyenirányítók viszonylag kis méretük ellenére természetes léghűtésűek. A cikk ismerteti az egyenirányító és a szűrőkör felépítését, a pszofometrikus zajfeszültség számítását és a mérési eredményeket, megismerteti az automatikus párhuzamos üzem működésének, a vezérlőegységeknek elvével és a rendszer dinamikai tulajdonságaival.

РАЗРАБОТКА ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ МОЩНОЙ ПОЧТОВОЙ СИСТЕМЫ

К. Мошони

Резюме

В новой центральной почте города Сегед в 1976-ом году вступила в действие первая мощная система снабжения постоянным током, разработанная в НИИ Электрической промышленности. В системе параллельно действует четыре выпрямителя с номинальным током по каждому 630 а. Несмотря на относительно небольшие размеры выпрямителей, они имеют естественное воздушное охлаждение. Построение выпрямительной и сглаживающей схем, расчёт психофизических шумов и результаты измерений. Принцип работы автоматического параллельного режима, его управляющие блоки и динамические свойства системы.

ENTWICKLUNG VON GLEICHRICHTERANLAGEN FÜR GLEICHSTROMVERSORGUNG VON FERNSPRECHZENTRALEN

К. Mosonyi

Zusammenfassung

Das Forschungsinstitut der Elektroindustrie setzt im Jahre 1976 sein erstes Hochleistungs-Gleichstromversorgungssystem in der neuen Postzentrale von Szeged in Betrieb. Es gibt im Betrieb 4×630 A-Nennstrom-Gleichrichter parallel geschaltet. Die Gleichrichter sind — trotz ihrer kleinen Abmessung — mit natürlicher Luftkühlung versehen. Der Aufbau des Gleichrichters und des Filterkreises, die Errechnung und Messergebnisse der psychometrischen Geräuschspannung. Das Funktionieren des automatischen parallelen Betriebes, seine Steuereinheiten, die dynamischen Eigenschaften des Systems.

RECTIFIERS DEVELOPED FOR USE IN HIGH-CAPACITY DC. COMMUNICATION POWER SUPPLY SYSTEM

By K. Mosonyi

Summary

The first high-capacity d.c. postal power supply system was put into operation by the Research Institute of the Electrical Industry (VKI) in 1976 at the new postal centre in Szeged. The system has 4 rectifiers, operated with 630 A rated current each, connected in parallel. The rectifiers have natural cooling in spite of their small dimensions. Build-up of the rectifier and filtering circuit, the calculation and measuring results of psfometrical noise tension are described. This is followed by the analysis of the automatic parallel operation, the control units and dynamic properties of the system.

Bevezetés

A telefonközpontok korszerűsítése során felmerült az igény a felügyelet nélküli egyenáramú szünetmentes áramellátás megvalósítására. A VKI 7. Erősáramú Teljesítményelektronika Főosztálya a több éves fejlesztési munkát az új szegedi telefonközpont áramellátó berendezésének üzembehelyezésével fejezte be. Cikkünk megírásának időpontjában a próbaüzem sikeresen befejeződött.

Az áramellátó berendezés egyenirányítókból, konverterekből, egyen- és váltakozóáramú elosztószekrényekből áll. Az automatikus, felügyelet nélküli üzemvitelt központi vezérlőegység irányítja, amely a következő feladatokat végzi.

- Hálózatkimaradás után a csökkenő akkumulátorfeszültséget érzékelve a konvertereket indítja, amelyek soros, szabályozott feszültség hozzáadásával a névleges értékre egészítik ki a fogyasztói feszültséget.
- Hálózatvisszatérés után az egyenirányítókat gyorstöltésre kapcsolja az akkumulátortelep lehető leggyorsabb feltöltése céljából, majd a töltőáram lecsökkenése után visszakapcsolja azokat a csepptöltéses feszültségszintre.
- Üzemzavar esetén, ha a fogyasztói feszültség a megengedett értékhatárokon kívülre kerül, automatikusan lekapcsolja a hibás egyenirányítót vagy konvertert. Ha a hibás üzemállapot továbbra is fennmarad, hibajelzést ad a kezelőszemélyzet részére.
- Egyéb meghibásodások esetén (biztosítókivadás stb.) figyelmeztető- vagy riasztójelzést ad a kezelőszemélyzetnek, a meghibásodás fajtájától függően.

Az üzemidő legnagyobb részében az egyenirányítók csepptöltéses üzemben működnek. A konverterüzem ideje éves viszonylatban az összüzemidő 0,5...2%-a. Az egyenirányítók csepptöltéses üzemben biztosítják az akkumulátortelep 2,23 V/cella feszültség szinten tartását és táplálják a fogyasztókat is.

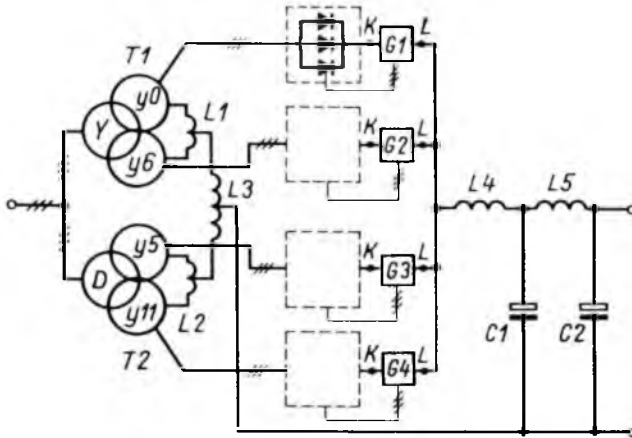
Az egyenirányítók kialakításának legfontosabb követelményei a megbízhatóság, jó hatásfok és nagy feszültség szabályozási pontosság. Ezenkívül speciális postai követelmény, hogy alacsony legyen a pszfometrikus kimeneti zajfeszültség és kielégítő a dinamikus viselkedés.

E követelményeket a tervezés során kiemelten kezeltük. Cikkünkben ismertetjük az egyenirányító erősáramú részének tervezési lépéseit, a szerkezeti felépítést és a vezérlés működését, különös tekintettel az egyenirányítók párhuzamos üzemére.

1. HTE 48/630 egyenirányító erősáramú felépítése

Az egyenirányító elvi főáramköri kapcsolási rajza a 8-1. ábrán látható. A kapcsolás fő egységei:

- a transzformátoregység,
- az egyenirányító- és gyújtásszögvezérlő egység,
- a szűrőegység.



8-1. ábra. HTE 48/630 egyenirányító főáramköri elvi kapcsolása

Az egyenirányító a kis kimeneti hullámosság biztosítására 12 ütemű szívó-fojtó-tekerces kapcsolású. A 12 fázisú feszültséget 2 db Y/y0, y6 és D/y5, y11 kapcsolású transzformátor állítja elő, az szekunder kivezetéseiken azonos nagyságú, de fázisban 30° -kal eltolt feszültségek jelennek meg. A 4 db kivezetett csillagpontú szekunder tekercselés 4 db háromfázisú, egyutas háromütemű (továbbiakban 3F 1U 3Ű) tirisztoros egyenirányítókapcsolásra csatlakozik. A tirisztorokat G1—G4 mágneses erősítő áramszabályozó gyújtásszögvezérlővel vezéreljük.

Az egyes egyenirányítók pillanatnyi feszültségkülönbségeit L1—3 szívó-fojtó-tekerces egyenlítik ki. Ezek egyúttal biztosítják, hogy egy kritikus (20 A) terhelőáram felett a tirisztorok vezetési szöge 120° legyen, ami a félvezetők kihasználtsága szempontjából fontos. A teljes terhelőáram a 3F 1U 3Ű kapcsolású egyenirányítók között egyenletesen oszlik el. Az áramelosztást a G1—G4 áramszabályozó, gyújtásszögvezérlő egységek biztosítják.

Az egyenirányított feszültség hullámosságát kétfokozatú LC szűrőegység simítja a megengedett értékre.

A főáramköri működés rövid ismertetése után részletesebben ismertetjük az egységek működését, kiválasztási és méretezési szempontjait.

1.1 Az egyenirányító-kapcsolás kiválasztási szempontjai

A postai alkalmazás igen kis kimeneti feszültség-hullámosságot enged meg. A hullámosságot csökkenthetjük a kapcsolás ütemszámának vagy a kimeneti szűrő méretének növelésével. Utóbbi méretét dinamikai követelmények miatt nem növelhetjük tetszőlegesen, mert romlik a szabályozási idő. Ennek figyelembevételével az ütem-

számot 12-re választottuk. Egyutas, 12 fázisú kapcsolásban egy egyenirányítóelem csak a periódusidő 1/12 részében vezet, ami nagyon rossz a transzformátor és félvezető kihasználása szempontjából, így a következő két kapcsolás közül célszerű választani:

- 2 db 3F2U6Ű hídkapcsolás szívó-fojtótekerccsel párhuzamosan kapcsolva,
- 4 db 3F1U3Ű csillagkapcsolás szívó-fojtótekerccsekkel párhuzamosan kapcsolva.

Az előbbi kapcsolás előnye a legkedvezőbb típusjelítmény. Két jelentősebb hátránya miatt viszont a második kapcsolást választottuk. Ezek:

- a kapcsolásban minden időpillanatban két soros tirisztoron folyik terhelőáram, ami a hatások kb. 3%-os csökkenését eredményezi;
- a félvezetők áramigénybevétele nagyobb, ami nagyobb névleges áramú tirisztorok és nagyobb méretű hűtőtölkök választását teszi szükségessé. Ez konstrukciós problémát okozna, így a választás a három szívó-fojtótekerccses megoldásra esett.

Az egyenirányító csillagokat tápláló főtranszformátorok csillag, ill. delta kapcsolású primer tekercseléssel és hat-hat fázisú szekunder tekercseléssel készültek. Az megállapítása során figyelembe vettük, hogy

- az egyenirányító kimeneti feszültsége $1,17U_s \cos \alpha_g$ összefüggés szerint változik, ahol U_s a transzformátor szekunder fázisfeszültsége, α_g a természetes kommutáció helyétől mért gyújtáskésleltetési szög;
- az összes feszültségesést a transzformátor szekunder oldalára redukáltuk. Ez 85%-os átlagos hatásfokot feltételezve kb. 7 V.

Az áttételnek akkorának kell lennie, hogy a legkisebb megengedett tápfeszültségnél, a legnagyobb kimeneti feszültségnél és terhelőáramnál a gyújtáskésleltetés minimális legyen ($\alpha_g \sim 0$), mert csak így biztosítható a viszonylag jó teljesítménytényező egyéb üzemállapotokban is.

A két transzformátor együttes típusjelítménye $1,26U_{ki}I_t$, ahol U_{ki} a névleges kimeneti egyenfeszültség, és I_t a névleges terhelőáram. A transzformátor vas- és rézkeresztmetszet méreteinek meghatározásakor figyelembe vettük, hogy a transzformátor mérete akkor a legkisebb, ha a vas- és rézvesztés közel azonos. Ez az arány akkor áll fenn, ha a vas súlya kb. kétszerese a réz súlyának.

Az egyenirányítókapcsolás elemeinek méretezése során feltételeztük, hogy

- a periódusidő 1/3 részében a terhelőáram 1/4 részét vezetik;
- vezetés alatt a félvezetőn átfolyó áram nem változik.

A félvezetők veszteségi teljesítményét E 714 típusú hűtőelemek természetes hűtéssel elvezetik, ha a környezeti hőmérséklet nem haladja meg a 40 °C értéket.

1.2 Szívó-fojtótekerccsek

A két-két tirisztorcsillag pillanatnyi feszültségkülönbségét a transzformátor csillagpontjai közé kapcsolt $L1$, $L2$ szívó-fojtótekerccsek egyenlítik ki. Ezek középkivezetéseire egy harmadik $L3$ szívó-fojtótekerccs csatlakozik.

A szívó-fojtótekerccsre $\alpha_g = 90^\circ$ gyújtáskésleltetés esetén jut maximális feszültség-idő terület. Az $L1$ — 2 szívó-fojtótekerccsre jutó 150 Hz-es, a feszültség-idő területek egyenlőségéből számított szinuszos feszültség effektív értéke

$$U_B = \frac{3}{2} U_s \quad V_{\text{eff}}.$$

A tekercsen átfolyó terhelőáram értéke $I_t/4$. A típusjeljesítményt a féltekercsre jutó feszültség, és a terhelőáram szorzata adja meg:

$$S_F = \frac{3}{4} U_s \frac{I_t}{4} = 0,1875 U_s I_t.$$

Az $L3$ szívó-fojtótekercsre 300 Hz-es, $0,75 U_s$ effektív értékű feszültség kerül, a tekercsáram $I_t/2$ értékű, így $L3$ típusjeljesítménye megegyezik az előbbi értékkel.

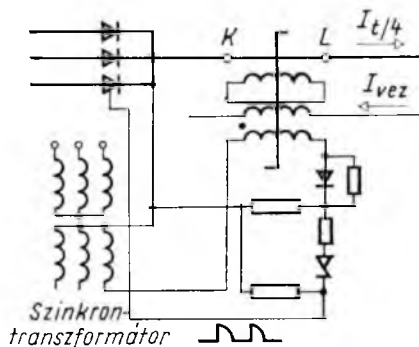
Gyakorlatban $\alpha_g = 90^\circ$ gyújtáskésleltetés akkumulátortöltő üzemben nem fordulhat elő, mivel ilyenkor a kimeneti feszültség nulla. A típusjeljesítmény fent számolt értéke 50 Hz-re vonatkozik, ez 150, ill. 300 Hz-re számolva valamelyest csökken. A két hatás eredményeképpen a fenti típusjeljesítmény mintegy 30%-kal csökkenthető a szívó-fojtótekercsek méretezése során.

1.3 Gyújtásszögvezérlő és áramszabályozó egység

A tirisztorok gyújtását és a tirisztorcsillagok áramszabályozását öntelítő mágneses erősítővel felépített gyújtóegységek végzik (8-2. ábra).

A mágneses erősítőket a főtranszformátorok feszültségével fázisban levő feszültségekről tápláljuk. Az erősítők munkaellenállásain megjelenő feszültség felfutó éle alkalmas — megfelelő formálás után — a tirisztorok gyújtására. Az öntelítő diódák hatására a mágneses erősítő négyszög hiszterézisű vasmagja telített állapotba kerül, azaz a munkaellenálláson megjelenik a teljes feszültség, a tirisztorok pedig a természetes kommutáció helyén gyújtanak. Az öntelítő diódával párhuzamosan kapcsolt visszaállító ellenálláson átfolyó visszáram a magot a telítési határhelyzetre visszavezérlő, így a munkaellenállásra nem jut feszültség. A mágneses erősítő vasmagján elhelyezett vezérlőtekercsen átfolyó, megfelelő irányú árammal a periódus meghatározott helyén telítésbe vihetjük a vasmagot, azaz a munkaellenállásra csak a telítés után kerül a szinuszos feszültségnek a tartományba eső része. A tirisztorcsillag áramát a vezérlőtekercssel ellentétes gerjesztéssel vezetjük az erősítő vasmagja körül, így a gyújtáskésleltetés szögét a két gerjesztés különbsége határozza meg. Mivel a teljes átvezérléshez viszonylag kis gerjesztés szükséges, a két gerjesztés értéke közel azonos. Így, ha a nagy menetszámú vezérlőtekercsen áramot vezetünk keresztül, a csökkenő gyújtáskésleltetés hatására a tirisztorcsillag árama addig növekszik, amíg gerjesztése ki nem egyenlíti a vezérlőtekercsét. Ezzel a megoldással elértük, hogy a gyújtásszögvezérlő egyben áramszabályozóként működik.

Az erősítőn átvezetett terhelőáram-sin egyenetű tekercsnek felel meg, a vezérlőtekercs több száz menetű. A gerjesztési egyensúlyból következik, hogy adott kimenő áramhoz tartozó vezérlőáram az áttétel arányában kisebb. A mágneses erősítőn rövidrezárt kompenzálótekercset is elhelyeztünk az áramszabályozás dinamikájának befolyásolására. A mágneses erősítő tehát egyben különbségképző, szabályozó és gyújtóegység is. Az öntelítő diódákkal párhuzamosan kapcsolt visszaállító



8-2. ábra. Gyújtásszögvezérlő és áramszabályozó

ellenállások rontják a szabályozás pontosságát (a körerősítés csökkentésével), de csökkentik a gyújtási aszimmetriákat is, amelyek egyébként nehezen szűrhető 50 Hz-es összetevőket okoznak a kimeneti feszültségben.

A négy tirisztorcsillagot egy-egy gyújtóegység vezérli közös vezérlőárammal. A gyújtóegységek így egyben a terhelőáram egyenletes elosztását is biztosítják a csillagok között.

Az egyenirányító szabályozása feszültségszabályozásnak alárendelt áramszabályozás. Az áramkorlátozás a gyújtóegység vezérlőáramának korlátozásával biztosítható.

1.4 Kimeneti szűrőegység

A postai előírások igen szigorú követelményeket támasztanak az egyenirányító kimeneti feszültségének hullámosságával szemben. A hullámosság jellemzésére a „pszofometrikus zajfeszültség” megengedett értéket adják meg. A pszofometrikus zajfeszültség a hallható tartományban megjelenő frekvenciától függő súlyozású zajfeszültségek összege.

$$U_{\text{pssmV}} = \sqrt{a_1 U_1^2 + a_2 U_2^2 + \dots + a_n U_n^2}$$

ahol U_1, U_n az összetevők effektív értéke, mV;

a_1, a_n a súlyozási tényező.

Súlyozási tényezők néhány frekvenciára:

50 Hz	-63 dB	$a = 1/1410$
300 Hz	-10,6 dB	$a = 0,295$
600 Hz	-2	$a = 0,794$
800 Hz	0	$a = 1$
1000 Hz	+1	$a = 1,12$
6000 Hz	-43	$a = 1/141$

Látható, hogy pszofometrikus zaj szempontjából a 600...1000 Hz közötti feszültségösszetevők jelentkeznek legnagyobb súllyal az összegben, így elsősorban ezeket kell csökkenteni. A postai előírásokat kielégítő zajfeszültség max. 2 pssmV, azaz 2 pszofometrikus mV.

A választott tizenkét ütemű kapcsolásnak megfelelően az egyenirányító szüretlen kimeneti feszültségében megjelenő felharmonikusok frekvenciái 600 Hz és ennek egész számú többszörösei. A felharmonikusok amplitúdói függnek a gyújtáskésleltetési szögtől

$$U_n = 1,17U_s \frac{\sqrt{2}}{n^2-1} \sqrt{n^2 - (n^2-1) \cos^2 \alpha_g} \quad V_{\text{eff}}$$

összefüggés szerint változnak, ahol $n = cp$ ($c = 1, 2, 3, \dots$) a felharmonikusok rendszáma.

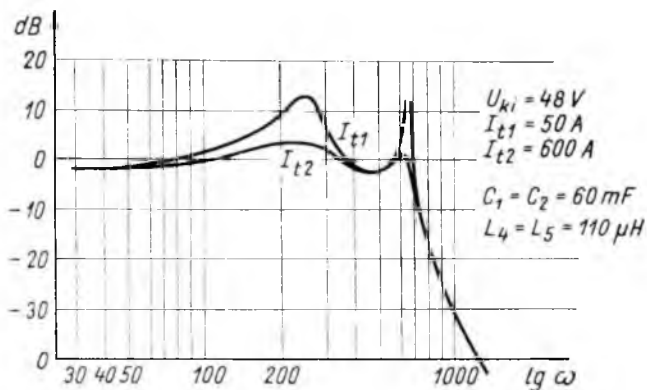
Az amplitúdó $\alpha_g = 90^\circ$ -nál a legnagyobb, ekkor

$$U_n = 1,17U_s \frac{\sqrt{2}}{n^2-1} \quad V_{\text{eff}}$$

Kapcsolásunkban a 600 Hz-es összetevő max. értéke 0,8 V, az 1200 Hz-es összetevő max. értéke 0,2 V, a többi felharmonikus értéke elhanyagolható. Láthatjuk,

hogy ha a 600 Hz-es összetevőt kellő biztonsággal 2 mV érték alá csillapítjuk, akkor a többi felharmonikus hatása már elhanyagolható.

A feladat megoldására kétfokozatú LC szűrőt terveztünk, amelynek kb. 100 Hz felett 80 dB/dek. vágása van. A szűrő Bode-diagramja a 8-3. ábrán látható, két különböző terhelőáramra ellenállással való lezárás esetén. A szűrő két frekvencián kiemel. A kiemelésnek nem szabad 50 Hz körül lennie, mert ha pl. gyújtás- vagy fázisfeszültség-aszimmetria miatt a kimeneti feszültség 50 Hz-es összetevőt tartalmaz, akkor ez kiemelve jelentősen növelheti a pszofometrikus feszültséget.



8-3. ábra. Kimeneti szűrő Bode-diagramja

Megvizsgáltuk az egyenirányítóval párhuzamos akkumulátor pszofometrikus csillapító hatását. Az akkumulátor hosszú sínrendszeren csatlakozik az egyenirányítóhoz és a fogyasztóhoz. Az akkumulátor különböző frekvenciájú csillapítóhatását jelentősen befolyásolja a sínrendszer induktivitása. Méréseink azt mutatták, hogy az 50 Hz körüli hullámosságot az akkumulátor kapacitív tulajdonsága miatt igen kis értékűre csökkentette, a 600 Hz feletti frekvenciákat azonban a hozzávetések induktivitása és a saját induktivitás miatt csak igen kis mértékben csillapítja. Ezt a jelenséget a szűrő tervezése során figyelembe vettük.

A szűrő induktív tagjai biztosítják a tirisztorok folyamatos vezetését, ugyanakkor terhelés ledobásakor jelentős kimeneti feszültségnövekedést idézhetnek elő. A szűrőt emiatt ellenőrizni kell az induktív energiaváltozása által okozott feszültségnövekedésre is, aminek pontos számítása bonyolult. Közelítőleg helyes eredményt kapunk, ha az induktívban tárolt energia kondenzátorba történő áttöltődésének feszültségnövelő következményével számolunk. Számításunk szerint a névleges terhelés ledobásakor — akkumulátor nélkül — kb. 40%-os feszültségnövekedés lép fel. A mérések ennél az értéknél 10%-kal kevesebbet mutatnak.

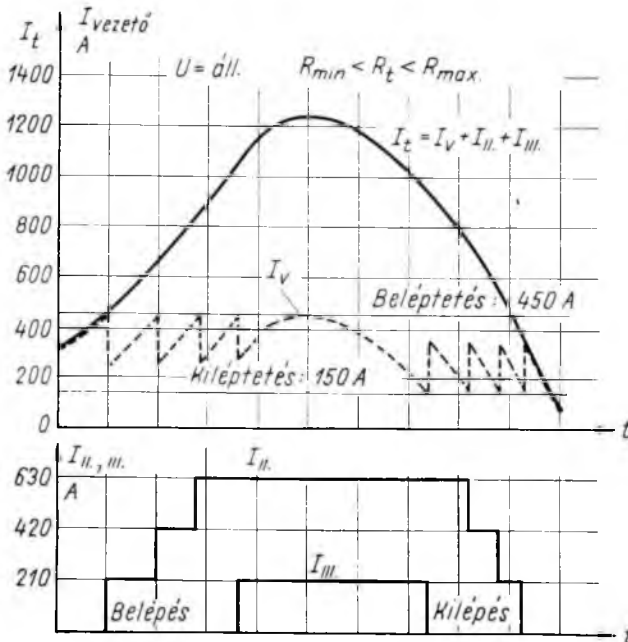
Az induktívások az egyenáramú előmágnesezés miatt nagy légrésűek, így jelentős méretük ellenére is kis induktívásúak. A kis vágási frekvencia elérésére nagy kondenzátoregységek szükségesek. A legkisebb szükséges kondenzátormennyiséget akkor kapjuk, ha C_1 és C_2 kondenzátoregység kapacitása egyenlő.

2. Vezérlés, szabályozás

A vezérlés felépítése párhuzamos rendszerben való üzemeltetésre teszi alkalmassá az egyenirányítókat. A nagyobb fogyasztói áramigény kielégítésére 2—6 db egyenirányítót kapcsolhatunk párhuzamosan. Párhuzamos üzem esetén biztosítani kell a terhelés megfelelő elosztását az egyes készülékek között, ugyanakkor törekedni kell a maximális összhatásfok elérésére. A postai terhelés a nap folyamán igen tág határok között változik, így célszerű mindig csak annyi készüléket bekapcsolni, hogy azok közel a névleges terheléssel üzemeljenek.

Nagy szabályozási pontosság igénye esetén a terhelés egyenletes elosztása feszültség szabályozott készülékek között külön beavatkozás nélkül nem valósítható meg. Célszerű ezért, hogy a rendszerben csak egy készülék szabályozza a feszültséget és a többletterhelést áramszabályozott készülékek vegyék fel. Az áramszabályozott készülékek mindig csak annak megfelelő nagyságú áramot vezetnek, hogy a feszültség szabályozott készülékek árama a saját névleges értékének kb. 25...75% között legyen.

Rendszerünkben a fenti elvet a következőképpen oldottuk meg. A kezelősze-mélyzet által kijelölt készülék az ún. vezető készülék végzi a feszültség szabályozást, ugyanakkor saját terhelőárama függvényében a soron következő készüléknek — vezetett készüléknek — parancsot ad állandó árammal történő belépésre. Beléptetési parancsot a vezető készülék 3/4 terhelésekor (jelen esetben kb. 450 A) ad. A parancsra a soron következő készülék 1/3 terheléssel, azaz 210 A állandó árammal belép. Belépéskor a vezető készülék árama ugyanennyivel visszaesik. A terhelés további növekedésekor a vezető készülék belépteti a második 420 A-es, és a harmadik 630 A-es fokozatot. A terhelőáram további növekedése esetén a soron következő készülék

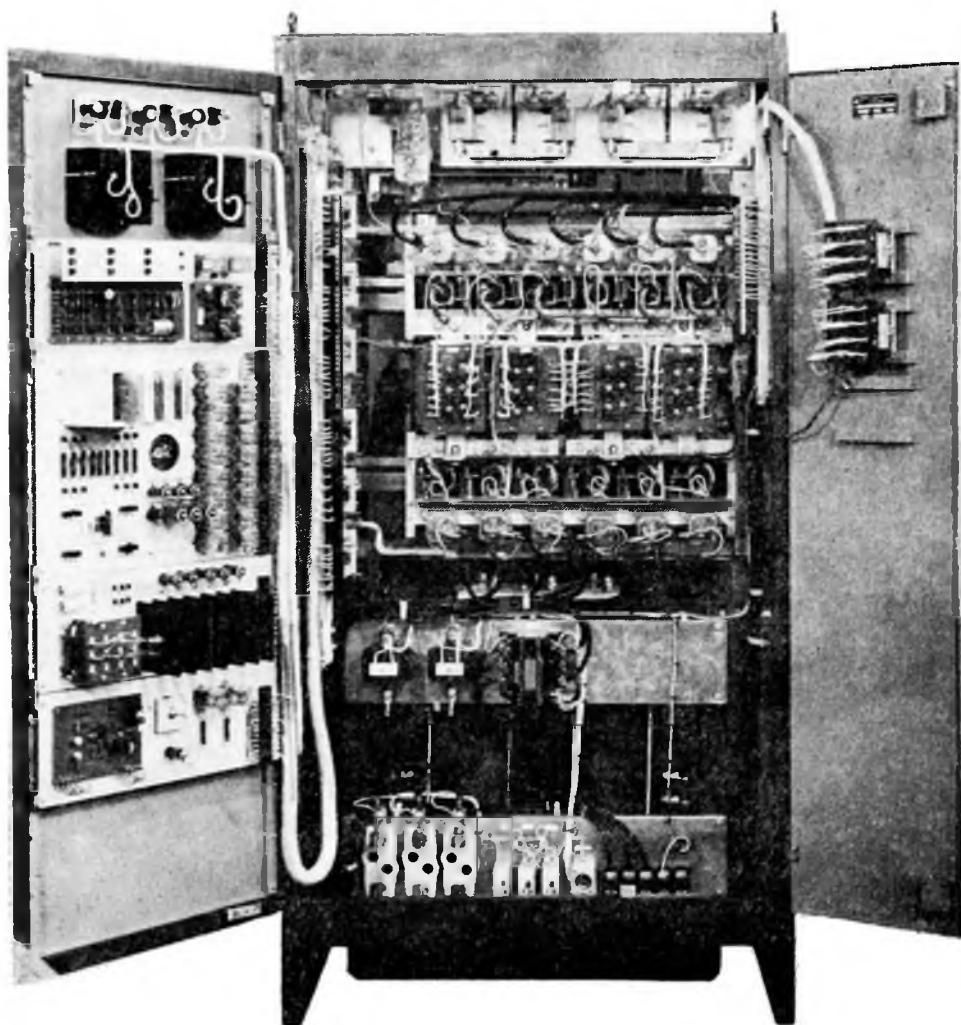


8-4. ábra. Automatikus léptetéses rendszer működési diagramja

első fokozatát lépteti be. A fokozatok célszerűen a készülékek névleges áramának harmadai.

A terhelés csökkenésekor először a vezetőkészülék árama csökken. Ha árama kb. 150 A értékre csökken, kiléptetési parancsot ad a vezetett készüléknek egy fokozattal való kilépésre. Mire a terhelőáram 150 A alá csökken, a vezetőkészülék az összes fokozatot kiléptette és egyedül marad bekapcsolva. A fenti működési folyamatot a 8-4. ábra terhelés-idő diagramján láthatjuk. A be- és kiléptetési szintek közötti áramkülönbségnek a stabil működés érdekében nagyobbak kell lennie mint a fokozatok értékei.

A léptetéses párhuzamos üzem nagy előnye, hogy mindig csak a szükséges számú készülék van bekapcsolva, ezért az üresjárási veszteségek csökkennek, ami a hatás-



8-5. ábra. HTE 48/630 egyenirányító. A vezérlőegység sávokra szerelve az ajtón helyezkedik el

fokot növeli. Alkalmazása ott indokolt, ahol a terhelés jelentősen ingadozik, de a terhelés változása viszonylag lassú.

A léptetéses üzem hatással van a rendszer dinamikai tulajdonságaira. A kisebb terhelésváltozásokat a vezetőkészülék gyorsan kiszabályozza, nagyobb változások esetén a léptetési időközök a kiszabályozási sebességet korlátozzák.

Mivel a készülék felépítése azonos, bármelyik készülék lehet vezető és vezetett készülék egyaránt. A kijelölt vezetőkészülék meghibásodása esetén automatikusan a soron következő készülék veszi át a feszültségszabályozást ellátó vezető készülék szerepét.

A vezetőkészülék szabályozása feszültségszabályozásnak alárendelt áramszabályozás. A feszültségszabályozó PI jellegű, azaz egységugrás változásra szabályozási hibája 0. A nagypontosságú csepptöltéses feszültségszabályozás az akkumulátortelep hosszú élettartamának előfeltétele.

A készülék meghibásodott egységeit a hibajelző áramkörök vizuálisan kijelzik és a készüléket automatikusan üzemén kívül helyezik.

3. Szerkezeti felépítés

A készülék 1000 mm széles, 1000 mm mély, 2000 mm magas, zárt, profilvasból kialakított szekrénybe van építve. A transzformátoregység, amely a készülék súlyának jelentős része, külön kihúzható szerkezeti egységben van elhelyezve. A tirisztorok hűtőkkel, RC elemekkel, biztosítókkal a VKI által gyártott műanyag egységlapokon kerültek felszerelésre. Az előszerelt hidegység meggyorsítja a végszerelést, ugyanakkor esztétikus is. A vezérlés az ajtóra került, funkcionálisan sávokra szerelve. A készülék előlnézeti fényképét a 8-5. ábrán láthatjuk.

A készülék főbb műszaki adatai

Névleges egyenfeszültség	48 V (44...57 V)
Névleges egyenáram	630 V
Hálózati tápfeszültség	3×380 V 50 Hz
A tápfeszültség megengedett ingadozása	+10... -15%
Statikus feszültségszabályozási pontosság	±0.5%
Áramszabályozási pontosság	±5%
Dinamikus szabályozási idő a terhelés 25%-os megváltozása esetén	100 ms
Hatásfok névleges jellemzők mellett	85%
Zavar-kapocsfeszültség	max. 2 pssmV
Tömeg	1200 kg.

NEM KÖTÖTTPÁLYÁS VILLAMOS JÁRMŰVEK

9.

Nem kötőtpályás villamos közúti járművek nemzetközi fejlesztési irányai

*DR. MOCSÁRY JÓZSEF—KISS MIKLÓS—MOLNÁR ISTVÁN—
HORVÁTH PÁL*

ÖSSZEFOGLALÓ

A szerzők a Düsseldorfban 1976. aug. 31.—szept. 2. között megtartott 4. *NEMZETKÖZI VILLAMOSJÁRMŰ SZIMPOZIUM ÉS KIÁLLÍTÁS*, valamint az 1976. szept. 13—16. között Brightonban megtartott 10. *Energiaforrások Szimpoziumon* elhangzott előadások, ill. bemutatott villamos járművek és áramforrások ismeretében vázolják a nem kötőtpályás villamos közúti járművek és autonóm áramforrásaik nemzetközi fejlesztési irányait. A cikk keretében kitérnek a különböző járműkategóriákra, fejlesztésük indokaira, és az egyes járműkategóriákat leginkább reprezentáló villamos járművekről, valamint az alkalmazott, továbbfejlesztett áramforrásokról részletesebb ismertetést nyújtanak.

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ШОССЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Д-р. Мочари Й.—Киши М.—Молнар И.—Хорват П.

Резюме

Исходя из докладов, выставленных электрических транспортных средств и автономных источников тока 4-го Международного симпозиума и выставки в городе Дюсселдорф с 31-го августа до 2-го сентября 1976-го года и 10-го Симпозиума по источникам энергии в городе Брайтон с 13-го до 16-го сентября 1976-го года, авторы излагают международные тенденции развития шоссейных электрических транспортных средств с автономным источником тока и автономных источников тока в них. В рамках статьи авторы излагают различные категории транспортных средств, причины необходимостей их развития, а также детально излагают самые характерные транспортные средства некоторых категорий и современные источники тока, примененные для питания транспортных средств.

INTERNATIONALE ENTWICKLUNGSTENDENZEN VON NICHTSPURGEBUNDENEN ELEKTRISCHEN LAND- UND STADTFAHRZEUGEN

Dr. J. Mocsáry—M. Kiss—I. Molnár—P. Horváth

Zusammenfassung

Die Verfasser geben einen Überblick über internationale Entwicklungstendenzen der nichtspurgebundenen elektrischen Land- und Stadtfahrzeuge und autonomen Stromquellen auf Grund der Vorträge des 4. Internationalen Elektrofahrzeugsymposiums in Düsseldorf in 1976 und des 10. Internationalen Stromquellensymposiums in

Brighton in 1976, sowie der Elektrofahrzeugausstellung in Düsseldorf im selben Jahr. Verschiedene Fahrzeugkategorien sowie die Motive deren Entwicklung werden behandelt und die meist charakteristischen Fahrzeuge der einzelnen Kategorien und die praktisch benutzten, weiterentwickelten Batterien werden gezeigt.

INTERNATIONAL TRENDS OF THE DEVELOPMENT OF ELECTRIC VEHICLES

By Dr. J. Mocsáry—M. Kiss—I. Molnár—P. Horváth

Summary

The authors give some information of the international trends of the developments in the field of the electric road and off-the-road vehicles and of the independent power sources used in electric vehicles based on the Proceedings of the 4th Electric Vehicle Symposium held in Düsseldorf in 1976 and that of the 10th International Power Sources Symposium held in Brighton in 1976 and based on the exhibited vehicles and power sources. In the paper several categories of electric vehicles and the motives of their developments are discussed and some of the most peculiar vehicles of the various categories and the practically used improved power sources are shown.

1. Bevezetés

A nem kötőtpályás villamosjárművek nemzetközi komplex fejlesztésével összefüggő helyzetfelmérést eredményezett az 1976. aug. 31.—szept. 2. között Düsseldorfban megtartott 4. Nemzetközi Villamosjármű Szimpózium és Kiállítás, ami egyúttal az ezredfordulót megközelítő időpontig a fejlesztési célkitűzéseket is vázolta. Az 1976. szept. 13—16. között Brightonban megtartott 10. Energiaforrások Szimpózium a másik nemzetközi fórum, ami jelentős teret szentelt a villamos járművek áramforrásainak és fejlesztési célkitűzéseiknek.

A nem kötőtpályás villamos közúti járműveket az első durva osztályozás szerint két csoportra oszthatjuk. Az elsőbe tartoznak az elektrokémiai áramforrással felszerelt városi vagy üzemben belüli járművek, a másodikba a hőerőgép energiaforrású, villamos erőátvitelű különleges, terepjáró és nehéz járművek. A második csoportba tartozó járművek villamos erőátvitelét, ill. villamos hajtását az indokolja, hogy a nehéz járműveknek rossz útviszonyok közötti biztonságos mozgáshoz, ill. a terepjáró képességéhez több kerék, ill. tengely viszonylag független hajtására van szükség, és ezt villamos erőátvitellel sok esetben előnyösebben lehet megoldani, mint tisztán gépészeti eszközökkel. A következőkben csak az első csoporttal foglalkozunk.

Az első csoportba tartozó járművekben alkalmazott, elektrokémiai áramforrásokban tárolt villamos energia a járművek és ezekre alapozott közlekedési rendszerek megfelelő műszaki színvonala és jelentős mennyiségű alkalmazás esetén lényegesen hozzájárulhat energia és környezetvédelmi gondjaink csökkentéséhez. Ezt figyelembe véve ezeknek a járműveknek a létjogosultsága tehát lényegében a következő szempontokkal indokolható.

- a villamos energia nagyrészt hazai primer energiahordozókból, később egyre növekvő arányban atomenergiából állítható elő;
- a villamos energia a nagy ipari és lakóközvetekben elegendő mennyiségben és biztonságosan rendelkezésre áll;

- a villamos energia környezetvédelmi szempontból a legelőnyösebb az energia valamennyi hasznosítható formája között;
- a villamos hajtás a sűrűn lakott területeket jellemző, gyakori megállásokkal megszakított forgalomban gazdaságosan működik, mert a villamos motor csak akkor fogyaszt energiát, ha a jármű mozog;
- a villamos hajtás karbantartás szempontjából igénytelen és hosszú élettartamú.

A villamos hajtás a felsorolt követelményeket az iparban, sőt a munkavezetékéről táplált járművekkel szerzett sok évtizedes tapasztalatok alapján jól ki tudja elégíteni, beleértve a legújabb félvezetős átalakítós, szabályozott hajtásokat is. Sajnos, ma még nem mondható el ugyanez a járművekben alkalmazható elektrokémiai áramforrásokra, így ezek fejlesztése áll ma a figyelem és az erőfeszítések központjában. Éppen az elektrokémiai áramforrásoknak a villamos hajtás egyéb összetevőihöz viszonyított elmaradása okozta azt, hogy mindeddig nagyon kevés nem kötöttpályás villamos hajtású jármű van üzemben az óriási számú, belsőégésű motoros járművekhez képest, így ezen a speciális területen a villamos hajtással nagyon kevés az üzemi tapasztalat. A villamos hajtásokkal szerzett üzemi tapasztalatok nem vihetők át közvetlenül egyéb — ipari, vasúti vontatási, stb. — területekről a közúti járművekre. Ugyanez a körülmény: az üzemben levő járművek igen kis mennyisége okozza azt, hogy a villamos hajtású közúti járművek a kis gyártási darabszámok miatt viszonylag nagyon drágák, áruk a belsőégésű motoros járművek árának 1,5...3-szorosát

Az energiagazdálkodási problémák előtérbe kerülése, a sűrűn lakott területeken egyre fokozódó levegőszennyezési problémák és zaj, továbbá a karbantartási költségek növekedése és a karbantartást végző, jól képzett személyzet hiánya az utóbbi években nagy lökést adott a pályához nem kötött villamos járművek és az erre a célra alkalmas elektrokémiai áramforrások kutatásának és fejlesztésének. A ma rendelkezésre álló elektrokémiai energiaforrások az igen nagy fajlagos tömegén kívül éppen a karbantartási igény szempontjából nem elégítik ki a követelményeket.

2. Fejlesztési irányok

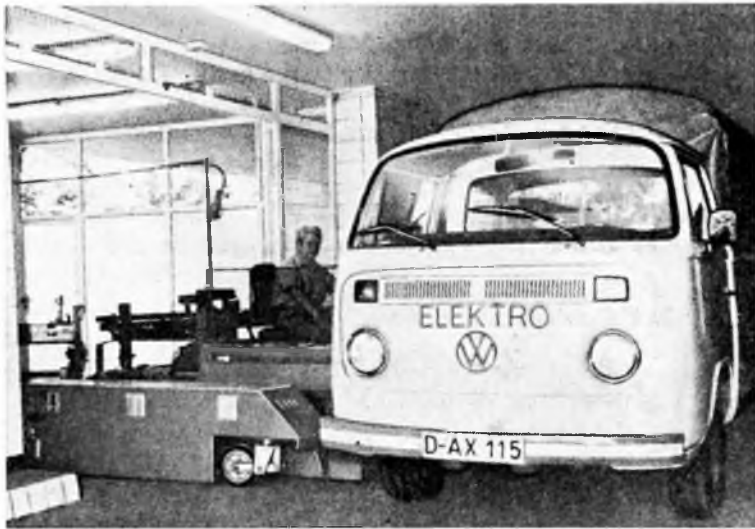
A kutatás és fejlesztés néhány jól körülhatárolható területre koncentrálódik, ill. van néhány jellemző irányzat, amelyeket a következőkben vázolunk.

A fejlesztés, ill. az annak nyomán megindítható sorozatgyártás igen fontos kérdése a jármű és a villamos berendezés kölcsönhatása. Egyszerűbben megfogalmazva az a kérdés vetődik fel, hogy milyen legyen az a jármű, amelybe a villamos hajtást beépítik. Itt két fő irányzat található.

Az első irány abból a megfontolásból indul ki, hogy a villamos közúti járművek még nem jutottak el a fejlesztés „finomítási” korszakába, ma még inkább az üzemi kísérletek, üzemeltetési tapasztalatok gyűjtése, az elvileg lehetséges rendkívül sokféle változat közül a leginkább megfelelők kiválasztása korszakában vannak, ezért nem érdemes a szorosán vett villamos problémákat járműfejlesztési problémákkal tetézni. Ezt az irányzatot az jellemzi, hogy a lehető legnagyobb mértékben hagyományos, belsőégésű motoros járművekhez kifejlesztett, nagy sorozatban gyártott járművekbe építik be a villamos hajtást a lehető legkisebb átalakítással (9-1. ábra). Nem vitatható, hogy ezzel a módszerrel nem lehet a jármű—villamos hajtás együttes optimumát elérni, de a fejlesztés költségei és átfutási ideje jelentősen csökkenthető. Ennek az irányzatnak jellegzetes képviselői pl.: a MAN akkumulátoros-utánfutós autóbusza (9-1. ábra), a VW áruterítő kisteherautó (9-2. ábra) és az Electric Fuel Propulsion Coop. (USA) cég Transformer I. típusú luxus személygépkocsija (9-3. ábra).



9-1. ábra. A MAN-cég akkumulátoros utánfutós autóbussa az akkumulátortöltő és -cserélő állomás előtt



9-2. ábra. VW áruterítő az akkumulátortöltő és -cserélő állomáson

A MAN autóbusz és a VW áruterítő kisteherautó az NSZK-beli Gesellschaft für Elektrische Strassenverkehr (GES) szervezésében megindult, 13 millió DM-mel finanszírozott program keretében készült. Az autóbusról 10. cikkünkben közlünk részletesebb adatokat. A VW áruterítő 2700 kg összes gördülőtömegű, 500 kg hasznos terhelésű, 50 km/h maximális sebességű, hatótávolsága városi forgalomban 50...60 km. A beépített Varta ólomakkumulátor 21,6 kWh tárolóképességű, 860 kg tömegű, és a központi töltőállomáson 4 perc alatt cserélhető. 20 darab több, mint egy éve üzemben van, további 50 db gyártása és üzembe állítása rövidesen várható.

Az USA kongresszusa 1975-ben 120 millió \$ támogatást adott az „Electric Vehicle Research, Development and Demonstration Act” elnevezésű programhoz, ennek keretében kezdték meg a Transformer I. típusú luxus villamos személygépkocsi gyártását (2 db/hó). Maximális sebessége 110 km/h, hatósugara a beépített ólom—kobalt akkumulátorral 100 km. A csomagtartóba vagy egytengelyes utánfutóba beépített benzinmotoros generátor segítségével a jármű országúton napi kb. 1800 km megtételére képes, ára a luxus kivitelnek megfelelően 19 000 \$.



9-3. ábra. Transformer I. akkumulátoros, luxus személyautó

A második irányzat optimális járműkonstrukció elérése érdekében kifejezetten az akkumulátoros hajtás igényeire méretezett alvázat, futóművet, karosszériát alkalmaz. Ez többek között azt jelenti, hogy a futóművet mérsékelt végsebesség, de nagy terhelés figyelembevételével méretezi, a karosszériából elhagyja a benzinmotor és szerelvényei elhelyezésére alkalmas, többnyire terjedelmes motorházat, viszont az alvázat az akkumulátorok elhelyezése szempontjából alakítja ki. Feltehető, hogy a villamos járművek nagyobb mértékű elterjedése, tehát nagyobb gyártási sorozatok esetén ez az út lesz a gazdaságos, ma azonban a célszerűsége vitatható. Ilyen jármű pl. a Sebring-Vanguard CitiCar (9-4. ábra), a Copper Electric Town Car (9-5. ábra), a Daihatsu japán vállalat EV 2 típusú személykocsija (9-6. ábra), továbbá a FIAT



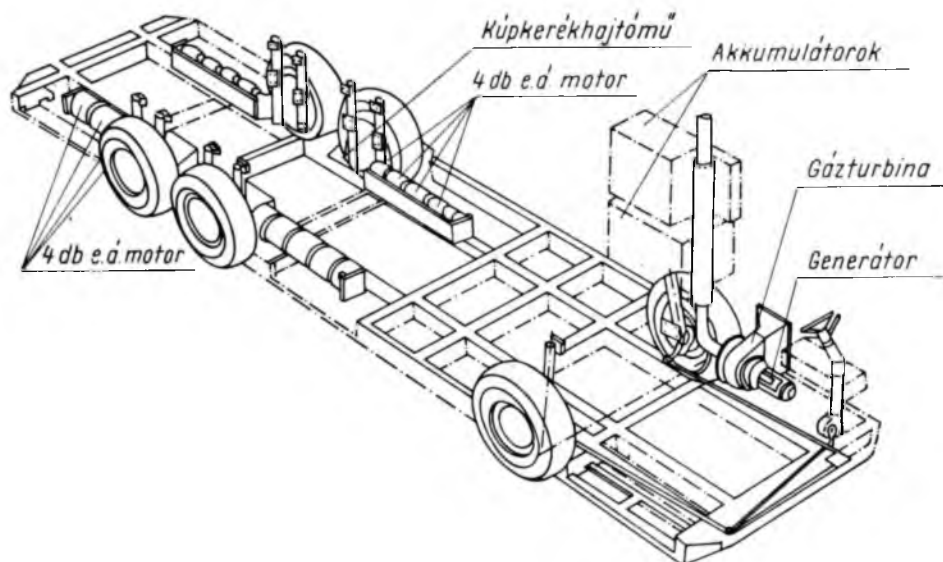
9-4. ábra. Sebring-Vanguard CitiCar kétszemélyes akkumulátoros városi kiskocsi



9-5. ábra. Copper Electric Town Car,
2+1 személyes akkumulátoros városi kiskocsi



9-6. ábra. EV 2 típusú négyszemélyes japán akkumulátoros személygépkocsi



9-7. ábra. Fiat 100 személyes, 18 t-s, 500 mm padlómagasságú gázturbina—akkumulátoros hibrid táplálású autóbusz elrendezési vázlata

által tanulmányként kidolgozott, de tudomásunk szerint soha meg nem épített 100 személyes, 18 tonnás, háromtengelyes, 500 mm padlómagasságú gázturbina-akkumulátoros hibrid táplálású autóbusz, amelynek röntgen-rajzát mutatjuk be (9-7. ábra).

A már említett USA program keretében kifejlesztett CitiCar (9-4. ábra) kétüléses, 50 km/h sebességgel 50 km-es hatósugarú. Ára 2950 \$, energiaköltsége egyszeri feltöltésre 20 cent. Eddig 2000-nél többet adtak el, a vásárlók többsége diák.

Az Electric Town Car (9-5. ábra) kétszemélyes, csomagteres kocsi, maximális sebessége 100 km/h, hatósugara 150 km.

Az EV2 (9-6. ábra) négy személyes, maximális sebessége 94 km/h, 40 km/h állandó sebességgel hatósugara 250 km. Ólomakkumulátora 5 órás kisütésre 60 Wh/kg energiasűrűségű. A kocsi érdekessége a NaOH olvadékkal működő, nagy kapacitású hőtároló a kocsi fűtésére.

A Fiat gázturbinás hibrid autóbusz (9-7. ábra) sok extra megoldást tartalmaz, így pl. a megnövelt önsúly miatt három tengelyt, az igen alacsony padló miatt a differenciálmű nélküli, hátsó futóműveket kerekenként 4 db villamos motorral (nagyobb átmérőjű motor nem fér el!), továbbá olyan automatikát, amely a gázturbinát akkor indítja, ha az akkumulátor meghatározott szintig kisült, és újra megállítja, ha a töltés befejeződött. Ez a megoldás biztosítja, hogy a gázturbina mindig a legkisebb fajlagos fogyasztásnak megfelelő terheléssel üzemeljen.

Számos egyéb szempont alapján lehetne még osztályozni a villamos járműveket, ill. az alkalmazott megoldásokat, a következőkben azonban csupán a fontosabb járműkategóriákat vesszük sorba.

2.1 Villamos motorkerékpárok

Viszonylag szerény menettulajdonságokkal, munkahely és lakás közötti közlekedésre, bevásárlásra, nagyobb üzemek területén belső személyforgalomra már a mai műszaki eszközökkel elfogadható paraméterekkel rendelkező járművek készíthetők, különösen, ha a parkolóhelyeken történő akkumulátor utántöltést megoldják. Igen előnyösen befolyásolhatná a használhatóságot, ha megfelelő áron hermetikusan zárt, karbantartást nem igénylő akkumulátorokat lehetne alkalmazni. Ez az egyik olyan járműkategória, amelynek fejlesztése a VKI-ben is folyik.

2.2 Villamos targoncák

Ezek szigorúan véve, jogilag nem közúti járművek, hanem az üzemek területén belüli anyagmozgatás járművei. Mégis igen fontos járműkategóriát alkotnak azért, mert a korlátozott sebességi és gyorsulási követelmények folytán elterjedtségük messze fölülmúlja bármilyen más villamos járműét. Elterjedésük mértéke országonként jelentős ingadozást mutat, a targoncák 20...60%-a villamos.

E járműtípus fontosságát az említettek miatt az a körülmény is hangsúlyozza, hogy ipari termékként és felhasználói volumenben szinte kizárólag ezek a ma üzem-szerűen nagy tömegben használatban levő villamos járművek. Ily módon reális vissza-csatolás érvényesül áramforrásigényük és az áramforrást előállító ipari tevékenység közt. A vontatási, ill. járműhajtási célra alkalmas áramforrások ma is létező, tömeg-szerű felhasználói ezek, így várható, hogy a villamos közúti járművek használható áramforrástípusai is először az e területre kifejlesztettek közül kerülhetnek ki.

Ha formailag nem is, menettulajdonságok szempontjából ebbe a kategóriába sorolhatjuk a tejkihordó autókat, amelyekből Angliában több 10 000 db van hosszú ideje üzemben. Ezeket a járműveket az jellemzi, hogy minden kapu előtt megállnak, ezért sebességük és gyorsulásuk igen szerény, ennek megfelelően motorteljesítményük is igen kicsi; a normális közúti forgalomba természetesen nem tudnak beilleszkedni.

2.3 Villamos személykocsik

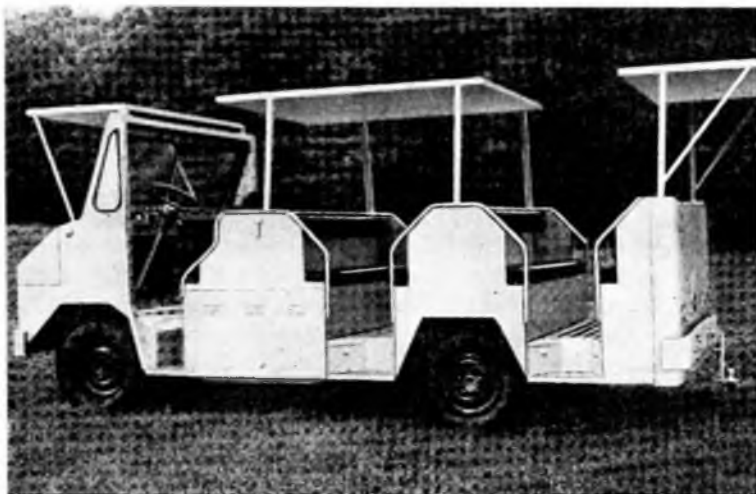
A mai korszerű, benzin- (esetleg dízel-)motoros személykocsik menettulajdonsá-gait, univerzális használhatóságát a villamosenergia-tárolás problémái miatt meg sem közelítik, még az elsősorban városi, ill. rövid távú használatra gyártott kiskocsikét sem. Más kérdés, hogy a kizárólag városi vagy elővárosi forgalomra használt kocsik esetében arra nincs is szükség. Ebből önmagától adódik, hogy villamos hajtású *magántulajdonú személykocsik* nagyobb számú üzemeltetésére csak ott lehet reálisan számítani, ahol az ún. második, ill. harmadik kocsi tartása megszokott dolog. Aki csak egy kocsit tart, az kocsijától többnyire elvárja, hogy univerzálisan használható legyen.

Az említett feltétel leginkább az Egyesült Államokban adott, és a villamos sze-mélykocsik ottani elterjedése mellett szól még három további körülmény: sok amerikai nagyvárosban semmiféle városi tömegközlekedés nincs, az egyetlen közle-kedési eszköz a személygépkocsi; ebből következően a városok levegőszennyezését sokkal nagyobb mértékben okozzák a személygépkocsik, mint pl. az európai nagy-városokban; az amerikai nagyvárosi körzetekben nagyon elterjedt kertes családi házas települési forma azt is jelenti, hogy a magánhasználatú személygépkocsik vi-szonylag nagy részét garázsban tartják, ahol az akkumulátorok éjszakai töltése könny-en megoldható. Villamos személykocsikat láthatunk a 9-3...9-6. ábrán, ebből három amerikai, egy japán.

A villamos személygépkocsik külön kategóriáját alkotják a *villamos taxik*. Egy-egy nagyváros szervezett taxivállalatán belül jól meg lehet oldani az akkumulátoros járművek utántöltését pl. a taxiállomásokon. A taxi ezenkívül előnyös lehetőséget kínál arra, hogy kifejezetten villamos üzemre tervezett és optimálisan kialakított járművet készítsenek, annál is inkább, mert taxi céljára egy normális személykocsi tulajdonképpen nem ideális jármű. Mind több helyen tapasztalható az a törekvés, hogy taxi céljára — a motor típusától függetlenül is — speciális járműveket fejlessze-nek ki, amelyekből olyan nagy gyártási sorozatokat semmiképpen nem gyártanak, mint az általánosan használt személykocsikból.

2.4 Különleges járművek

Ez a kategória rendkívül heterogén. Ide sorolhatjuk a szemétyűjtő, utcaseprő gépeket éppúgy, mint a kórházi betegszállítókat, rokkantkocsikat, golfkocsikat, a temetői szolgálat járműveit vagy a különleges repülőtéri kiszolgáló járműveket. Ezen a területen már eddig is számos kezdeményezés történt villamos járművek alkalmazására, és igen valószínű, hogy még további gazdaságos lehetőségek is vannak. Egy egészen különleges akkumulátoros jármű látható a 9-8. ábrán: egy gombatermelő gazdaságban alkalmazott nyitott kisautóbusz, amely a gombaszedő személyzetet kívül a tetőn és a jármű által vontatott pótkocsikon a leszedett gombát tartalmazó rekeszeket is szállítja.



9-8. ábra. Gombatermelő gazdaság különleges villamos kisautóbusza

2.5 Áruiterítő kistehergépkocsik

Ezek kis vagy közepes teherbírású, többnyire zárt csomagterű teherautók, amelyek jellemző üzemmódja, hogy a város területén elhelyezett raktárakból az áruházakba, üzletekbe széthordják az árut. Ennek megfelelően az üzemi idő nagyobb része föl- és lerakodással, kisebb része a városi forgalomban való részvétellel telik el, sok megállással és várakozással. Ezeknek a gépkocsiknak a napi futásteljesítménye ritkán haladja meg az 50...60 km-t, többnyire ennél is lényegesen kevesebb, ez pedig napi egyszeri akkumulátortöltéssel teljesíthető. Hasonló üzemmód jellemző pl. a posta csomagkihordó és levélgyűjtő járműveire. Ilyen jármű a 9-2. ábrán látható VW kisteherautó. Ezzel a járműkategóriával is foglalkozik a VKI, mint azt a 11. cikkben bemutatjuk.

2.6 Villamos hajtású városi autóbuszok

A menetrendszerű városi forgalmat lebonyolító, korszerű dízel-motoros autóbuszok fontosabb adatai az európai országokban általánosan elfogadott előírások és normák szerint: 2500 mm szélesség, kb. 11 m hosszúság, szállítható utasok száma kb. 100, teljes tömeg maximális terheléssel 16 t, kéttengelyű kivitel. Ezek a járművek a BKV adatai szerint naponta kb. 250 km-t tesznek meg városi forgalomban.

Ezeket az adatokat akkumulátoros villamos hajtással elérni nem, csupán megközelíteni lehet, különböző kompromisszumok árán. A lehetséges kompromisszumok: hőerőgép-akkumulátoros hibrid táplálás, megnövelt tömeg, három tengely (9-7. ábra); ugyanaz megnövelt tengelynyomással, de két tengellyel (Mercedes-Benz); csökkentett utasszám, járműbe beépített, nem cserélhető akkumulátor, újratöltés a járműben, ezáltal lényegesen kisebb napi futásteljesítmény (angol Silent Rider); a dízel-busszal azonos méretű, össztömegű és hasznos terhelésű kéttengelyes autóbusz, utánfutóba beépített, gyorsan cserélhető akkumulátorral (9-1. ábra), és még egyéb lehetőségek. Ez a harmadik olyan villamos hajtású közúti járműkategória, amelynek fejlesztésén dolgozik a VKI, mint azt a 10. cikkben bemutatjuk.

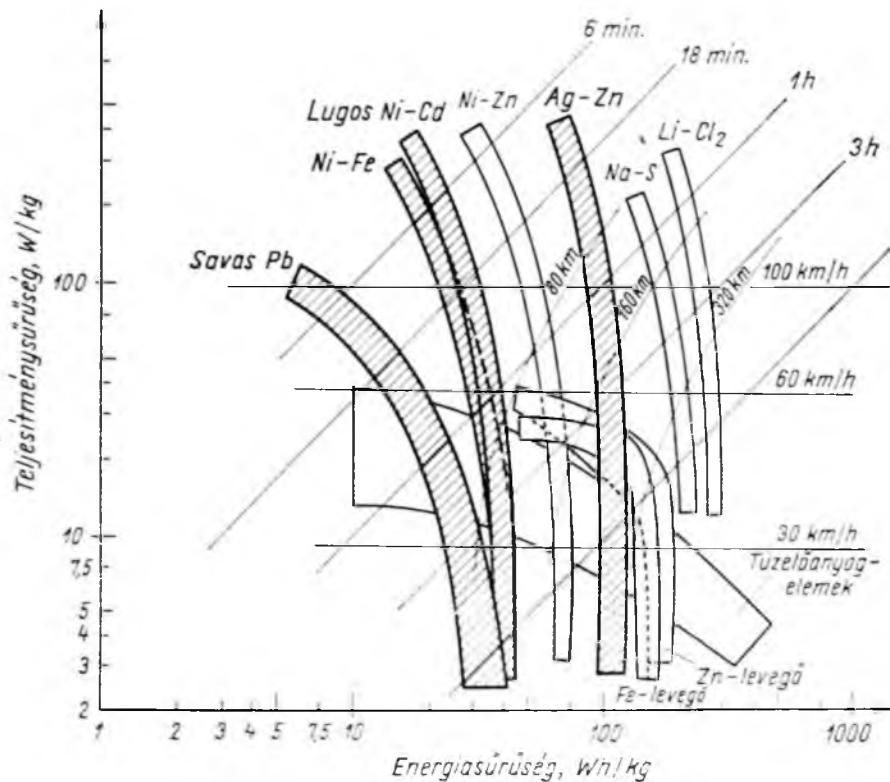
3. Elektrokémiai áramforrások

A nem kötöttpályás közúti villamos járművek előzőekben részletesen tárgyalt típusai a jármű „fedélzetén” elektrokémiai áramforrás segítségével előállított villamos energiával üzemelnek. Az elektrokémiai áramforrás valamely anyagban, kémiai kötések formájában tárolt energiát alakítja át villamos energiává. Két fő típusát különböztetjük meg e berendezéseknek. Ha a kémiai kötési energiát tároló anyagot az áramforrás elektródjával együtt — vagy egyszerűen az elektródként — tárolják, akkor ún. energiátároló elemekről beszélünk, amelyek üzemmód szerint lehetnek primer elemek, ill. villamos energiával regenerálható szekunder elemek, vagy más szóval akkumulátorok. A másik típus esetében az elektrokémiai áramforrás indifferens elektródokból és köztük elhelyezett, ionvezetésre szolgáló elektrolitból épül fel, az energiahordozóként használt anyagot pedig az elemen kívül, külön tartályban tárolják, és a felhasználás ütemében adagolják az elektródhoz. (Természetesen ezek kombinációja is számításba vehető.)

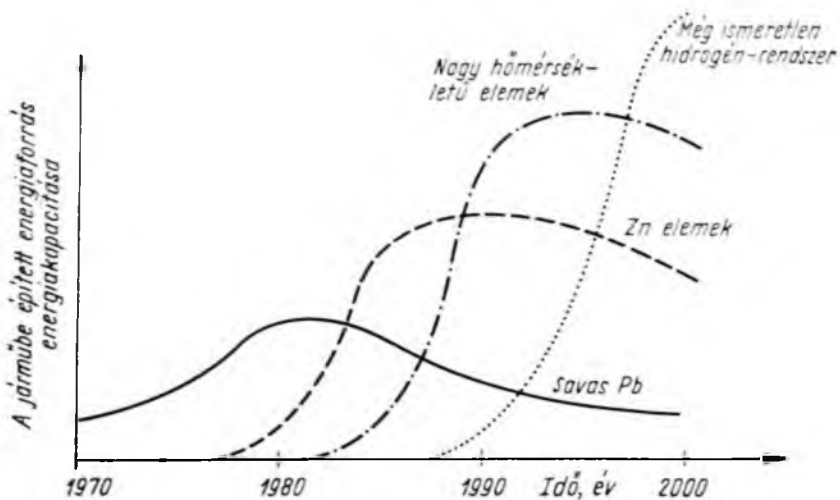
A villamos járművek, hogy a belsőégésű motoros erőforrásokkal épített járműveknek műszakilag alternatív megoldásai lehessenek, az elektrokémiai áramforrással szemben meglehetősen szigorú műszaki követelményeket támasztanak. A 9-9. ábra az áramforrás teljesítménysűrűségét ábrázolja az energiasűrűség függvényében különböző elektrokémiai áramforrásokra. A logaritmikus ábrázolási forma lehetőséget ad arra, hogy a kisütési idő és a járművel különböző sebességekkel megtehető út áttekinthető módon szerkeszthető legyen, rögzített kiindulási feltételek mellett. Az ábrán bemutatott értékeket a szakirodalomból idézzük. A téma széleskörű szakirodalmában esetenként különbözőképpen súlyozott problémákat, ha nem is lehet kikerülni, kiemeljük, hogy az adatok átlagokat jelentenek olyan járműkonstrukcióra, amelynek esetében az áramforrás súlya és a hasznos terhelés együttesen a jármű összsúlyának 45%-a. A már ma is gyártott áramforrástípusokat vonalkázással jelöltük, a többi görbe laboratóriumi vizsgálatok adatainak felhasználásával készült.

A nem kötöttpályás közúti villamos járművekben felhasználásra kerülő elektrokémiai áramforrásfajták jövőbeni elterjedését Krusensterierna nyomán és a legutóbbi nemzetközi konferenciák tükrében a 9-10. ábrán mutatjuk be (l. 12. cikk irodalomjegyzékében [14]).

Látható az előző ábrával történő összevetés alapján, hogy a következő öt évig gyakorlatilag csak ólomakkumulátorok felhasználásával lehet számolni, a Zn anódú áramforrások fokozatos elterjedése mellett, ami egyben a jármű akciórádiuszát kb. kétszeresére növeli. A 80-as évek vége felé számíthatunk a magas hőmérsékletű — zömében olvadék elektrolitú — áramforrások elterjedésére. A hagyományos technológiával készülő ólomakkumulátorok a beépítésre felhasznált aktív anyagoknak maxi-



9-9. ábra. Elektrokémiai áramforrások energiasűrűség—teljesítménysűrűség diagramja villamos járműhajtási szempontból parametrizálva



9-10. ábra. Elektrokémiai áramforrások felhasználási trendje villamos járművek hajtására

málishan kb. 35%-át hasznosítják a töltés-kisütési ciklus során. Ez óriási tartalékokat jelent, ha figyelembe vesszük, hogy az elektródok képezik az üzemkész akkumulátor súlyának több, mint 60%-át. Jelentős javulás várható a korszerű vegyipari technológiák felhasználásától és az új szerelési módszerek elterjedésétől is.

A ma már laboratóriumi szinten túljutott vizsgálatok alapján megállapítható, hogy 60...70 Wh/kg energiasűrűség sorozatban gyártott ólomakkumulátorokkal realizálhatónak ígérkezik. E területen jelentős eredményeket mondhat magáénak a VKI is az Elektrobarkas könnyített műanyagházas, hagyományos elektródú akkumulátorkonstrukciójával.

A legutóbbi évek fejlesztési munkái jelentős javulást eredményeztek a hagyományos Ni-Fe, lúgos elektrolitú akkumulátorok területén. Ez azért érdemel külön is figyelmet, mivel ez az akkumulátorfajta az ólomakkumulátornál kb. 2...5-ször nagyobb ciklusélettartammal rendelkezik. A fejlesztés itt is az elemi elektródfolyamatok elemzését és ennek alapján a jobb aktívanyag-kihasználási hatások elérését célozza.

A Zn elektrokémiájának fejlődése a hagyományos Leclanche-elemek területén már korszerű ipari terméket, a lúgos mangánoxid elemet hozta. Hasonló robbanás-szerű fejlődés várható a nagykapacitású áramforrások területén is, mivel gyártása jellegében nem igényel a meglévőkhöz képest lényegesen új technológiai felkészültséget.

A többi áramforrástípus esetében a 9-10. ábra szerinti trend inkább a laboratóriumi eredmények alapján megfogalmazható reményt, mint konkrét műszaki eredményeket tükröz. Az e területen felmerülő problémákra a 12. cikkben is kitérünk.

10.

Villamos hajtású városi autóbuszok fejlesztése

GLOFÁK PÉTER—HALMAI GÉZA—KISS MIKLÓS

ÖSSZEFOGLALÁS

Az V. ötéves tervidőszak alatt a VKI és együttműködő partnerei által végrehajtható kutatás—fejlesztési program ismertetése és indokolása. Az előző tervidőszak célprogramjának tanulságai. Rövid távú célkitűzés: korszerű, csuklós, alacsony padló-szintű, tirisztoros trolibusz; a kifejlesztendő jármű fontosabb műszaki jellemzői és az alkalmazandó megoldások vázlatos ismertetése. Hosszabb távú célkitűzés: duóbusz fejlesztése; fontosabb műszaki jellemzők, távlati tervek új típusú, könnyű akkumulátorok üzemi kipróbálására. Könnyű vontatómotor fejlesztése.

РАЗРАБОТКА ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

П. Глофак—Г. Халмаи—М. Киши

Резюме

Изложение научно-исследовательской программы, выполняемой НИИ Электрической промышленности и его сотрудникам в течении пятой пятилетки. Опыты научной программы предыдущей пятилетки. Программа на короткий срок: современный сочленённый троллейбус с тиристорным приводом и пониженным горизонтом пола; важнейшие технические данные разрабатываемого транспортного средства и краткое изложение применяемых решений. Программа на долгий срок: разработка дуо- автобуса; важнейшие технические данные, перспективные планы на испытание новых лёгких тяговых аккумуляторов. Разработка легкого тягового двигателя.

ENTWICKLUNG VON STADTAUTOBUSSEN MIT ELEKTRISCHEM ANTRIEB

P. Glofák—G. Halmai—M. Kiss

Zusammenfassung

Erläuterung und Begründung des in der V. Fünfjahresplanperiode von VKI und Kooperationspartnern durchzuführenden Forschungs- und Entwicklungsprogramms. Lehren des Zielprogramms des IV. Fünfjahrplans. Kurzfristige Zielsetzung: ein moderner Gelenktrolleybus mit Thyristorzerhacker und niedrigem Fussboden. Erläuterung der wichtigsten technischen Parameter des zu entwickelnden Fahrzeuges und schematische Darstellung der anzuwendenden Ausführungen. Zielsetzung auf lange Sicht: Entwicklung eines Duobuses; wichtigere technische Parameter, Perspektivpläne zur betriebsmäßigen Erprobung neuartiger leichter Akkumulatoren. Entwicklung eines leichten Fahrmotors.

DEVELOPMENT OF ELECTRICALLY DRIVEN CITY BUSES

By P. Glofák—G. Halmi—M. Kiss

Summary

The research-development program to be fulfilled by the Research Institute of the Electrical Industry (VKI) and its co-operating partners during the fifth 5-year plan period is described and its motives are listed. Lessons from the special programme of the preceding plan period are drawn. Short-term targets: up-to-date articulated thyristor-controlled overhead-line bus with low floor level; main technical characteristics of the vehicle envisaged for development are presented, together with an outline of applicable solutions. Long-term targets: development of duo-buses; main technical characteristics; perspective plans for testing of new types of lightweight batteries under service conditions. Development of a light electric traction motor.

1. Bevezetés

Az autóbuszok mind nagyobb szerepet játszanak a városi tömegközlekedésben. Igen sok olyan város van, ahol az autóbusz az egyetlen tömegközlekedési eszköz. Ennek megfelelően kialakult a városi autóbusz szabványosnak tekinthető típusa, amely — ha az Angliában elterjedt emeletes autóbuszoktól eltekintünk — Európában kb. a következő adatokkal jellemezhető:

	Szóló autóbusz	Csuklós autóbusz
Teljes hossz kb.	11 m	16...18 m
Szélesség	2500 mm	2500 mm
Maximális gördülőtömeg teljes terheléssel	16 t	22,5...24 t
Tengelyek száma	2	3
Szállítható utasok száma kb.	100	140...160

A következőkben ezekkel az autóbuszokkal, ill. ezek villamosításával foglalkozunk, a közepes és kisméretű autóbuszokat, amelyeknek a jelentősége a városi közlekedésben alárendeltebb, nem tárgyaljuk.

A városi autóbuszok adatait a különböző országokban érvényben levő és nemzetközileg mindinkább egységessé váló hatósági előírások és a városi forgalom adottságai korlátozzák. Ilyen okokból alakult ki kéttengelyes járműre a 16 t, háromtengelyes csuklós járműre max. 24 t gördülőtömeg teljes terheléssel, 2500 mm szélesség és kéttengelyes járműre 11 m, háromtengelyes csuklósra max. 18 m teljes hosszúság. A szállítható utasok száma már következmény, amiben szerepe van az üres jármű saját tömegének, az egy utasra átlagosan számított 68 kg tömegnek és a jármű hasznosítható alapterületén elhelyezendő minimális számú ülőhelynek, továbbá az álló utasok csúcsgalimi időben megengedett kb. 8 fő/m² sűrűségének.

A tömegközlekedés jelentősége a városokban egyre nő annak ellenére — vagy talán éppen azért —, hogy a lakosság személygépkocsi-ellátottsága folyamatosan növekszik. A személygépkocsik tömegei által különösen csúcsgalimi időben okozott torlódások ugyanis mind több ember számára teszik vonzóbbá a tömegközlekedési járművek igénybevételét a saját gépkocsi helyett. Ezt a tendenciát egyre több forgalomszabályozási intézkedés is erősíti, így pl. külön forgalmi sávok kijelölése az autóbuszok számára, valamint olyan területek kijelölése, amelyeket a személygépkocsik elől elzárnak, de amelyeken autóbuszok áthajthatnak.

Az autóbuzsközlekedés fejlődésével együtt nő a városi autóbuszok jelentősége a levegőszennyezés, közlekedési zaj és a szénhidrogén-fogyasztás szempontjából. Egyre növekszik tehát annak a jelentősége, hogy a városi autóbuszokat — vagy

azoknak legalább egy részét — valamilyen módon villamosítsuk. Ezt a törekvést alátámasztja továbbá az a körülmény, hogy az autóbuszok villamosítását a ma rendelkezésre álló műszaki lehetőségek figyelembevételével műszaki és gazdasági szempontból sokkal könnyebb megvalósítani, mint az igen nagy számú személygépkocsik villamosítását. Ennek oka az, hogy a városi autóbuszok nagy többsége szervezett nagyvállalatok kezelésében van, menetrendszerűen és kötött útvonalon közlekedik.

Különleges jelentősége van ennek a kérdésnek hazánkban azért, mert itt működik Európa egyik legnagyobb autóbuszgyára.

2. A villamos hajtású városi autóbuszok áttekintése

A 10-1. táblázatban összeállítottuk a különböző hajtású városi autóbuszok legfontosabb paramétereit. Vonatkoztatási alapként a táblázat első sorában feltüntettük a dízelautóbusz adatait. A táblázatban közölt típusok részben sorozatgyártású, tömegesen használt, részben kísérleti járművek, egyesek pedig egyelőre csak tervezetek. A táblázatban nem tüntettük fel az összes lehetséges, ill. különböző helyeken megépített vagy kipróbált változatokat, csupán azokat, amelyek mondanivalónkat a legjobban illusztrálják. A táblázat adataival kapcsolatban megjegyezzük, hogy a feltüntetett valamennyi villamos hajtású autóbusz elkészíthető gyakorlatilag azonos vontatómotorral és tirisztoros vezérléssel, a lényeges eltérés elsősorban az energiaellátás módjában van. A felsorolt járművekre a gyakorlatban ez természetesen nem áll fenn, hiszen azokat különböző cégek állították elő, mindegyik saját megoldásait alkalmazva.

A városi autóbusz villamosításának ma legkézenfekvőbb módja a felsővezetékes üzem, tehát a trolibusz. A trolibuszok használata a második világháborút követő időkben sok helyen visszaszorult, több nagyvárosban és országban meg is szűnt. Ez a belsőégésű motoros járművek rohamos műszaki fejlődésének és elterjedésének, és az olcsó olajnak a korszaka volt, amikor a környezetvédelem problémái még nem váltak tudatosná a közvéleményben. Az utóbbi években azonban ez az irányzat hátrévoztan megfordult és ma a trolibusz reneszánszáról beszélnek. Táblázatunkban a BKV—Ikarusz kooperációban készült legújabb hazai trolibusz adatait tüntettük fel, amely csupán a járművet tekintve korszerű megoldású, mert a jól bevált 200-as Ikarusz autóbusz típuscsalád két tagjának villamosításával készült. Villamos szempontból azonban korántsem ilyen rózsás a helyzet, mert a jármű hagyományos elektromechanikus-ellenállásos vezérlésű, és villamos berendezése egy régebbi szovjet trolibuszból való, ami azt jelenti, hogy motorteljesítménye a csuklós jármű követelményeit nem elégíti ki, menettulajdonságai a ma korszerűnek tekintett trolibuszokénál lényegesen gyengébbek. A járművek többsége csuklós.

A trolibusz sokat emlegetett hátrányos tulajdonsága a felsővezeték-től való függése. Vezetékszakadás, áramkimaradás, útvonal-módosítás, forgalmi torlódás vagy forgalomelterelés esetén üzeme megbénul. E hátrány kiküszöbölésére újabban mind gyakrabban önjáró trolibuszokat építenek. Az önjárás természetesen csak szükségüzem, a menettulajdonságok önjáráskor a normális üzemnél sokkal rosszabbak. Az önjárás kétféle megoldású lehet: benzin- vagy dízelmotorral hajtott generátor, vagy megfelelő nagyságú segédüzemi akkumulátor beépítése.

Az előbbi megoldással az önjárási hatótávolság csaknem tetszés szerinti nagyra választható, de a jármű önsúlya 6...700 kg-mal növekszik, a menets sebesség kicsi, az önjáráásra való áttérés viszonylag hosszú időt igényel, és a jármű szennyező kipufogógázokat termel. Éppen az utóbbi ok miatt ez a módszer a trolibuszgarázson

Villamos hajtású városi autóbuszok jellemzői

Jármű-kategória	Erőátvitel	Fő energiaforrás	Segédenergia	Összes gördülő tömeg, t		Gyártó (fejlesztő)	Motor teljesítmény, kW	Szállítható utasok száma	Megjegyzés
				súly	csukló				
Dízelbusz	mechanikus	dízelmotor	—	16	22,5	IKARUS	140	96 + 1 145 + 1	Európai átlag
Hibrid táplálású busz	egyená. motor c. á. szagató	akkumulátor	dízelmotor gázturbina	19	—	Mercedes (dízel)	90 (22 km/h)	kb. 100	Kísérleti példány
				18	—	Fiat (gázturbina)	200		Csak tervezet
Akkumulátoros busz	„	akkumulátor	—	23,3	—	MAN	115 (25 km/h)	kb. 100	20 db menetrendszerű forgalomban, kiterjesztést tervezik
Duóbusz	„	akkumulátor felsővezeték	—	18	—	Mercedes—Bosch—Varta	90 (22 km/h)	82 + 1	Kísérleti példány
				24	—	VKI (terv)	122 (21 km/h)	96 + 1	1980 végére terv
Önjáró troli benzinmotorral	„	felsővezeték	benzinmotor	18,1	26,5	Brown—Boveri	147 (26,7 km/h)	89 + 1 159 + 1	Gyártás kisebb sorozatokban
Önjáró troli akkumulátorral	„	felsővezeték	akkumulátor	?	?	Brown—Boveri	147 (26,7 km/h)	?	Gyártás kisebb sorozatokban
				16	23	VKI IKARUS	122 (21 km/h)	145 + 1	Fejlesztés alatt, sorozatgyártás-terv
Trolibusz	„	felsővezeték	—	16	22,5	BKV IKARUS	90 (20 km/h)	96 + 1 145 + 1	Ideiglenes megoldású
Lendítőkerekes troli-busz	„	felsővezeték	lendítőkerek	—	24	VKI (tervezet)	122 (21 km/h)	145 + 1	Menettulajdonosságok javítását célzó tervezet

belül nem használható, holott az önjárás révén egyébként a garázson belül a felsővezeték el lehetne hagyni. Ez utóbbi lehetőség költsége és balesetvédelem szempontjából is jelentős előny.

Az akkumulátoros önjárás — a mai nagy csúcsterhelésekre alkalmas nikkel-kadmium akkumulátorokkal — kisebb súlytöbbséggel megoldható, és a garázsban minden további nélkül alkalmazható, hatótávolsága azonban nagymértékben korlátozott (2...5 megállónyi távolság). Táblázatunkban a Brown—Boveri—Oerlikon két önjáró trolibuszváltozatának adatait adtuk meg.

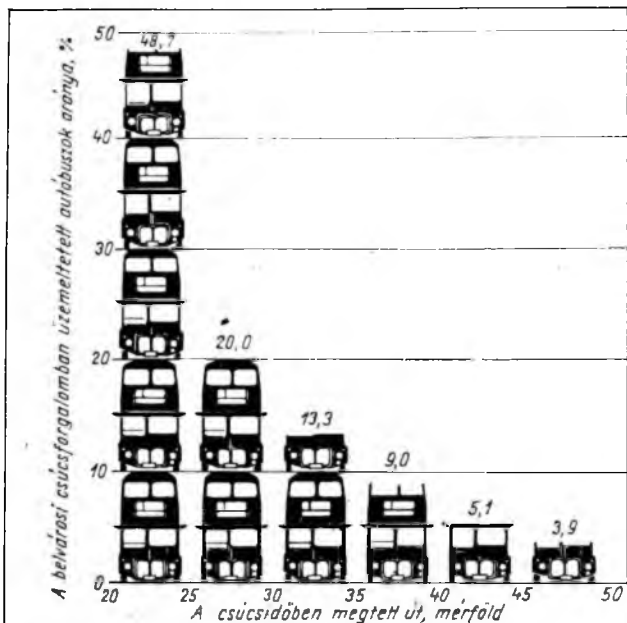
A munkavezeték kiépítése és karbantartása az önjáróképességtől függetlenül jelentős költséggel jár, ezért már hosszabb ideje keresik a városi autóbuszok villamosításának azt az útját, amikor felsővezetékre nincs szükség. Kézenfekvő, hogy ilyen megoldás az akkumulátoros autóbusz.

Az akkumulátoros autóbusz — mint minden akkumulátoros jármű — legnagyobb problémája maga az akkumulátor. Ma erre a célra gyakorlatilag csak az ólomakkumulátor alkalmas. Pusztán műszaki szempontból — energiasűrűség, élettartam, túlterhelhetőség — valamivel jobb az ólomakkumulátornál a nikkel—kadmium lúgos akkumulátor, de többszörös beszerzési ára miatt erre a célra gyakorlatilag nem alkalmazják. Az ólomakkumulátor energiasűrűsége a belsőégésű motoros járművek energiasűrűségénél durván két nagyságrenddel kisebb, tehát azonos hatótávolság eléréséhez mintegy 100-szoros tömegű energiatárolóra lenne szükség, mint az üzemanyagtartály és a benne tárolt gázolaj vagy benzin tömege. Ilyen nagy tömegű és egyúttal terjedelmes akkumulátort lehetetlen elhelyezni a járműben. További nehézséget okoz, hogy az akkumulátorok újratöltése hosszú időt vesz igénybe, és az akkumulátorok a villamos berendezés többi részéhez viszonyítva igen sok karbantartást igényelnek. Az újratöltési idő hosszúsága azért jelent súlyos problémát, mert a BKV adatai szerint a budapesti városi autóbuszok naponta átlagosan 250 km-t tesznek meg, és ez éles ellentétben van azzal, hogy a városi áruterítő, postai csomagkihordó stb. járművek napi átlagos menetteljesítménye az 50...60 km-t nem haladja meg.

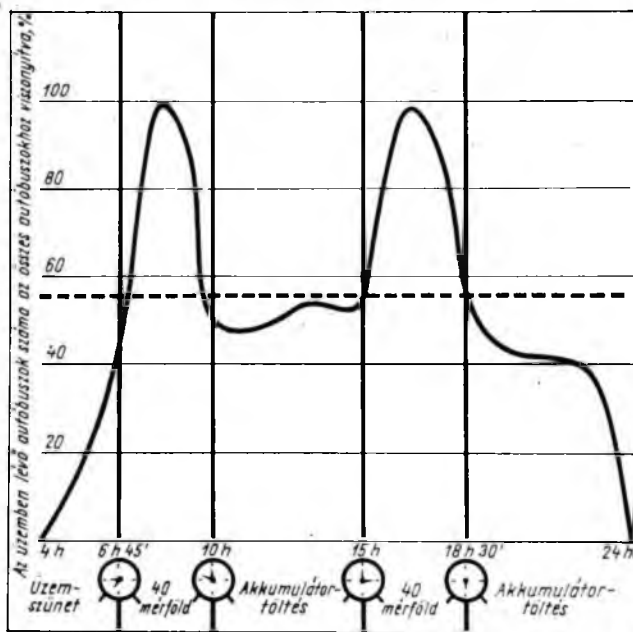
Mindenesetre az akkumulátoros városi autóbusz megvalósíthatóságának előfeltétele a ma rendelkezésre álló eszközök figyelembevételével az, hogy a jármű egy töltéssel megtehető úthosszát mintegy 40...60 km-re korlátozzák. Ezt figyelembe véve a következő lehetőségek adódnak:

1. Mintegy 40...60 km megtételére alkalmas nagyságú akkumulátor beépítése a járműbe, újratöltés a járműben. Ez az angol Silent Rider típusú autóbusz módszere. E módszerrel járó hátrányok: a jármű megnövekedett tömege és a hatóságilag korlátozott maximális gördülőtömeg (tengelynyomás) miatt csökkentett utaslétszám; a napi menetteljesítmény korlátozása a fenti 40...60 km-nek legfeljebb kétszeresére egyszeri éjszakai és egyszeri nappali (végállomási) töltéssel. Forgalmi szempontból az első hátrány az Angliában kialakult városi közlekedési viszonyok között nem túlzottan jelentős, az angol városi autóbuszokban ugyanis viszonylag sokkal több ülőhely van, mint az a kontinensen szokásos, és csak kis számú álló utas utazását engedik meg, ezért az autóbuszok utasterhelése azonos méretek esetében eleve kisebb. A második hátrányt úgy kívánják megoldani, hogy az alapforgalmat dízelautóbuszokkal bonyolítják le, az akkumulátoros autóbuszokat pedig csak a reggeli és délutáni csúcsidőben alkalmazzák kisegítésként, mint az a 10-1. ábrán látható, a két csúcsidőszak között és éjszaka pedig töltik az akkumulátorokat.

Az ábrából látható, hogy a városközponti útvonalakon közlekedő autóbuszok csaknem 50%-a 25 mérföldnél kevesebbet, további 40%-a pedig 40 mérföldnél kevesebbet tesz meg a csúcsidőszakban.



a)



b)

10-1. ábra. a) A városközpontban közlekedő autóbuszok által csúcsidőben megtett út; b) 40 mérföld hatótávolságú akkumulátoros autóbuszok alkalmazási lehetőségei

2. Ugyancsak mintegy 40..60 km megtételére alkalmas nagyságú akkumulátor beépítése a járműbe, a kimerült akkumulátorok cseréje. Ez a módszer a forgalom csaknem folyamatos fenntartását teszi lehetővé, de az akkumulátorok gyors, gépesített cseréjét szerkezeti korlátozások miatt igen nehéz megoldani (a padló alatt kevés a hely), ezért az akkumulátortelep csak több egységre bontva építhető be és külön-külön cserélendő, a szerkezeti magasság is kicsi. A gyors cserélhetőség a bonyolultabb szerkezet miatt többlet súlyt jelent. Az előbbi megoldás hátránya, a csökkentett utaslétszám még fokozottabban fennáll.



10-2. ábra. MAN utánfutós akkumulátoros városi autóbusz menetrendszerű forgalomban

3. A legelőnyösebbnek tűnő megoldás a MAN által választott egytengelyű utánfutóba beépített akkumulátor. A jármű a 10-2. ábrán, adatai a táblázatban láthatók. E megoldás előnyei: a jármű lényegében teljesen hagyományos, kivéve a dízelmotor és sebességváltó helyett beépített villamos vontatómotort és az elektronikus berendezést, amelyek azonban nem nehezebbek a dízelmotoros berendezésnél; az utaslétszám ugyanaz, mint a normál szülő városi autóbuszé: az akkumulátor az utánfutón jól elhelyezhető és gépesítve könnyen cserélhető (különböző okok miatt nem az utánfutót cserélik, hanem komplett egységként a kb. 6,1 t tömegű akkumulátort 5 percnél rövidebb idő alatt). A megoldás hátránya a jármű teljes hosszának és tömegének megnövekedése. Mindenesetre ez az a villamos hajtású városi autóbustípus — a trolibuszoktól eltekintve —, amely a legnagyobb darabszámban és a leghosszabb idő óta van normális menetrendszerű forgalomban. Az NSZK két városában összesen három autóbuszvonalon 20 db ilyen autóbusz látja el a menetrendszerű forgalmat, a folyamatos üzemidő már jóval túl van az egy éven. Megjegyzendő, hogy még ez is kísérleti üzemnek van minősítve.

A tiszta akkumulátoros üzem nehézségeit több helyen különböző hibrid megoldásokkal próbálják csökkenteni. A 10-1. táblázatban hibrid táplálású busz címen kétféle hőerőgép—akkumulátoros hibridet tüntettünk fel, ezek közül az első a Mer-

cedes—Benz dízelgenerátoros hibrid autóbusza. A járművet az jellemzi, hogy tiszta akkumulátoros táplálással is üzemképes és így megy át a legsűrűbben beépített városi belterületeken, majd a kevésbé sűrű forgalmú elővárosi területen a dízelgenerátor pótolja az akkumulátor töltését és fedezi ezen felül a jármű átlagos energiafogyasztását. A dízelmotor — amikor üzemben van — állandó fordulatszámmal és terheléssel üzemel, ezáltal levegőszennyezés és zaj szempontjából a legkedvezőbb munkapont állítható be, és a dízelmotor típusjelzője kisebb, mint a hagyományos dízelautóbuszé. Az utasszám az eredeti dízelbuszéval megegyezik, ezt azonban azzal érik el, hogy az autóbusz maximális gördülőtömegét külön hatósági engedéllyel 16 t-ról 19 t-ra növelték.

A másik hibrid jármű a Fiat gázturbina—akkumulátoros hibridje, amely azonban tudomásunk szerint soha nem készült el, csupán terv maradt. Itt a többlet tömeg problémáját harmadik tengely beépítésével vélik megoldani. A gázturbina üzemeltetését úgy kívánják megoldani, hogy amint az akkumulátor töltöttségi állapota egy előre megadott szint alá csökken, a gázturbina automatikusan indul és az optimális üzemi pontban, tehát állandó fordulatszámmal és terheléssel jár mindaddig, amíg az akkumulátort kellően fel nem töltötte, akkor ismét megáll. A gázturbina üzeme tehát nem függ attól, hogy a jármű belterületen vagy külvárosban halad-e. Így ez a jármű nem tekinthető kifejezetten városi villamos hajtású autóbusznak. Ez inkább egy olyan kísérlet, amelynek célja, hogy a gázturbinát, amelynek fajlagos fogyasztása köztudottan rendkívüli mértékben függ a terheléstől, mégis viszonylag gazdaságosan alkalmazni tudja közúti jármű hajtására.

Egy további hibrid táplálású autóbusz a duóbusz, amelyet ugyancsak a Mercedes—Benz mutatott be. A dízelgenerátor helyett trolibusz áramszedőket és olyan tirisztoros töltőt építettek be, amely az akkumulátort a trolibusz munkavezetékekéről tölti. A jármű tiszta akkumulátoros üzemben mintegy 25 km-t tud megtenni, és energiamérlege olyan, hogy egész napos folyamatos üzemre képes, ha időről időre visszatér a trolibuszvezetékhez és üzemidejének mintegy felében trolibuszként működik. Többlet tömeg szempontjából a duóbusz kb. egyenértékű a dízel-akkumulátoros hibrid autóbuszsal, de semmiféle kipufogógázt nem termel és csendes. Megjegyzendő, hogy ilyen járművek üzemeltetését több helyen, többféle szempontból is mérlegelik. Az egyik szempont: trolibuszvonalakhoz csatlakozó olyan ritka forgalmú szárnyvonalak üzemeltetése, ahol a munkavezeték kiépítése nem gazdaságos. A másik: a városközpontot elővárosokkal összekötő trolibuszvonalak, ahol a történelmi városmagon keresztül a munkavezeték kiépítése nehézségekbe ütközik, továbbá ahol a vezetékes trolibuszüzem a vezetékek által okozott nagyobb költések miatt könnyen okoz forgalmi torlódásokat.

3. Hazai fejlesztés

A VKI 1971-ben kezdte el a villamos hajtású városi autóbuszok kifejlesztésére irányuló munkát. Akkor még az volt az itthoni közhangulat és a BKV álláspontja is, hogy a trolibuszközlekedés nem gazdaságos, hosszabb távon a budapesti trolibuszközlekedés teljes felszámolása volt a kitűzött cél. Így trolibuszfejlesztésre természetesen gondolni sem lehetett. A különböző elvi lehetőségek közül a dízelgenerátor-akkumulátoros hibrid táplálású autóbusz kifejlesztése mellett döntöttünk és a munkát számos vállalattal és intézménnyel együttműködve kezdtük meg (Ikarus, BKV, Autóipari Kutató Intézet, GVM, EVIG, VOLÁN stb.). A hibrid táplálású autóbusz kialakításához az Ikarus IK 260 típusú, városi, szóló dízelautóbuszát vettük alapul.

A dízelmotor céljára — megfelelő hazai motor hiányában — az angliai Ford egyik motortípusát választottuk ki.

1975 végére két hibrid táplálású autóbusz készült el, amelyek egymástól a vontatómotor és az azt tápláló áramirányító felépítésében különböztek. Az egyik jármű vontatómotorja főáramkörű egyenáramú motor tirisztoros egyenáramú szaggatón keresztül táplálva, a másiké rövidrezárt forgórészű kétpólusú aszinkron motor, amelynek táplálása impulzusszélesség-modulációs tirisztoros váltóirányító. Ez utóbbi motort az EVIG külön erre a célra fejlesztette ki, és ez az eddigi legnagyobb teljesítményű váltóirányítós aszinkron motoros hajtás, amely Magyarországon készült (kb. 90 kW-os).

Az első ötéves időszak eredményei mind pozitív, mind negatív tanulsággal bőven szolgáltak. Pozitív eredménynek tekintendő, hogy tudunk villamos hajtású városi autóbuszt készíteni, továbbá, hogy tudunk aszinkron motoros vontatást is készíteni. Ez utóbbi eredmény más irányú — nem autóbuszokra vonatkozó — további kutatási és fejlesztési munkánk igen fontos kiindulópontja.

A negatív tapasztalatok közül a legfontosabb az, hogy igazán jó eredményeket ezen a területen a járműipar aktív és teljes részvétele és támogatása nélkül elérni nem lehet. A nem kielégítő támogatás okozta a legsúlyosabb gondokat az egész ötéves időszakban.

További érdekes és inkább negatív tapasztalat, hogy a dízelmotor csak akkor nem zajos, ha azt különleges szakértelemmel és gonddal zajszigetelten építik be a járműbe. Ugyancsak a hiányos járműipari támogatás miatt ez nekünk nem sikerült. Ugyanakkor az is világossá vált, hogy egy ilyen járműben a hangszigetelt motor-beépítés fontosabb, mint egy normál dízelmotoros autóbuszban, hiszen itt a dízelmotor állandóan — a megállóokban is — nagy fordulatszámmal és terheléssel forog, a normál buszokban ezzel szemben csak viszonylag ritkán és rövid ideig van nagy fordulatszám és nagy terhelés.

Végül megállapítottuk, hogy a dízel—akkumulátoros hibrid táplálású autóbusz szerkezetileg rendkívül zsúfolt, ezért kezelhetősége rossz, szénhidrogénektől való függése a többszörös energiaátalakítás miatti rossz hatásfok következtében nem kisebb, mint a dízelautóbuszé, és végülis levegőszennyezés szempontjából legfeljebb kis mértékű előnyt jelent.

1976-ban indítottuk újabb ötéves fejlesztési programunkat, amely a megváltozott feltételek és az előző program tapasztalatai alapján lényegesen eltér a korábbitól. A megváltozott feltételek között első helyen kell említeni, hogy újból felülvizsgálták a trolibuszközlekedés kérdését és megállapították, hogy a trolibusz gazdaságos; egyúttal jelentős programot indítottak el a budapesti trolibuszhálózat bővítésére. Az is bebizonyosodott, hogy az Ikarusznak érdeke fűződik ahhoz, hogy gyártmány-választékát trolibuszszal bővítse.

Az előző időszak tapasztalatait, az iparban felmerült igényeket, a villamos hajtású közúti járművek fejlesztésére és alkalmazására irányuló világtendenciákat és az elektrokémiai áramforrások külföldi és hazai fejlesztését figyelembe véve az 1976-ban kezdődött új ötéves időszakra kutatási—fejlesztési programunkban három fő célkitűzést állítottunk be.

1. Az Ikarusszal együttműködve ki kell fejleszteni egy korszerű, csuklós, tirisztoros, a jelenlegieknél egy lépcsőfokkal alacsonyabb padlószintű trolibuszt.

2. Ki kell fejleszteni olyan duóbuszt, amelynek akkumulátora egytengelyű utánfutóba van beépítve.

3. Meg kell kísérlni új hűtési rendszerű, a jelenleg szokásos trolibuszmotoroknál lényegesen kisebb súlyú és méretű trolibuszvontató motor kifejlesztését.

Az első célkitűzés indokoltsága külön igazolást nem kíván. Inkább a részletekről kell beszélnünk. Az alacsony padlósíntet az indokolja, hogy a tapasztalatok szerint a megállóban a tartózkodás fel-, ill. leszálló utasonként és lépcsőfokonként 1 s időt igényel. Ha példaképpen 10 fel-, ill. leszállóval számolunk egy megállóban és a jelenlegi három helyett két lépcsőfokkal, az a megállóban tartózkodás időtartamát 10 másodperccel rövidíti meg. Ez a módszer igen hatásos olyan szempontból, hogy a jármű csúcsebbségének és gyorsulásának, tehát motorteljesítményének és energiafogyasztásának növelése nélkül jelentősen növeli a tömegközlekedés átlagos utazási sebességét.

A tirisztoros egyenáramú szaggató külső gerjesztésű egyenáramú vontatómotorral kedvező fajlagos energiafogyasztást, az elektromechanikai kapcsolókészülékek számának minimumra csökkentése révén kevés karbantartási igényt, a kombinált visszatápláló és ellenállásfékezés miatt további, a forgalmi igényektől függő energiamegtakarítást és a fék elhasználódásának csökkenését eredményezi. Meg kell jegyezni, hogy a közlekedési vállalatok egyik legnagyobb problémája a járművek üzemeltetése során a karbantartás, amire mind nehezebb elegendő szakembert biztosítani.

A tirisztoros szaggató kapcsolási frekvenciájának viszonylag nagy értékre 800 Hz-re választásával jelentősen csökkenthető a motor armatúrakörébe épített simító-fojtótekercs induktivitása. Ez és az elektromechanikus kapcsolókészülékek számának csökkentése, továbbá egyéb lehetőségek minél teljesebb kihasználása a villamos berendezés teljes tömegének és helyszükségletének számottevő csökkenését eredményezi.

A trolibusz akkumulátoros önjárással lesz ellátva, amely 3-4 megállótávolságnak megfelelő üzemet tesz lehetővé normális utasterheléssel. A karbantartási igények további csökkentését kívánjuk elérni azzal, hogy a segédüzemi akkumulátorok a munkavezetékéről történő töltését forgógép helyett tirisztoros töltővel oldjuk meg, segédüzemi célokra pedig — szervokormány- olajszivattyú, kompresszor — váltóirányítón át táplált aszinkron motort alkalmazunk.

Mint már említettük, a 10-1. táblázatban felsorolt különböző villamos autóbuszok hajtása lényegében azonos elemekből építhető föl, az eltérés döntően az energiaellátásban van. A duóbusz villamos hajtása a csuklós trolibuszéval gyakorlatilag azonos lesz, a vontatómotort tápláló egyenáramú szaggatót azonban nem közvetlenül a főlővezetékéről, hanem a jármű akkumulátoráról fogjuk táplálni. Az akkumulátor töltését külön, kisebb teljesítményű egyenáramú szaggatóval oldjuk meg. A kisebb teljesítményt az teszi lehetővé, hogy ezen a szaggatón nem kell átvinni az igen nagy gyorsítóáramokat, és további egyszerűsítést tesz lehetővé, hogy ennek a szaggatónak nem kell energiavisszatáplálásra alkalmasnak lennie; az energiavisszatápláló fékezés energiáját az akkumulátor veszi föl.

Ezt a megoldást a következő megfontolások alapján választottuk. A VKI a KGM támogatásával tovább akar lépni a villamos hajtású városi autóbuszok fejlesztésében annak érdekében, hogy minél előbb létrehozzuk a főlővezetékétől független, tisztán villamos autóbust. Ennek a MAN által választott útja sok előnye mellett azzal a hátránnyal jár, hogy a folyamatos üzem biztosításához igen költséges akkumulátortöltő és -cserélő állomást kell létrehozni, hiszen az autóbusz átlagosan napi 250 km meneteljesítményéhez ólomakkumulátor alkalmazása esetén kb. napi ötszöri akkumulátorcserére van szükség járművenként. Duóbusz alkalmazása esetén az akkumulátor cseréjére csak karbantartási okokból, tehát lényegesen ritkábban van szükség, ezért az akkumulátorcserélő berendezés sokkal olcsóbb és egyszerűbb

lehet. Ugyanez vonatkozik az akkumulátortöltő állomásra, ahol nem kell egyidejűleg több telepet tölteni, töltésre csak időszakosan, formálási jelleggel van szükség.

A duóbusznak a Mercedes—Benz által megalkotott formája egyéb okok miatt nem célszerű számunkra. A hazai közlekedésrendészeti hatóságoktól semmiképpen nem lehetne engedélyt kapni olyan kéttengelyű jármű üzemeltetésére, amelynek tömege teljes terhelés esetén 18...19 t. A 16 t határ betartása a szállítható utasok számát 30...40 fővel csökkentené, egy ilyen autóbusz pedig a hazai városi közlekedés viszonyai között eleve súlyos hátrányban lenne a dízelautóbuszokkal szemben. További hátrány, hogy az autóbuszba beépített akkumulátorok speciális padlózás-konstrukciót igényelnének, és alacsonyabb padló szóba sem jöhetne.

Az utánfutón elhelyezett akkumulátorral működő duóbusz egy szóló dízelbuszszal azonos számú utast szállíthat és maga a busz alacsony padlójú lehet és nem kíván különleges konstrukciót. A teljes jármű hossza természetesen nagyobb a szóló autóbuszénál, de nem éri el a csuklósét. Tömege kb. megegyezik a csuklós autóbusz tömegével, de a csuklós trolibuszhoz kialakított hajtás ehhez a tömeghez megfelelő.

Ezt a járművet kísérleti járműnek szánjuk. Ebből a szempontból az ilyen elrendezésű duóbusz igen nagy előnye, hogy az utánfutóra bármikor bármilyen új elektrokémiai áramforrás felszerelhető, amelynek tömege és méretei bizonyos értékeket nem lépnek túl. Az utánfutós duóbusz tehát rendkívül rugalmas és olcsó lehetőséget kínál akár hazai, akár külföldi új áramforrásoknak autóbuszüzemben való kipróbálására anélkül, hogy mindig új járműkonstrukciókra lenne szükség.

A villamos hajtású járművek lényeges problémája a vontatómotor tömege és mérete; az előbbi a hasznos terhelés, az utóbbi a beépítés helyszükséglete miatt igen fontos. A GVM-mel történt megállapodás alapján fölvtettük programunkba egy olyan egyenáramú vontatómotor kifejlesztését, amely a hagyományos motor-konstrukciókhoz képest lényegesen kisebb tömegű és átmérőjű. A motor számítása és szerkesztése a GVM-ben történt, a gyakorlati megvalósításhoz szükséges technológiai, főleg szigetelési és gyártástechnológiai problémák megoldása, a kísérleti gyártás felszerszámozása és a gyakorlati megvalósítás a VKI-ben folyamatban van. A gyakorlati kivitelhez az EVIG-től is jelentős segítséget kaptunk.

Az új motorkonstrukció lényege az, hogy a motornak teljesen zárt hűtőrendszere van, a hűtőközeg 8...10 kp/cm² nyomású levegő. Ezt a hűtési rendszert lehetővé teszi, hogy a járműveken általában, autóbuszokon mindig van sűrített levegő a légfék és esetenként egyéb berendezések működtetésére. A sűrítettlevegős, zárt hűtőrendszer előnyei: a túlnyomásos hűtőkör teljesen zárt lévén a motor a vontatási üzemben egyébként sok gondot okozó szennyezések (víz, hó, por) behatolása ellen védett; a felületi hőátadási tényező kb. a nyomás 0,6...0,7-ik hatványával arányos, ez különösen a kommutátor és kefék hűtését nagyon megkönnyíti; a hűtőközeg sűrűsége a nyomással arányosan megnő, ezért kis keresztmetszetű hűtőcsatornákon is hatásos mennyiségű hűtőközeget lehet a veszteségforrások közvetlen közelébe vezetni, így hatékony hűtőcsatornákat lehet kialakítani a tekerecsfejekben és közvetlenül a tekerccselést tartalmazó forgórészhornyok alatt; a nyomással nő a levegő villamos szilárdsága, ami javítja a kommutációt.

4. Összefoglalás

Az elmondottakkal megindokoltuk a VKI által villamos hajtású városi autóbuszok fejlesztésére az 1976...80-as tervidőszakra kitézőt fejlesztési feladatokat, és ismer tettük a konkrét célkitűzéseket. Törekedtünk a minél gyorsabb és hatékonyabb ipari hasznosításra és egyúttal a hosszabb távú fejlesztés perspektíváinak figyelembevételére. Az első szempont érvényesül a korszerű, csuklós, alacsony padlójú, tirisztoros trolibusz fejlesztésben, a második a duóbusz fejlesztésben és a könnyű vontatómotor fejlesztésében.

Az 1976—80-as tervidőszakban a villamos hajtású városi autóbuszok fejlesztésének programja nem fejeződik be; még a trolibuszfejlesztést is folytatni kell számos, itt nem érintett további részfeladat és a gyártás megkezdése során biztosan fölmerülő, de előre pontosan nem látható gyakorlati probléma megoldására. A jelenlegi program további feladatai pedig eleve távlati feladatok.

Irodalom

- [1] *Kaller, R.; Vollenwyder, K.; Manzoni, S.*: Einheitstrolleybusse mit elektronischem Gleichstromsteller. Brown Boveri Mitt. 61/1974/1. p: 531...539.
- [2] *Dietrich, E. és társai*: Der DUO-Bus — ein evolutionärer Beitrag für ein umweltfreundliches Nahrverkehrssystem. — Verkehr und Technik, Sonderheft Omnibus, 1975. szeptember, p. 20...26.
- [3] *Müller, H. G.*: Ein Jahr Modellversuch Elektrobus in Nordrhein — Westfalen. — ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 78/1976/5. p. 203...207.
- [4] *Brusaglino, F.—Bertoldi, F.*: Outline Project of a Hybrid Bus. Proceedings of the 3. Electric Vehicle Symposium (Washington D. C. 1974).
- [5] *Müller-Berner, A. H.—Striffler, P.*: Elektrobus mit Hybridantrieb für den Stadtverkehr. ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 72/1970/3. p. 78...84.

11.

Önálló energiaforrással rendelkező kis- és középjeljesítményű villamos közúti járművek

PÁLFY MIKLÓS—KERÉNYI ISTVÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk az akkumulátoros villamos járművek történeti fejlődésének ismertetésén túl a korszerű villamos járművek kialakításának és további fejlődésének aktuális kérdéseit veti fel. Kitér a villamos járművek főbb szerkezeti egységeire (energiaforrás, szabályozó, hajtómotor stb.) és ezek különböző megoldásaira mind az árutérítő gépkocsi, mind a villamos kerékpár vonatkozásában. A cikk részletesen ismerteti a hazai kutatások eredményeként létrejött típusokat (Elektro Barkas—VKI, Pannonia Electric E 50) és vázol néhány érdekes külföldi megoldást. Taglalja azokat az elképzeléseket, amelyek a járművek továbbfejlesztése és perspektív elterjedése vonatkozásában (infrastruktúra) figyelemre méltók.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ С САМОСТОЯТЕЛЬНЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ

М. Палфи — И. Керени

Резюме

Наряду с изложением исторического развития электрических транспортных средств статья задаёт актуальные вопросы образования и дальнейшего развития современных электрических транспортных средств. Излагает важнейшие структурные части электрических транспортных средств (источник энергии, регулятор, тяговый мотор, и т. д.), их различные решения для товародоставочного автомобиля и для электромопеда. Статья детально излагает типы, разработанные в результате отечественного исследования (Электро-Баркас ВКИ, Паннония Электрик Е50) и занимается с некоторыми интересными зарубежными решениями. Излагает замыслы, облегчающие дальнейшее развитие и перспективное распространение транспортных средств (инфраструктура).

ELEKTRISCHE STRASSENFAHRZEUGE VON KLEIN- UND MITTELLEISTUNG MIT EIGENER ENERGIEQUELLE

М. Пálfy—I. Kerényi

Zusammenfassung

Der Artikel behandelt ausser der historischen Entwicklung der Akkumulatoren-Elektrofahrzeuge die aktuellen Fragen der Entwicklung und des Fortschrittes bei den zeitgemässen Elektrofahrzeugen. Die Verfasser gehen auf die dichtigsten Bauteile der Elektrofahrzeuge (Stromquelle, Regler, Antriebsmotor usw.) und auf ihre

verschiedenen Ausführungen ein, sowohl für Lieferwagen als auch für elektrische Fahrräder. Es werden die als Ergebnis der ungarischen Forschungen entstandenen Typen (Elektro-Barkas-VKI, Pannonia Electric E 50) ausführlich geschildert und einige interessante ausländische Ausführungen kurz besprochen. Schliesslich werden diejenigen Perspektiven besprochen, die bei der Weiterentwicklung und Infrastruktur der Fahrzeuge beachtenswert sind.

LOW AND MEDIUM POWER ELECTRIC ROAD VEHICLES

By M. Pálfy—I. Kerényi

Summary

The paper deals with the historical back ground of electric vehicles, and mentions typical questions connected with the design and continued development of up-to-date electrical vehicles. Mention is made of the main structural components of electrical vehicles (power source, regulating device, driving motor etc.) and of different solutions applied both in respect of commercial vans and electrical bicycles. Types resulting from research at home (Elektro-Barkas-VKI, Pannonia Electric E 50) are described in detail, and some interesting foreign designs are outlined. Concepts are listed, which seems to be worth mentioning in respect of improving such vehicles and bringing them into wider use.

1. Villamos közúti járművek főbb szerkezeti egységei

Az önálló energiaforrással rendelkező villamos járművek fő részei, a legfontosabb önálló egységek a következők:

- Villamos energiatároló,
- Hajtómotor,
- Szabályozórendszer.

Ezenkívül természetesen fontos és szükséges rész a robbanómotoros járművek-nél is megtalálható futómű, karosszéria, valamint segédberendezések, amelyről épp a hasonlóság miatt nem kívánunk részletezést adni.

1.1 Villamos energiatárolók

A villamos járműnek még ma is talán a legkritikusabb problémája az energiatároló. A villamos jármű több mint 90 éves fejlődése során robbanásszerű fejlődés ezen a területen nem következett be. A Párizsban 1881 áprilisában Plante akkor már 20 éve felfedezett celláival hajtott háromkerekű jármű megszületése óta, Thomas Alva Edison 9 éves munkája és több mint 50 ezer kísérlete alapján 1911-ben elkészült vas—nikkel akkumulátor, bár mérőföldköveket jelentenek az energiatárolás kutatásában, de ma is a villamos járművek 90%-a a több mint 100 éves ólomakkumulátorral van ellátva. Érdekességképpen azonban megemlítjük, hogy az ólomakkumulátor nagy karrierjét éppen a robbanómotoros járműveknek köszönheti, indítóakkumulátorként történő felhasználása folytán. Az ólomakkumulátorok fajlagos energiatároló képessége a századforduló körüli 5 Wh/kg körüli értékről 25...50 Wh/kg értékre növekedett napjainkban. A jármű energiaellátása szempontjából összehasonlítva ezt az értéket a benzin majdnem 12 000 Wh/kg-os értékével — ha még a robbanómotoros jármű optimális esetben kb. 25%-os hatásfokával számolunk is —

durván százszoros súlyt kell a villamos járműnek magával vinni azonos távolság lefutására.

Napjainkban széles körű kutatások indultak, hogy a savas ólomakkumulátor helyett egy ennél lényegesen jobb fajlagos mutatójú villamos energiatárolót fejlesszenek ki elsősorban villamos jármű céljára. Ezzel kapcsolatos hazai kutatási eredményekkel részletesen foglalkozik a „12. Nem kötőtpályás villamos közúti járművek áramforrásai” című cikk.

1.2 Hajtómotorok

Ha a tárolt villamos energia egyenfeszültségű tápforrásként áll rendelkezésre, kézenfekvő a megoldás erőforrásként egyenáramú motort használni. Az egyenáramú motorok járműhajtás szempontjából egyébként is nagyon kedvezők, mert különböző mezőgerjesztések mellett tetszőleges, optimális hajtási jelleggörbék beállítására adnak lehetőséget.

A legelterjedtebb a soros egyenáramú motor alkalmazása (Dornier Delta, Tiny 70, Barkas B 1000 stb), amely induláskor igen nagy nyomatékot, azaz kedvező kezdeti gyorsítást tud biztosítani. A visszatápláló fékezés szempontjából kedvezőbb külső gerjesztésű és kedvező indítási nyomatékú, ugyanakkor a soros motorokhoz képest fordulatszámartóbb compound motorok is elterjedten kerülnek alkalmazásra (VW Transporter, Rován stb.).

Ami az egyenáramú motorok konstrukcióját illeti, ezeket általában nagy fordulatszámra tervezik, ami kisebb súllyal és beépítési térfogattal jár. További súlycsökkenés érhető el úgy, hogy a vaspajzsok helyett könnyűfém házat alkalmaznak. Ez esetben a mágneses fluxust az alumínium házon belül elhelyezett, speciálisan kialakított, lemezelt pólusösszekötők vezetik. A motorok fajtáját tekintve a nagyobb megbízhatóság, a kisebb súly a váltakozóáramú motorok mellett szól, azonban a szabályozórendszerek még nagyobb bonyolultsága és ára ezek alkalmazását késlelteti. Itt kell megjegyezni, hogy a váltakozóáramú motorok alkalmazása szintén csak a félvezető szabályozórendszerek megjelenésével vált lehetővé. Ilyen járművek pl. a GM Electrovair I. és II., a Toyota stb.

A hajtómotorokat tekintve több kisebb motort is alkalmazhatnak a járművekben (leginkább kettőt), amellyel lehetővé válik a mechanikus differenciálmű elkerülése, elterjedten használják azonban az egyetlen központi motoros megoldást is.

A jövő a közvetlen kerékagyhajtású motorok elterjedését ígéri, mégpedig várhatóan az elektronikus szabályozórendszerek relatív árcsökkenése esetén váltakozóáramú rövidrezárt forgórészű aszinkron motorok alkalmazásával.

1.3 Szabályozórendszerek

A legnagyobb fejlődés talán ezen a területen következett be, a villamos járművek rövid 90 éves fejlődése alatt. Amíg a félvezető rendszerek nem léteztek, addig két alapvető megoldást alkalmaztak. Az elsőnél az akkumulátortelemek megfelelő (soros, párhuzamos) kapcsolásával lehetett a járművek sebességét szabályozni. A második megoldás szerint indítóellenállások közbeiktatásával történt a szabályozás, vagy esetleg a kettő kombinációjával. Meg kell jegyezni, hogy bár ezek a megoldások általában viszonylag nagy energiaveszteségűek, az akkumulátort nem kímélő és általában robusztus megoldásúak, mégis egyszerűségük folytán még ma is alkalmazzák elsősorban targoncák, és kis teljesítményű hajtások szabályozására. A Renault Dauphine, az R. 10, a BMC, a Scamp és az 1967. végén bemutatott Rowan, valamint

a Pannonia Electric E 50 villamos hajtású kismotorkerékpár is ilyen megoldást használ.

A korszerű megoldást feltétlenül a kisveszteségű, adott esetben a fékezési energia visszatáplálását is lehetővé tevő félvezetőeszközök alkalmazásával felépített áramkörök jelentik, azonban gazdasági megfontolások az előzőekben ismertetett szabályozásokat nem zárják ki. A korszerű egyenáramú szabályozók az áram bekapcsolása és kikapcsolása közötti időarány változtatásával szabályozzák a motorra jutó feszültséget és ezzel a fordulatszámot is, a váltakozóáramú rendszerek kombinált frekvenciafeszültség-szabályozók. A korszerű szilárdtest-áramkörök, az elemintegráció bizonyára a közeljövőben lehetővé teszi kompakt váltakozóáramú szabályozóblokkok alkalmazását, és mint már jeleztük, kis- és közepes teljesítményű járművekben is a váltakozóáramú hajtás elterjedését. Mindezek ellenére Angliában, a villamos járművek őshazájában a kontaktoros szabályozórendszerek újra előtérbe kerültek és azt mondhatjuk, hogy reneszánszukat élik, természetesen továbbfejlesztett változatban. Az egyik ilyen igen szellemesen megoldott hajtásszabályozás a következő felépítésű.

A villamos motor hidraulikus nyomatékvaltón keresztül hajtja a kerekeket. A motorra jutó kapocsfeszültséget kontaktoros rendszer állítja be öt lépcsőben a gyorsítópedál állásának megfelelően. Az egyes feszültségugrásokból eredő mechanikus rángatást a hidraulikus nyomatékátalakító veszi magára, és így igen sima, egyenletes szabályozás érhető el. A rendszer hatásfoka igen jó, ugyanakkor olcsó is. Egyetlen nagyobb hátránya az, hogy villamos fékezésre nem használható, mivel a hidraulikus nyomatékvaltó ellenkező irányú nyomatékot nem képes átvinni, de még így is komoly konkurrensé lehet a félvezető egyenáramú szaggató hajtásoknak.

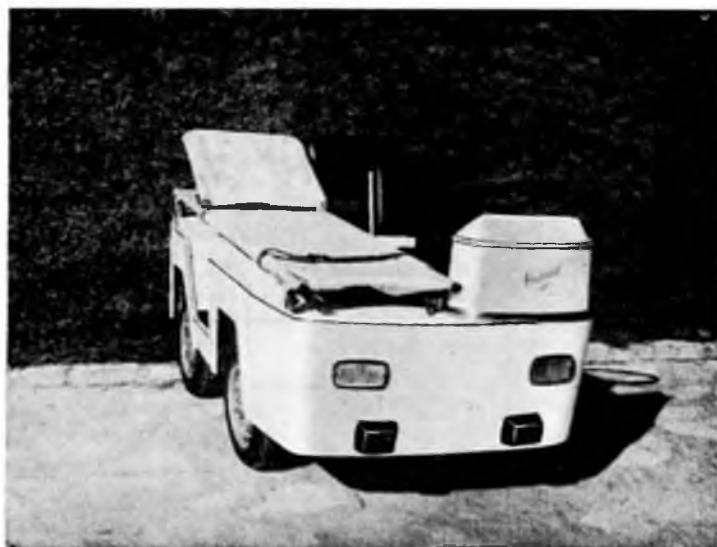
2. A VKI-ben kifejlesztett villamos járművek

A 11-1. ábrán látható az első hazai fejlesztésű kis villamos jármű, a *Tiny*, amelynek átalakításával született meg a 11-2. ábrán látható kórházi célra alkalmas járműtípus, a *Hospedit*. Kórházi igényként a finom fordulatszám-szabályozás és jó manőverező készség jelentkezett, amely definiált szűk helyre, pl. liftbe a jármű zökkenésmentes beállítását tette szükségessé. A jármű energiatárolója 30 db 86 Ah-ás KY típusú targonca-akkumulátor. Hajtómotorja 2 db külső gerjesztésű 1,2 kW-os egyenáramú motor, hajtásszabályozása tirisztoros szaggató áramkör. A jármű 8 órás üzemben egyszeri feltöltéssel tud üzemelni, max. 8 km/h sebességgel, amely sebesség az igényeknek megfelelően kb. az 1/3-a az első *Tiny* járműnek. Lemez karosszériájú, hegesztett alvázszerkezetű kivitelben készült. (Érdekességgéppen megjegyezzük, hogy a jármű kerekei a Tünde robogó kerekei, és Trabant kormánymű került felhasználásra.) A hátsó kerekeket két motorlánc, illetőleg ékszíjhajtás hajtotta meg. A jármű folyamatosan üzemelt az Országos Fürdőügyi Igazgatóságnál.

A következő lépés a *Tiny 70* típusú városi jármű fejlesztése volt, amely a 11-3. ábrán látható. A jármű energiatárolója szintén hagyományos KY típusú 135 Ah-s targoncaakkumulátor, amelyből 40 db-ot építettünk a járműbe. Hajtómotorja két, 4 kW-os soros egyenáramú bolgár targoncamotor, amelyek a két hátsó kereket láncal hajtják. A szabályozórendszer három tirisztoros időarány-szabályozó. A hajtás egyik érdekessége, hogy a motorok induláskor sorba vannak kapcsolva, míg a 65 km/h végsebesség eléréséhez a motorokat egy kapcsolóval párhuzamosan lehet kapcsolni. A hegesztett alvázkerethez Fiat 500 típusú gépkocsi futóműve kapcsolódik. A kocsit egy feltöltéssel 60...80 km távolságot tudott sík úton lefutni. Ez a típus az



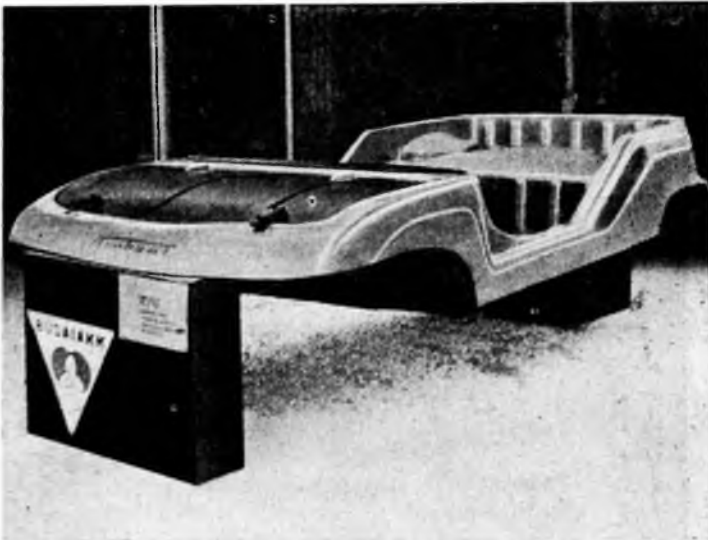
11-1. ábra. Tiny villamos jármű



11-2. ábra. Hospedit kórházi villamos jármű



11-3. ábra. Tiny 70 villamos jármű



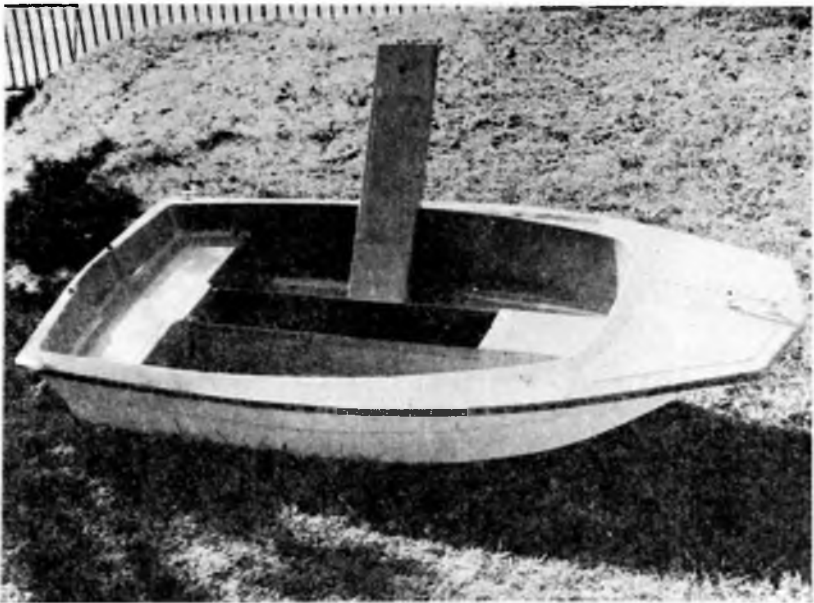
11-4. ábra. Tiny 70 önhordó műanyag karosszériája

eddigyi tapasztalatok alapján korszerű, üvegszállal erősített műanyag karosszériával készült, amely a 11-4. ábrán önállóan látható. A jármű egyébként az 1970-es BNV-n került kiállításra.

Járműfejlesztési munkánkkal kapcsolatosan foglalkoztunk *villamos motorcsónak* szabályozórendszerének fejlesztésével is, a 11-5. ábrán látható csónak tranzisztoros szabályozó rendszerrel lett ellátva és a 12 V-os 102 Ah-s akkumulátorról 5 h-n ke-



11-5. ábra. Tranzisztoros szabályozós villamos motorcsónak



11-6. ábra. Hazai fejlesztésű villamos motorcsónak teste

resztül max. 5 km/h sebességgel tudott a jármű közlekedni. Érdekességgéppen megjegyezzük, hogy létrehoztunk a Sirály KTSZ-szel kooperálva egy olyan telephelyezésű csónakkonstrukciót, amely igen kedvező súlyelosztást biztosít. A komplett motorcsónakfejlesztési munkák jelen pillanatban megfelelő finanszírozás hiányában szünetelnek. A csónaktest egyébként a 11-6. ábrán látható.

E járműfejlesztési tapasztalatok bázisán vállalkoztunk egy már iparilag is jelentős program megvalósítására, nevezetesen belvárosi áruszállításban hasznosítható, kis villamos áruterítő jármű kifejlesztésére, amelynek típusjele: *Elektro-Barkas-VKI*.

Választásunk hosszas megfontolás után esett a Barkas B 1000-es Kastenwagen villamosítására, figyelembe véve az egyszerű felépítést, a rakodóter kedvező kialakítását és azt a tényt, hogy a jármű szocialista relációból beszerezhető. Az előzetes tervezési megfontolásokat a VKI 5. Közleményben munkatársaink ismertették. A tervezési célkitűzések alapján a jármű a következő jellemzőkkel rendelkezik:

Hasznos terhelés:	500 kg
Végsebesség:	55 km/h
Hatótávolság:	50...80 km
Motorteljesítmény:	17/40 kW
Akkumulátorfeszültség:	192 V
Tárolt energia:	23 kWh (5 h-s kisütésre vonatkoztatva)

Az adatokból látható, hogy egy kedvező rakodóterű 55 km/h-s végsebességű és 500 kg hasznos terhelésű jármű kialakítása alkalmassá teszi a Barkas B 1000-t villamos kivitelben is a belvárosi áruszállításra. Itt kívánjuk megjegyezni, hogy az Egyesült Államokban készült felmérések szerint, a nagy városokban közlekedő járművek 95%-a naponta 80 km-nél kevesebbet fut, hazai felmérések szerint a belvárosi postai járművek napi átlagos futása 30 km körül van.

Az utóbbi indokolta egyébként korábban is, hogy a Posta a villamos járműveket előszeretettel alkalmazta. Az 50...80 km-es hatótávolság városi közlekedésben messzeemenően kielégíti az igényeket. Ebből adódott a tárolandó energiaszükséglet, amely



11-7. ábra. Villamos Barkas töltés közben

a 2,7 t-s jármű esetén 23 kWh (5 h-s kisítésre vonatkozólag). Ezt az energiát hagyományos ólomakkumulátorral csak igen kedvezőtlen súlyviszonyok mellett lehet tárolni, ami a 2,7 t maximális terhelhetőségű járműnél azt jelenti, hogy az 500 kg hasznos terhelés nem biztosítható. Ezt figyelembe véve döntöttünk úgy, hogy speciális, könnyített házas akkumulátoredényeket alkalmazunk.

Ily módon a telepbe 96 db 120 Ah-s cella 12 db gerendába foglalva került beépítésre, amelyek két biztosítóval érintésvédelmi szempontból három azonos feszültségű egységre csoportosíthatók. Az akkumulátorgerendák a kettős szigetelés biztosítása érdekében szigetelőgörgőkkel ellátott kocsira vannak szerelve, amely a csereállványra könnyen kihúzható, mint az a 11-7. ábrán látható. Az ábrán látható egyébként az akkumulátor elhelyezése, a súlypont így kedvező magasságba tartható, ugyanakkor az elhelyezés biztosítja, hogy a tengelyeken a megengedett értéket a terhelés ne lépje túl.

A járművek használata során szükségessé vált az ólomakkumulátorok továbbfejlesztése. A 11-8. ábrán bemutatjuk a PKJ által készített, legújabb, polipropilén házas, könnyített ólomakkumulátort.

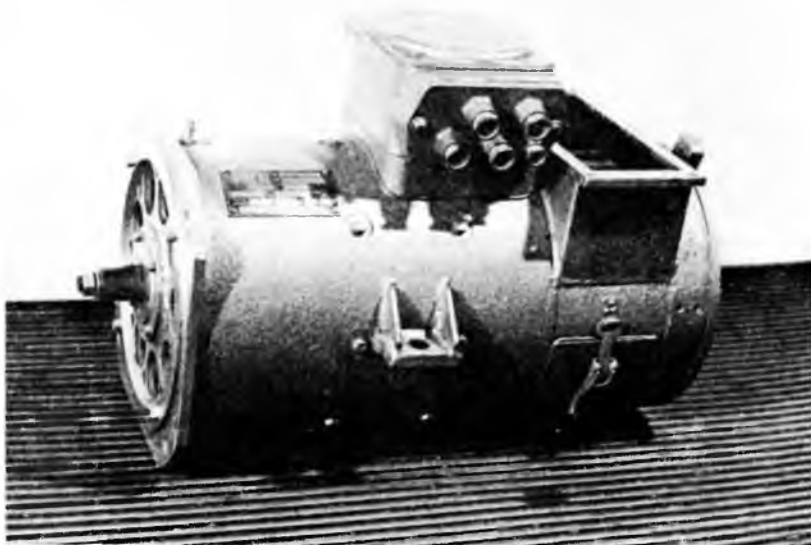
11-8. ábra. Polipropilén házas akkumulátorcella



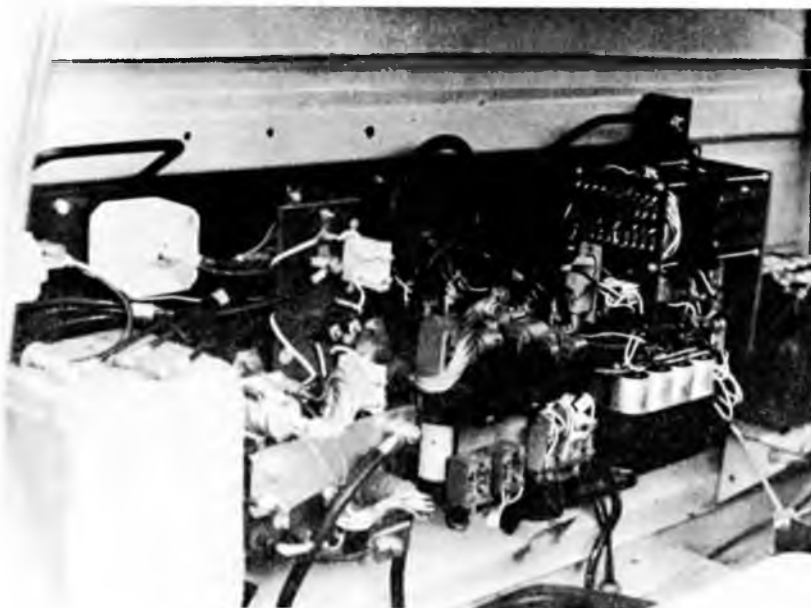
A jármű fontos fő egysége a hajtómotor, amelyet a 11-9. ábra mutat. A járművet egy központi motor hajtja, amely közvetlen tengelykapcsolatban van a Barkas eredeti sebességváltójának nyeles tengelyével. Ez a megoldás tűnik a legpraktikusabbnak, ugyanis bármilyen más hajtási elrendezés jelentős járműgépészeti átalakítást igényelt volna. A sebességváltó második fokozatban van fixen kapcsolva és természetesen a hajtott kerekek — a robbanómotoros hajtáshoz hasonlóan — az elsők. A motor speciális, részben lemezelt állórészű, soros motor, amelynek névleges fordulatszáma 5000/min, 17 kW teljesítményű, 170 V névleges feszültségű, súlya 104 kg.

A szabályozó elektronika a következő fontos egység, amelyet összeépítve a 11-10. ábrán láthatunk. A sebesség az egyenáramú szaggatós típusú szabályozó segítségével változtatható. A szabályozó vezérlése fix frekvenciájú, csak az impulzusszélesség változtatható. Ez azt jelenti, hogy a telepfeszültséget a főtiriszor segítségével periodikusan, a fix frekvencia ütemének megfelelően kapcsoljuk rá a motorra. A motorra jutó feszültség középértéke a főtiriszor be- és kikapcsolási időarányának változtatásával szabályozható, kb. 8 és 92% között. A főtiriszor kikapcsolásával a motoráram nem szakad meg, a motor és a soros simító fojtótekercs induktivitásában tárolt energia a szabadonfutó diódán keresztül a következő bekapcsolásig a motoráramot fenn tartja, így az folyamatos. A soros simító-fojtó a motoráram hullámosságát csökkenti.

A vezérlésben elektronikus áramkorlátozó is van, amelynek feladata meggátolni, hogy a motoráram egy, a motor típusára jellemző, maximális érték fölé növeked-



11-9. ábra. Villamos Barkas hajtómotorja



11-10. ábra. Villamos Barkas hajtásszabályozása

hessen. Ezzel egyúttal a motor nyomatékát is korlátozza (270 A, 120 Nm), mind az akkumulátort, mind a hajtóművet óvja a káros túlterhelések ellen, és sima egyenletes gyorsítást biztosít a jármű számára az indulási szakaszokban.

A motor forgásirányát, azaz az előre-hátramenetet mechanikus irányváltó kapcsolóval kapcsoljuk, amely a motor gerjesztőkörében van elhelyezve. A jármű mechanikus, ill. hidraulikus fékrendszere mellett a fékpedál lenyomásával a hajtómotort ellenállásos féküzembe kapcsoljuk át. A fékellenállást a motor szellőzőkörében a kiömlőnyíláshoz helyeztük el, így az általa termelt hőmennyiség a vezetőfülkébe terelhető, amellyel az ablakok páramentesítése, és a vezetőfülke fűtése biztosítható.

Önálló egység a segédüzemi inverter, amely a nagy akkumulátortepről biztosítja egyrészt az eredeti 12 V-os jármű villamossági berendezések energiaellátó akkumulátorának állandóan feltöltött állapotát, másrészt a vezérlő elektronika részére különböző tápfeszültségeket szolgáltat. Önálló egység a vezérlőkártya, amely a nagyáramú, tirisztoros áramkörök vezérlésére szolgál.

Ugyancsak önálló szerkezet a gyorsításra szolgáló pedálmű, amely robosztus kivitelű kommutátoros potenciométer. A pedállal ez bowdenhuzallal van összekapcsolva.

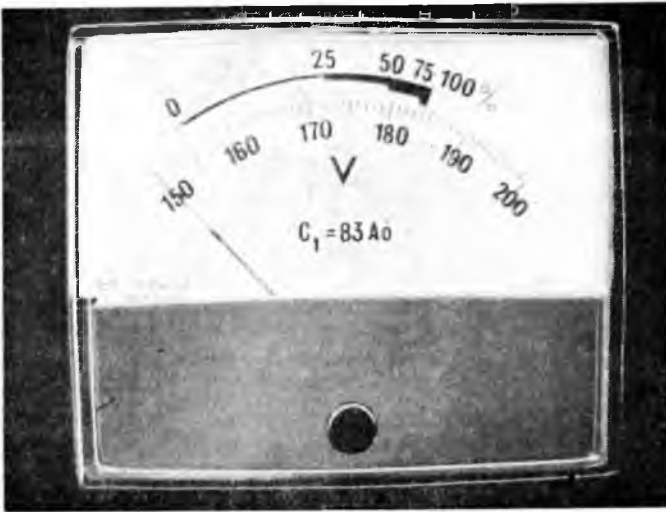
Az elektronikus berendezést a vezetőfülkében az ülések mögött helyeztük el. Jól láthatók a tirisztorok, az oltókapacitátorok és az önálló inverteráramkör. Az elektronikus egység hűtésére a természetes szellőzés (konvekció) elegendő.



11-11. ábra. Villamos Barkas műszerfala

A jármű műszerfala a 11-11. ábrán látható. A tankjelző műszer az akkumulátor feszültségét méri a töltött állapotnak megfelelő és kisütött állapotnak megfelelő tartományban. Ez jó becslést ad az akkumulátorokban tárolt energiára. A töltöttségjelző továbbfejlesztett változatát a 11-12. ábrán láthatjuk.

A jármű üzemkész állapotát piros színű lámpa jelzi. A műszerfalon elhelyeztünk még egy vészkapcsolót is, amely a főáramköri mágneskapcsolót szakítja meg vészhelyzet esetén. A 11-13. ábrán az elkészült jármű menetkész állapotban látható.



11-12. ábra. Villamos Barkas töltöttségi állapotát jelző műszer



11-13. ábra. Villamos Barkas menetekész állapotban

Végül egy összehasonlító táblázatot mutatunk be, amelyben az Elektro-Barkas-VKI típusú 1/2 t raksúlyú áruterítő jármű és néhány nyugateurópai gyár hasonló nagyságú kísérleti járművének adatai szerepelnek.

Az itt bemutatásra került Elektro-Barkas-VKI típusú kocsikon a KÖTUKI, MEEI vizsgálatokat lefolytattuk és a KPM Autófelügyelet engedélyt adott a kocsik

vizsgáztatására, amelynek során azok végleges forgalmi rendszámot kaptak és így kerültek a Belkereskedelmi Szállítási Vállalatnak, ill. a Posta Központi Járműtelepnek átadásra.

Végül meg kell jegyezni, hogy a Barkas fejlesztési munkálatok igen széles kooperációban folytak, hogy csak a legfontosabbakat említsük, a járműgépészeti átalakításban a Mezőgépj, a motorok fejlesztésében az EVIG, az akkumulátorok területén pedig a Posta Központi Járműtelep szakemberei nyújtottak értékes segítséget.

A 2,7 t-s Elektro-Barkas-VKI típusú áruterítő jármű továbbfejlesztése a KGM 6. sz. célprogram keretében, nemzetközi kooperációban történik. A továbbfejlesztés célja a felhasználók igényeihez jobban alkalmazkodó, sorozatgyártásra érett típus létrehozása.

11-1. táblázat

Néhány ismertebb villamos közúti járműtípus főbb műszaki jellemzői

Jellemzők	E Barkas	Harbilt HSV	LUCAS 250 JU	E—VW transp.	Merc. Benz. LE 306
Össztömeg, kg	2700	2100	2540	2600	3985
Hasznos tömeg, kg	500	400	580	500	1000
Ólomakkumulátor feszültsége, V	192	72	265	150	150
tömege, kg	720	—	590	860	860
kapacitása, Ah	120	280	95	144	144
Motor kapcsolása	soros	soros	soros	külső gerjesztés	külső gerjesztés
teljesítménye, kW	17/40			16/32	27/55
Max. sebesség, km/h	55	48		75	
Hatótávolság, km	50...70	65...80	55...80	60...100	40...80

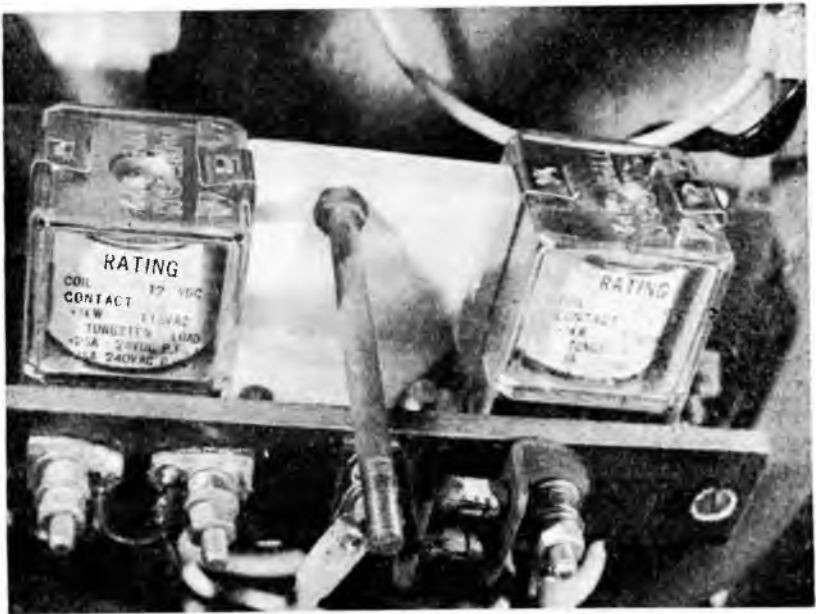
Az új típus növelt hasznos terhelhetőségű, 3 t összsúlyú jármű lesz, amelynek járműgépészeti tervezését és átalakítását a Barkas Művek végzi. A villamos részek továbbfejlesztése a VKI-ban történik, amelynek során az eredeti háromtirisztoros, együtemű, egyenáramú szaggató hajtásszabályozás visszatápláló fékezéssel, csúszó-frekvenciás vezérléssel és háromfázisú váltakozóáramú generátoros fedélzeti áramellátó rendszerrel lesz ellátva.

A Csepeli Motorkerékpárgyár részére, melynek jogutódja a Jármű és Konfekcióipari Gépgyár, 1975-ben villamos hajtású kismotorkerékpárhoz elektromechanikus, kontaktoros kétfokozatú hajtásszabályozást, 1976-ban elektronikus, folyamatos fokozatnélküli hajtásszabályozást terveztünk és készítettünk el. Ezek felhasználásával két járműtípust fejlesztettünk ki, melyekből 3—3 db készült el. Az elektromechanikus szabályozással rendelkező járművekkel 1976-ban sikerrel elvégeztük a futópróbákat, az elektronikus hajtásszabályozásúak futópróbaíra 1977-ben került sor. Az elektromechanikus szabályozóval rendelkező *Pannonia Electric E 50* a 11-14. ábrán látható, műszaki leírása röviden a következő:

A jármű energiaforrása 2 db 12 V-os 55 Ah kapacitású akkumulátor (Zsiguli gépkocsi indítóakkumulátora). Erőforrása soros gerjesztésű, 24 V-os, 550 W névleges teljesítményű, egyenáramú motor. Az elektromechanikus hajtásszabályozás, amely az akkumulátorokat induláskor párhuzamosan, később a teljes menetsebesség elérése után sorba kapcsolja, kezdetben 2 db egyérintkezős mágneskapcsolóból és 2 db diódából állt. A későbbiekben megfelelő, többérintkezős mágneskapcsoló



11-14. ábra. Pannonia Electric E 50 villamos kismotorkerékpár



11-15. ábra. Villamos kismotorkerékpár elektromechanikus hajtásszabályozóval

alkalmazásával a szabályozást egyszerűsíteni lehetett. A 11-15. ábrán az elektromechanikus szabályozó végleges kivitelű formája látható a járműbe építve.

A Pannonia Electric E 50 műszaki adatai:

Max. sebesség sík úton, km/h	32
Egy feltöltéssel megtehető út, km	25...30
Emelkedőképesség 15 km/h sebességgel	12,5%
Terhelhetőképesség	1 személy + 5 kg csomag
Rugózás elől	teleszkóp
hátul	lengővilla + rugós tag
Kerékméret	3" × 10"
Fékek elől-hátul	dobfék
működtetés	kormányról fékkarokkal
Világítás elől	12 V, 15 W
Világítás hátul	12 V, 3W
Az akkumulátor egyszeri feltöltésének költsége háztartási tarifával számolva	60 fillér

A járműveket a futópróbák során igen változatos körülmények között próbáltuk ki, mint pl.: hegyvidéki terep, sík országút, városi forgalom stb. és mindenütt sikeresen vizsgáztak.



11-16. ábra. Pannonia Electric E 50 villamos kismotorkerékpár

1976. év folyamán kifejlesztettünk egy elektronikus folyamatos hajtásszabályozást is a villamos hajtású kismotorkerékpárok számára. Ezek a szabályozók elkészültek és év végén újabb három járműbe beépítésre kerültek. Az új *Pannonia Electronic E 50* típusú járművek futópróbáira 1977-ben került sor, a jármű a 11-16. ábrán látható.

Az elektronikus folyamatos hajtásszabályozásnak több előnye is van az elektromechanikus szabályozóval szemben, ezek a következők:

- Nem lép fel hirtelen gyorsítás (rángatás) mégis kellő gyorsítások érhetőek el, amelyeknek mértékét a vezető szabályozni tudja.
- Az utazási sebesség folyamatosan szabályozható.
- Kíméli a motort és az erőátviteli szerkezeteket, de legfőképpen óvja az akkumulátort a túlzott áramterhelésektől.
- A hajtásszabályozáson fellépő villamos veszteségi teljesítmény kicsi, tehát a motor jó hatásfokú, így különösen a városi forgalomban (intenzív start-stop üzem) jelentkező hatótávolságsökkenés kisebb.

Az elektronikus hajtásszabályozó tirisztoros egyenáramú szaggató. Ebben a teljesítménytartományban (kb. 1 kW) célszerűbb volna ugyan tranzisztorok használata, de a hazai piacon megfelelő típus nem szerezhető be.

Az elektronikus hajtásszabályozóval ellátott járművek, mint látjuk többféle előnyt, utazási komfortot nyújtanak, ami természetesen több pénzbe kerül. A gyártás bevezetése szempontjából ez a típus, véleményünk szerint, csak a lényegesen igényesebb piac kialakulása esetén kerülhet sorra. Jelenleg, miután e kis villamos járműveket meg kell kedveltetni a vásárlóközönséggel, az elektromechanikus, tehát olcsó szabályozójú jármű kooperációs, kis sorozatú gyártását tervezzük, amellyel kapcsolatban tárgyalásokat folytatunk a Csepeli JKG-val.

A leírtakat összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a legcélszerűbb felhasználási területeken bizonyos villamos járműtípusok hazánkban is — a nagyobb nyugati cégek hasonló termékeinek megjelenésével közel azonos időben — rendelkezésre állnak. Elterjesztésükhöz azonban széles körű társadalmi összefogás szükséges, mind gyártás, infrastruktúra-kialakítás, üzemeltetés, mind megfelelő hatósági közlekedés-szervezési szempontból.

Irodalom

- [1] *Balogh István—Benedek Miklós—Pataki Eörs: Kis- és középteljesítményű villamos járművek fejlesztési kérdései. VKI Közl. 5. 1974.*
- [2] *Elektrische angetriebene Kraftfahrzeuge. GES kiadvány. Düsseldorf, 1973.*
- [3] *Griffith, J. T.: Electric Vehicles and Battery Developments in the United Kingdom. ECRC kiadvány. Chester, 1974.*
- [4] *Sodium—Sulphur Batteries for Electric Vehicles. ECRC kiadvány. Chester, 1974.*

Nem kötöttpályás villamos közúti járművek áramforrásai

HORVÁTH PÁL

ÖSSZEFOGLALÁS

A nem kötöttpályás villamos közúti járművek elterjedésének egyik legfőbb akadálya, hogy a fedélzeti villamos energia termelésére kizárólagosan alkalmazható kémiai áramforrásoknak a belsőégésű motorokkal összevetve ma még nincsenek meg a ki-elégítő műszaki paramétereik, vagy üzemük nem gazdaságos.

A szerző a rendelkezésre álló ipari típusok ismertetése és járműhajtási szempontból történő elemzése alapján azokat a lehetséges felhasználási területeket vizsgálja, ahol elsősorban társadalmi szempontokat (környezetvédelem) figyelembe véve már ma is szükséges a villamos járművek alkalmazása. Rámutat azokra a fejlesztési lehetőségekre, amelyek még tovább javíthatják a klasszikus kémiai áramforrások alkalmazási perspektíváit.

Rövid áttekintést ad azokról a laboratóriumi fejlesztési területekről, amelyek során járműhajtásra — a belsőégésű motoros járművek menettulajdonságait közelítendő — alkalmas kémiai áramforrások kifejlesztését tervezik.

ИСТОЧНИКИ ТОКА ШОССЕЙНЫХ СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

П. Хорват

Резюме

Одному из важнейших затруднений распространения шоссе́йных свободных электрических транспортных средств является то, что химические источники тока — единственно применимы для образования бортовой электрической энергии, пока ещё не обладают удовлетворительным техническим данным по сравнению двигателей внутреннего сгорания, или их эксплуатация неэкономна.

Исходя из изложения располагаемых промышленных типов источников и их анализа с точки зрения привода транспортным средством, автор рассматривает различные области применения, где уже требуется применение электрических транспортных средств, так как требуется учитывать общественные правила (профилактика среды). Излагаются возможности развития, которые могут в дальнейшем улучшить перспективы применения классических химических источников тока.

Кратко обобщаются области лабораторного развития, в результате которых считают разработать химические источники тока, придающие свойствам движения приближение к свойствам средств транспорта с моторами внутреннего сгорания, то есть которые станут применимыми для привода транспортным средствам.

STROMQUELLEN OBERLEISTUNGSFREIER ELEKTRISCHER STADTFAHRZEUGE

P. Horváth

Zusammenfassung

Der Verbreitung der nichtschienengebundenen elektrischen Strassenfahrzeuge steht vornehmlich im Wege, dass die zur Erzeugung der elektrischen Energie an Bord ausschliesslich verwendbaren chemischen Stromquellen noch nicht die befriedigenden technischen Parameter besitzen, wie die Verbrennungsmotoren, oder weil ihr Betrieb unwirtschaftlich ist.

Anhand der Erläuterung der verfügbaren Industrietypen und der Fahrzeugsantriebs-Analyse untersucht der Verfasser die möglichen Anwendungsgebiete, auf denen in erster Linie unter Beachtung der sozialen Gesichtspunkte (Umweltschutz) der Einsatz der elektrischen Fahrzeuge heute bereits notwendig ist. Er weist auf die Entwicklungsmöglichkeiten hin, die die Anwendungsperspektiven der klassischen chemischen Stromquellen weiter verbessern können.

Zum Abschluss folgt ein Abriss über die Laboratoriums-Entwicklungsgebiete, auf denen die Entwicklung der zum Fahrzeugantrieb geeigneten chemischen Stromquellentypen geplant ist, und die Fahreigenschaften der Verbrennungsmotorfahrzeuge annähern.

POWER SOURCES FOR ELECTRICAL CITY VEHICLES

By P. Horváth

Summary

One of the main reasons why trackless electrified public vehicles are prevented from coming into wide use is the fact that chemical power sources, which are the only ones that can be applied for generating deck electricity, have parameters that are not as satisfactory, and their operation is not as economical as those of internal combustion engines.

Following the analysis of available industrial types in respect of vehicle drive as such the author discusses those fields where primary social criteria (environmental protection) urge the use of electrical vehicles at the earliest date. He mentions those development possibilities by which practical potentials of chemical power sources can be improved.

He surveys in brief those development areas in laboratories where suitable types of chemical power sources are envisaged for driving vehicles with travelling properties of those with internal combustion engines.

1. Bevezetés

A nem kötőtpályás villamos közúti járművek hajtására szükséges villamos energiát valamely egyéb energia formájában a jármű „fedélzetén” a felhasználás időpontjáig tárolni kell. Ismeretes, hogy a villamos energia a jelenlegi műszaki-tudományos ismereteink szerint gyakorlati szempontból számottevő energiasűrűséggel (pl. kondenzátor, stb.) nem tárolható. A hajtásienergia-szükséglet fedezésére fordítandó energiának különböző lehetséges tárolási módjai közül (pl. a komprimált gáz; az irányított mozgás: célszerűen forgó tömegek, pörgettyűk; kémiai tárolás, majd elégetés levegővel; elektrokémiai tárolás stb.) jelen közleményünkben kizárólag az ún. elektrokémiai áramforrásokkal foglalkozunk.

Az elektrokémiai tárolók relatíve kedvező fajlagos mutatókkal rendelkeznek a többi lehetséges energiátárolási módhoz viszonyítva és igen nagy előnyük, hogy jól szabályozható módon — közvetlenül villamos energiát szolgáltatnak. A hőenergia, mint közbelső lépcső kiiktatása lehetővé teszi, hogy az energiaátalakítási folyamat hatásfokát ne maximálja a Carnot-körfolyamat hatásfoka.

A kémiai áramforrások fejlesztésének egyik legfőbb törekvése — a megbízhatóságon túlmenően — a minél nagyobb fajlagos energia- és teljesítménysűrűség elérése. Ezeket elsősorban a felhasznált aktív anyagok anyagi minősége, az ionvezető elektrolit, a szerkezet (az aktív anyag struktúrája és elrendezése) és a választott működési mód határozza meg. E célokat elérendő a már régóta használatos aktív anyagok mellé (pl. ólom, ólom-dioxid, nikkell-oxidok, cink, vas, kadmium stb.) újabbak kerülnek. Az új aktív anyagok felhasználása során két lehetőség kiaknázásán dolgoznak.

Az egyik út az egyre aktívabb reakciópartnerek alkalmazása. A felhasznált aktív anyagok reakciókészségét a standard elektródpotenciál-értékükkel jellemezhetjük. Az elektrokémiai áramforrások szempontjából felhasználható elemek, anyagok közül néhány fontosabb elektrokémiai átalakulásra a jellemző értékeket a 12-1. táblázatban adjuk meg [1], [2]. Bármely anyagpárosítással készített elem elméleti üresjá-

12-1. táblázat

Elemek, ill. anyagok elektrokémiai átalakulásának jellemző adatai

Az elektród (reakció)	Elméleti	
	standardpotenciál, V	anyagigény, g/Ah
$2 F^- F_2$	+2,87	0,708
$SO_4^{2-}, Pb SO_4 PbO_2$	+1,682	6,33
$2 Cl^- Cl_2$	+1,359	1,32
$H^+, H_2O O_2$	+1,229	0,33
$Mn_2O_3 MnO_2$	+0,588	1,93
$OH^-, Ag_2O Ag$	+0,345	4,65
$OH^-, Ag_2O_3 Ag$	+0,564	1,97
$OH^-, Ni(OH)_2 NiO_2$	+0,490	2,36
$Hg HgO$	-0,097	4,04
$Pb PbSO_4, SO_4^{2-}$	-0,3588	5,69
$S^2 S$	-0,447	0,608
$Zn Zn^{+2}$	-0,7628	1,219
$Zn Zn(OH)_2, OH^-$	-1,245	2,11
$Cd Cd(OH)_2$	-0,809	2,09
$Fe FeO$	-0,874	1,04
$Al Al(OH)_3, OH^-$	-2,30	1,228
$Fe Fe(OH)_2, OH^-$	-0,877	1,935
$Na Na^+$	-2,714	0,857
$Li Li^+$	-3,045	0,258

rási feszültségét a két standard elektródpotenciál-érték különbsége adja. A táblázat szerint a hagyományos anyagoknak a jelzett célkitűzések szempontjából nem éppen a legjobb mutatójuk van, vagy túl drágák (pl. az ezüst). A kedvezőbbnek bizonyuló anyagok többségének felhasználhatósága bonyolult technológiai megoldásokat követel meg.

A másik út az olcsó és nagyiparilag gyártott anyagok, ill. energiahordozók (szénhidrogének és ezek származékai, ammónia, hidrogén, alumínium, cink, vas, magnézium stb.) felhasználása villamos energia termelésére tüzelőanyag-elemekben, ill. féltüzelőanyag-elemekben.

Az elektrokémiai áramforrásokban az energiatermelő reakciót létrehozó partnerek közti ionos (másodrendű vezetővel létrehozott) kapcsolat létesítése az elem üzemképesége szempontjából elengedhetetlen. Ezt az elektrolit biztosítja, amely ugyanakkor több elemtípusban maga is részt vesz az elektrokémiai folyamatban, így pl. a savas ólomakkumulátorban a kénsav is. Más elektrokémiai rendszerek esetében ez nem áll fenn, azaz az elektrolit csak az iontranszportot biztosítja, így az elembe építendő elektrolitmennyiség minimális lehet (pl. hidrogén—nikkel-oxid akkumulátor esetében; nátrium—kén elemben stb.), vagy az elektrolit mennyiségével a reakcióút és az elem működése befolyásolható (pl. ezüst—cink akkumulátor).

A 12-2. táblázatban néhány kivitelezett elemtípust mutatunk be a reakciópartnerek, reakciótermékek és az elektrolit megjelölésével. A 12-1. táblázatban szerepeltetett és kedvezőbb fajlagos mutatójú rendelkező reakciópartnerek vizes elektrolittal megvalósítható energiatermelő reakcióját különösen magas elektrokémiai aktivitása korlátozza. (A vízbontás elméleti 1,23 V-os feszültségénél nagyobb feszültségű elemek készítését a hidrogén és az oxigén leválásának egyes anyagokon mutatkozó gátolt volta teszi csak lehetővé; így pl. az ólomakkumulátor, a cinkelektrodú elemek esetén stb.)

A nem vizes elektrolitok alkalmazása viszont szobahőmérséklethez közeli hőmérsékleteken a ma e célra használható anyagok kis vezetőképessége, valamint a keletkező reakciótermékek tulajdonságai miatt nagy teljesítménysűrűségű elemek

12-2. táblázat

Néhány telep standard feszültsége és maximális energiasűrűsége

Reakció	E°, V (25 °C)	E°, V (100 °C)	Tömeg/töltés, g/Ah	Energiasűrűség, kWh/kg
(-) Pb PbSO ₄ , H ₂ SO ₄ + víz, PbSO ₄ PbO ₂ (+)	2,0408	2,1528	18,67	0,1702
(-) Zn ZnSO ₄ , víz; CuSO ₄ , víz Cu(+)	1,100	1,094	4,179	0,2651
(-) Zn Zn(OH) ₂ , KOH + víz, Ag ₂ O Ag(+)	1,590	1,563	5,85	0,2704
(-) Cd Cd(OH) ₂ , KOH, Ni(OH) ₂ NiO ₂ (+)	1,129	1,28	4,44	0,291
(-) H ₂ H ⁺ , H ₂ O O ₂ (-)	1,229	1,167	0,336	3,656

építését nem teszi lehetővé [3], [4]. Ilyen okok miatt kényszerülnek nagy üzemi hőmérsékleten lefolytatott elektrokémiai folyamatok választására.

Az elméleti fajlagos értékeket gyakorlatban elérni nem lehet. Az eddigi elemkonstrukciók az elméleti energiasűrűségnek csak töredékét teljesítik. A sok ok közül a következőkben néhány, (általában el nem kerülhető) fontosabb okot idézünk:

- az elektrokémiai reakciót biztosító aktív anyagot jól vezető elektródvázra kell felhordani;
- az elembe épített (vagy bevezetett) aktív anyag az elektród geometriai kialakítása és strukturális felépítése miatt (l. a 14. cikket) teljes mértékben nem alakulhat át;

- az elektródfolyamat teljes lefolyása során szükséges ionkapcsolat fenntartása érdekében a többlet elektrolit iránti igény;
- az áramforrás konstrukciós részei (elemház, diafragma, szeparátor, kivezetők, hűtő-, fűtőberendezések, szigetelőelemek, különböző szabályozó- és ellenőrzőelemek) jelentős tömeget képviselnek;
- az áramforrás működése során az ohmos és polarizációs (fiktív belső ellenállás) veszteségek az átalakuló kémiai energia egy részét hővé alakítják.

Mindezek miatt a legjobbnak számító elemkonstrukciók összömege is mintegy 3...8-szorosa az energiatermelő folyamatban ténylegesen részt vevő anyagokénak.

A hagyományosnak számító rendszerek jelenlegi kereskedelmi típusai az igénybevételtől függően az elméleti érték 1/3...1/6-át teljesítik. Bizonyos javításra még van lehetőség, de valószínűtlen, — ahogyan egy konkrét példán látni fogjuk — hogy 1/3...1/2-nél kedvezőbb hányadot el lehessen érni.

2. A savas ólomakkumulátor alkalmazásának korlátai

A 9-10. ábrán bemutatott trend alapján az elkövetkező években egyértelműen a savas ólomakkumulátor felhasználásával számolhatunk a nem kötőtpályás közúti járművek áramforrásaként.

Az előzőkben felsorolt gyakorlati korlátozó tényezők szempontjából nem érdektelen sorra venni azt, hogy a savas ólomakkumulátor esetében ezek egyenként milyen hányadban játszanak szerepet. Ez különösen érdekes, ha meggondoljuk, hogy belsőégésű Otto-motorokkal hajtott járművek energiátárolója, a benzin kereken 100-szorosan könnyebb, a kb. 20% hatásfokot is figyelembe véve, mint az ólomakkumulátor.

Az 1970-es évek elejéig a savas ólomakkumulátorokkal a járműhajtási üzem szempontjából jellemző 5 h kisütési tartományban elért fajlagos energiasűrűség a legjobb trakciós (vontatási) telemek esetében a 26...29 Wh/kg értéktartomány. Napjainkig [5], [6] az elemek szerkezeti felépítésében és elektrokémiai szempontok figyelembevételével végzett fejlesztési munkák eredményeként a konstrukcióban hagyományos, ún. páncéllemezes (szövetétkába csomagolt aktív massa) pozitív lemezekkel és kent lemezes negatív lemezekkel épített, korszerű műanyagházas elemek fajlagos energiasűrűsége 5 h kisütés mellett 32...40 Wh/kg.

Elsőnek áttekintjük az iparban ma használatos technológiai módszerek bázisán [6] az ólomakkumulátor alkalmazásában a gyakorlatban érvényesülő korlátozó tényezőket.

A savas ólomakkumulátor energiatermelő reakcióegyenlete:



Az (1) egyenlet bal oldalán található aktív anyagok mólnyi mennyiségeinek és 2 mól koncentrált kénsavnak átalakulása során összesen 53,6 Ah töltésmennyiség keletkezik az ólomakkumulátor elméleti üresjárási feszültségén, a 2,04 V mellett reverzibilis körülmények közt. Ez összesen 170,2 Wh/kg elméleti (maximális) energiasűrűséget képvisel.

Ismeretes, hogy az aktív anyagokat nem lehet kisütetni 100%-ig a jelenlegi konstrukció mellett, mivel a reakció terméke mindkét elektródon a nem oldható, elektromosan nem vezető PbSO_4 és ez végül is a kisütés folyamán az elektródok passzíválódására vezet. A gyakorlatban a szokásosan használt szövetétkás és adott rácsgeometriájú kent lemezek esetén az aktív anyag maximálisan 40...50% **kih**használási

hatásfokát lehet elérni. 50%-os kihasználási hatásfokot feltételezve az elméleti 170,2 Wh/kg energiasűrűség

$$E_1 = 108,6 \text{ Wh/kg} \quad (2)$$

értékre korlátozódik, feltéve, hogy a kisütési idő 5 h-nál nem rövidebb.

Az (1) reakcióegyenletben koncentrált kénsav használatát tételeztük fel. Ez a gyakorlatban kivitelezhetetlen. Gyakorlati és elektrokémiai szempontokból optimálisan 36 s%-os kénsav használatát (1,28 g/cm³ sűrűségű) figyelembe véve a (2) energiasűrűségértéket 86,8 Wh/kg értékre korlátozza, ami tovább csökken, mivel a kisütés végére is kell ionvezetést biztosítani, tehát fölöslegben kell a kénsav vizes oldatát használni. Ez végeredményben azt jelenti, hogy az energiasűrűség

$$E_2 = 63 \text{ Wh/kg} \quad (3)$$

értékű lehet.

További súlykomponenst képviselnek az áramgyűjtő és vezető alkatrészek, az aktív masszát tartó és a lemezeket egymástól elválasztó, iontranszportra átjárható közszigetelők és az akkumulátoredény. Ezek a konstrukciónak erősen függvényei de nem lehetnek gyakorlati okokból kisebb súlyúak, mint az elméleti aktívanyag-szükséglet 12...20 %-a. Végül tehát a hagyományos módon konstruált savas ólomakkumulátor esetében 5 h kisütés mellett elérhető maximális energiasűrűség

$$E_{\text{gyak}} = 45 \text{ Wh/kg} \quad (5h) \quad (4)$$

érték lehet. Az áttekinthetőség érdekében ezt az 12-1. ábrán be is mutatjuk. Látható, hogy a további fejlesztésre még van tartalék, elsősorban az aktív anyag kihasználási

Wh/kg	A csökkentő paraméterek
170,2	Elméletileg maximális kapacitás
	////////////////////////////////////
108,6	Az aktív anyag kihasználási hatásfoka 50 %
86,8	A kénsav 36 % hígítása
63	és fölöslege
45	Rács, áramvezető, szeparátorok ház, stb.
	////////////////////////////////////
	Gyakorlati határ

12-1. ábra. A hagyományos konstrukciójú savas ólomakkumulátor lehetséges energiasűrűsége

hatásfokának növelése terén. Ez azonban csak a hagyományosan használt konstrukciós és lemezgyártási technológiákkal való gyökeres szakítás útján lehetséges [7], [8]. Idézzük e tekintetben azt a figyelemre méltó kísérleti eredményt, hogy a hagyományos 5...15 mm osztástávú rácskonstrukció helyett tizedmilliméter tartományban választott „szövetes gyűjtőrác” alkalmazásával 90% fölötti aktívanyag-kihasználás is elérhető [9]. Ugyanakkor figyelemre méltó a Varta Batterie AG törekvése, amely a járműhajtásra tervezett ólomakkumulátor-telepet még megjelölésében (System Battery) is érzékeltetve rendszernek tekintve építi fel. Ennek része a telep állapotát figyelő elektronikus rendszer éppúgy, mint a hőmérsékletet, savszintet szabályozó, beavatkozó rendszer [6]. Szakítanak az egyedi elemekből egyszerű villamos soros kapcsolásban felépített telep koncepciójával. Különböző felhasználási célokra (busz, áruterítő stb.) 150...450 Ah tartományban konstruálnak speciálisan járműhajtási teleprendszer építésére alkalmas elemeket. A hagyományos áramforrás-konstrukciós elvekkel szakítva japán cégek [7] és kutatóhelyek többretegű elektródkonstrukciókkal 60...70 Wh/kg energiasűrűségű savas ólomakkumulátorokat hoztak létre. A megoldás új jellegéből eredően csak becsülhető a konkrét megoldás műszaki értéke, élettartama és egyéb jellemzője. A még megoldásra váró problémákra utal az a tény, hogy 1977-re tervezik konkrét élettartam adatokkal specifikált kísérleti széria létrehozását.

3. Járműhajtási áramforrással szemben támasztott követelmények

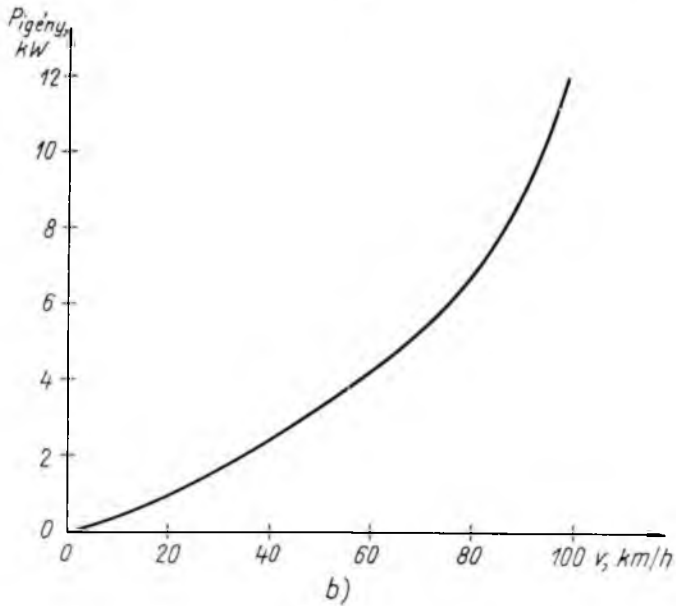
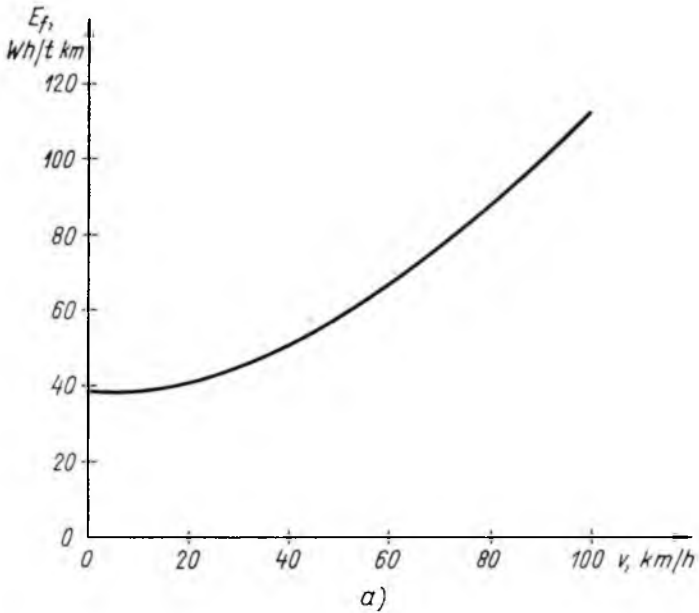
A járművek tervezése műszaki szempontból a hajtórendszerrel a kerekre átvitt erő meghatározása a jármű dinamikai tulajdonságainak figyelembevételével. Ez a klasszikus mechanika törvényei alapján könnyen elvégezhető. Ha a hajtási rendszer villamos, akkor a probléma a mai műszaki helyzet alapján a villamos energia fedélzeti előállítására korlátozódik. A hajtómotor, a szabályozási rendszer és erőátviteli szerkezetek inkább a gazdasági kérdések közé sorolhatók.

A villamos hajtású, nem kötőtpályás járművek tonnakilóméterenkénti hajtási teljesítmény- és energiaszükséglete nagyon pontosan meghatározható [6], [12]. A 12-2. ábrán ezt mutatjuk be a sebesség függvényében hagyományosan tekinthető járműkonstrukcióra a légellenállás és gördülési ellenállás figyelembevételével. Látható, hogy pl. 1 t súlyú jármű $v_{\max} = 50$ km/h sebesség mellett 56 Wh/km hajtási energiaszükségletű. 100 km út megtételéhez a kerekén 5,6 kWh energiát igényel, $P_n = 2,8$ kW kerékre kifejtett teljesítmény mellett. 70%-os energiaátviteli hatásfokot feltételezve (a szabályzórendszer, a mechanikus sebességváltó, differenciálmű) kb. 8 kWh az energiaszükséglet.

E tájékoztató adatok után összefoglaljuk a városi forgalomra tervezett 1 t-s jármű esetében konkrét tesztelési adatok alapján a jellemző adatokat:

Jármű	súly	1000 kg
	gyorsulás	1,5 m/s ²
	lejtő	8,5% (50 km/h-nál)
	max. sebesség	105 km/h
	utazási hossz	300 km
Hajtóegység	súly	250 kg
	névleges teljesítmény	4 kW (50 km/h)
	max. teljesítmény	15 kW
	energiaigény	23,0 kWh (50 km/h-nál)
Energiaforrás	teljesítménysűrűség ($\eta = 80\%$):	16...75 W/kg
	energiasűrűség ($\eta = 80\%$):	115 Wh/kg

Fontos megjegyezni, hogy járműdinamikai szempontból kedvezőtlenebb konstrukciójú városi tömegközlekedési eszközök, teherautók esetén a tonnakilóméterenkénti energiaszükséglet kb. 20...25 %-kal magasabb, mint pl. a választott kis személygépkocsi esetében (l. még külön az 5. pont alatt).



12-2. ábra. Hagyományos konstrukciójú jármű hajtási energia- (a) ábra) és teljesítményszükséglete (b) ábra)

Az előzőkben vázolt menettulajdonságokat a drága és ilyen ok miatt felhasználásra nem kerülő Zn—AgO akkumulátoron kívül ma kereskedelmi forgalomban levő elektrokémiai áramforrás kielégíteni nem tudja (l. a 9-9. ábrát.) A továbbiakban röviden áttekintjük a kutatás—fejlesztés jelenlegi helyzetét és bemutatjuk azokat az elemfajtákat, amelyek laboratóriumi kísérletek alapján a közeljövő lehetséges járműhajtási energiaforrásaivá válhatnak.

4. A különböző áramforrások jellemzése

4.1 Vizes elektrolitú rendszerek

A hagyományos, ipari méretekben gyártott és forgalmazott rendszerek közül az I. pontban a savas ólomakkumulátorról és ezek perspektíváiról már részletesen beszélünk. Villamos járműhajtási szempontból a lúgos nikkel-oxid—kadmium akkumulátorok önálló felhasználásában — főképp gazdasági okokból — kevés kilátás becsülhető. Önálló felhasználásra alkalmasnak a lúgos elektrolitú rendszerek közül a cink—nikkel-oxid és vas—nikkel-oxid (Ni—Fe) akkumulátor ígérkezik.

Az előbbi esetben a cinkelektrod töltéskor jelentkező ún. dendrit képződésének (tűkristályok nőnek, amik az elektródokat rövidre zárják) meggátlására három úton próbálkoznak megoldást találni:

- az elektródok közti szeparátorok minőségi mutatóinak javítása árán [10]; azonban ez az út csak kb. 500 töltési-kisütési ciklusélettartam körüli értéket kínálhat a jelenlegi trendet alapul véve a következő 5 éven belül;
- az elektródok közt elhelyezett hagyományos szeparátor és elektrokémiai szeparátor kombinációinak alkalmazása, amelyek közül az elektrokémiai szeparátor katalitikus tulajdonsága folytán a dendritként ránőtt Zn tűkristályokat heves hidrogénfejlődés kíséretében oldja [11, [13];
- a dendritképződés fizikai—kémiai feltételeit szüntetik meg a Zn elektródnak töltés közbeni mechanikus rezgetésével [14].

Az utóbbi két megoldással már 1000 töltés-kisütési ciklust is elértek kísérleti elemeken. Az energiasűrűséget az alkalmazott nikkeloxid elektród műszaki paramétereit jelentősen befolyásolják. Jó minőségű táskás elektródokkal (legalább 90 Ah/kg) 50...60 Wh/kg energiasűrűség, korszerű szinterelt elektródokkal (~ 120 Ah/kg) 80...90 Wh/kg energiasűrűség is elérhetőnek ígérkezik 300...400 Ah kapacitású elemek esetén.

Az Edison által kifejlesztett, klasszikus Ni—Fe akkumulátor újrafelfedezése napjainkban a tüzelőanyag-elemek kutatása terén elért eredményeknek köszönhető [6], [15], [16], [24]. A tüzelőanyag-elemek közül a szobahőmérséklet környezetében is üzemkészségre alkalmas rendszerekkel végeztek járműhajtási kísérleteket. Az üzemmódot tekintve a tüzelőanyag-elemek a belső égésű motorokkal leginkább rokon energiaforrások. Az üzemanyag adagolása és ezáltal a terhelhetőség szabályozható; még ha a mai technikai fejlettségi szinten nem is ez látszik a legjobb szabályozási módnak, elvben mégis reálisnak látszik, hogy a költséges elektronikus vagy a veszteséges elötétellenállásos szabályozás helyett a villamos energiát szolgáltató rendszert szabályozzák. Ma előnyösnek inkább a gyors „tankolási” lehetőség, valamint a víz vagy hasonló, környezetvédelmi szempontból közömbös „égéstermék” keletkezése mutatkozik. A tüzelőanyag-elemek fejlesztésével foglalkozó kutatók, konstruktőrök ma legfőképpen azzal foglalkoznak, hogy olcsó katalizátorokat dolgozzanak ki, valamint ipari méretekben alkalmazható elektródelőállítási technológiákat és elemkonstrukciós módszereket fejlesszenek ki. Szakértői vélemények a tüzelőanyag-elemek gazdaságilag is megalapozott elterjedését a századforduló éveire prognosztizálják [14].

4.2 Fém—levegő elemek

A nem kötőpályás közúti járművek elvárt menettulajdonságai szempontjából a közeljövő legígéretesebb áramforrásai a fém—levegő elemek. Ezekben az elemekben a nagy tömegigényű pozitív elektród helyett a levegő oxigénjét oxidálószerként felhasználó nagyszámszámú könnyebb elektródot használnak (lásd külön közlemény). Az ipari méretű megvalósuláshoz legközelebb az Fe—levegő és Zn—levegő elemek állnak. A vas—levegő elemek esetén a negatív vaselektrodát a már ismert Ni—Fe-akkumulátor fejlesztett elektródja. A Zn—levegő elem üzemeltetése során nem kis gondot jelent a Zn elektródnak az a tulajdonsága, hogy a szokásosan alkalmazott lúgos elektrolitban a kisütési termékeinek egy része jól oldódik. Ennek kiküszöbölésére dolgozták ki a francia C. G. E. munkatársai [17], valamint japán kutatók [7] a zagy-elektrodát. A fém—levegő rendszerek leglényegesebb és legkritikusabb alkatrésze az oxigénelektrodát. Az elemekben újratölthető anódú rendszerek esetén az oxigénelektrodát korróziós igénybevétele olyan mértékű, hogy csak nemesfém katalizátor alkalmazható [18] vagy nagyon drága, bonyolult szerkezetű elektród alkalmazása szükséges [16].

4.3 Nem vizes elektrolitú rendszerek

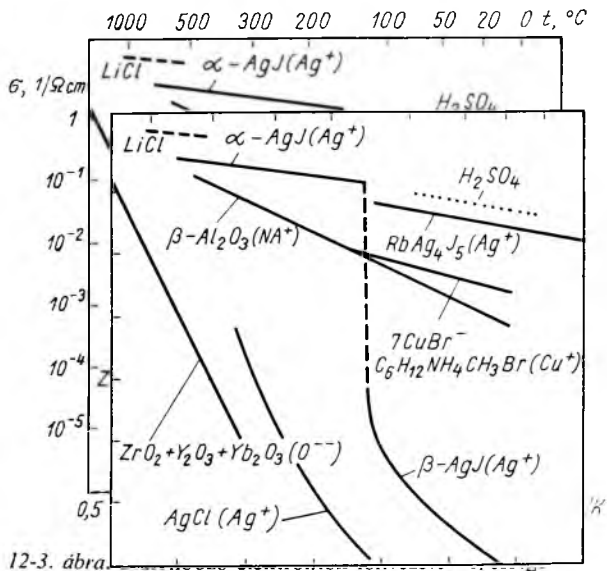
Mint már említettük, az energiasűrűség szempontjából kedvezőbb anyagpárosítások vizes elektrolitokkal elemmé nem építhetők. A nem vizes elektrolitú rendszerek gyakorlati elterjedése ez ideig egyes, nagyon speciális esetektől eltekintve (pl. kisméretű hordozható energiaforrások) nem számottevő. A nagy intenzitással folyó kutatómunka és a kilátások mégis indokolják, hogy röviden foglalkozzunk ezekkel az áramforrásokkal. A nem vizes elektrolitoknak három fajtáját különböztethetjük meg:

- szerves oldószerű elektrolitok,
- sóolvadék elektrolitok, és
- szilárd elektrolitok.

Az elektrokémiai áramforrásokban használható elektrolitoknak több követelményt kell együttesen kielégíteniük. Ezek közül a járműhajtási áramforrástól elvárt nagy teljesítménysűrűség maga után vonja az elektrolitól elvárt jó ionvezető képesség követelményét. Az eddig ismert szerves oldószeres elektrolitok ezt a követelményt nem képesek kielégíteni, viszont a sóolvadék és szilárd elektrolitoknak — nagyobb hőmérsékleten kielégítő ionvezető képességük van. A hőmérséklet emelkedésével káros jelenségek: korróziós problémák; oldékonysági problémák stb. jelentkeznek, amin néhány esetben eutektikumok alkalmazásával lehet segíteni.

4.4 Szilárd elektrolitú elemek

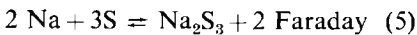
A 12-3. ábrán különböző elektrolitok vezetőképessége látható. A szilárd elektrolitok közül (a vezető iont is megjelöltük) a vezető ion fémje (ill. anyaga) olvadt állapotban kell legyen a szilárd elektrolit által lezárt elektródtérben. Ebben az értelemben egyedül alkalmasnak a nátrium-ionvezető β -korund, ill. nagyon magas hőmérsékleten az oxigén-ionvezető adalékolt cirkónium-dioxid alkalmasak. A β - Al_2O_3 kristályszerkezete már 40 éve ismert, de áramvezetési mechanizmusa pontosan az utóbbi 10 évben vált ismertté. A szilárd β - Al_2O_3 elektrolit spinell szerkezetű, oxigén-ion-híd köti össze a spinell blokkokat. E blokkok közt a vezetési síkban meglehetősen nagy hézagok vannak. Ebben a térben különböző stöchiometriai arányok esetén



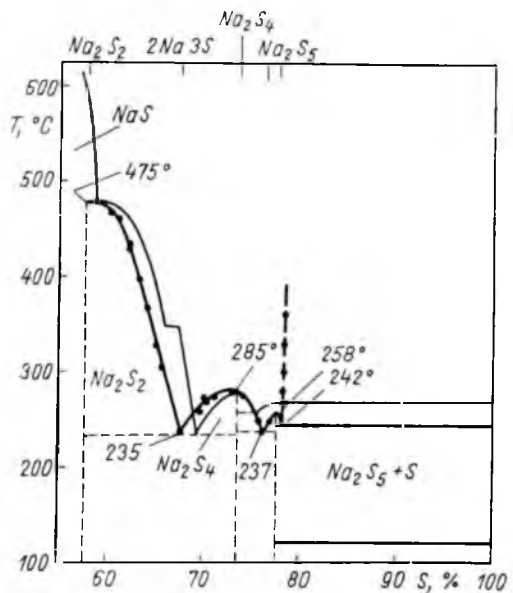
12-3. ábra

[19], [20] nátrium ionok tudnak elhelyezkedni, és meglehetősen akadálytalanul tudnak egyik helyről a másikra „átugrani”.

Az alkálifém-kalkogén rendszerek közül a legintenzívebben vizsgált a Li—S és a Na—S elem. Ezek közül az első olvadék elektrolitú, a második szilárd elektrolitú. Az Na—S elem energiatermelő alapreakciója:



A kisütés különböző stádiumában különböző nátrium-poliszulfidok képződnek, így az (5) összefüggés csak egy adott konstrukcióra és adott működési feltételek mellett igaz. Maga az elem legtipikusabb felépítése a következő [20], [21]. A szilárd elektrolit kémcsőszerűen zárt edényt képez. Belül helyezkedik el az olvadt Na; kívül a katódtérben egy acél-tartályban — elektronvezetőnek grafitfilcet használva és ebben felitatta — a szintén olvadt kén található. Kisütéskor a nátrium ion az elektroliton keresztül a kénhez vándorol és itt poliszulfidok képződnek. Eközben a nátrium szintje jelentősen lecsökken. Töltéskor a folyamatok fordított irányban mennek végbe.



12-4. ábra. A Na—S rendszer fázisdiagramja

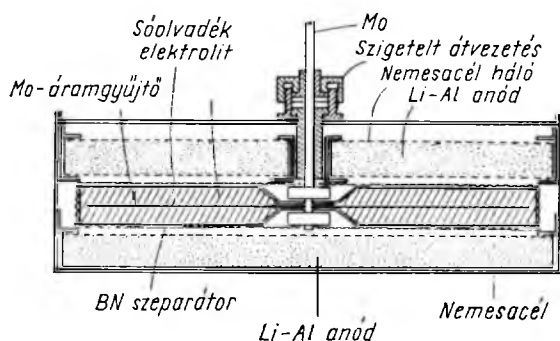
Az elektródfolyamatok döntően meghatározzák az elem választható üzemi hőmérsékletét. A 12-4. ábrán a Na||S rendszer fázisdiagramját mutatjuk be. Kiténik, hogy az üzemi hőmérséklet nem lehet 285 °C-nál kisebb, mert az elektródreakciókban részt vevő termékek a tiszta kéntől az Na₂S₃-ig folyékony halmazállapotban maradnak. Így megvan a lehetősége annak, hogy az elektródfolyamatok gyorsak legyenek. Kiténik továbbá az is, hogy a cella kisütésekor előbb az a tartomány vesz részt az elektródreakcióban, ahol az olvadt kén és a folyékony Na₂S₅ létezik. Ezután egy egyfázisú tartomány következik, ahol az olvadék összetétele Na₂S₅-től Na₂S₃-ig változik. Végül a mélykisütésnél olyan tartományok lépnek reakcióba, ahol az olvadékon felül már szilárd Na₂S₂ is jelen van.

Konkrét kísérleti adatok alapján [21], [22] az elért gyakorlati energiasűrűség 100...200 Wh/kg, teljesítménysűrűség 50 W/kg. A rövid ideig tartó csúcsterhelés (20 s) 150...200 W/kg. A biztató laboratóriumi és kísérleti üzemi eredmények ellenére elsősorban korróziós okok miatt a közeli években még nem várható ezeknek az elemeknek ipari elterjedése.

4.5 Olvadék elektrolitú elemek

A sóolvadék elektrolitok vezetőképessége az összes ismert elektrolitok közt a legnagyobb. Ez a körülmény nagyon vonzóvá teszi alkalmazásukat áramforrásokban. Különösen az alkálifémek viszonylag alacsony sűrűsége és nagy normálpotenciálja tette lehetővé, hogy az utóbbi évtizedben nagy erőfeszítéseket tegyenek olvadt alkálifém anódú, olvadék elektrolitú áramforrások létrehozására. Leggyakrabban eutektikus sóolvadékok használatával igyekeznek az elektrokémiai szempontokon kívül az Na||S elem kapcsán bemutatott kedvező fizikai—kémiai sajátosságokat és az üzemi szempontból optimálisnak ítélt paramétereket beállítani.

A legtöbb vizsgált elem az Li||S elektrokémiai reakcióját kívánja hasznosítani. Számos laboratóriumi elemtípust vizsgáltak. A választott elektrolit általában LiF—LiCl—LiJ eutektikum. Olvadáspontja 341 °C, mégis az üzemi hőmérséklet a reakciótermékek oldhatósága miatt nem lehet 365 °C-nál alacsonyabb. A tiszta kén alkalmazása számos problémát vet fel: a tiszta kén az olvadék elektrolitban, ha kis mértékben is, de oldódik és így a lítiummal kémiaiilag reagál. Ez az önkisülés — amely a kis anód—katód távolság miatt (kis belső rezisztencia) meglehetősen nagy lehet. Mindezekon felül a tiszta lítium 400 °C körüli üzemi hőmérsékleten meglehetősen agresszív. Jelentős javulást eredményezett a LiAl ötvözetre való áttérés az anód oldalon, a katódtérben pedig a tiszta kén helyett a FeS, ill. FeS₂ használata. Ez termé-



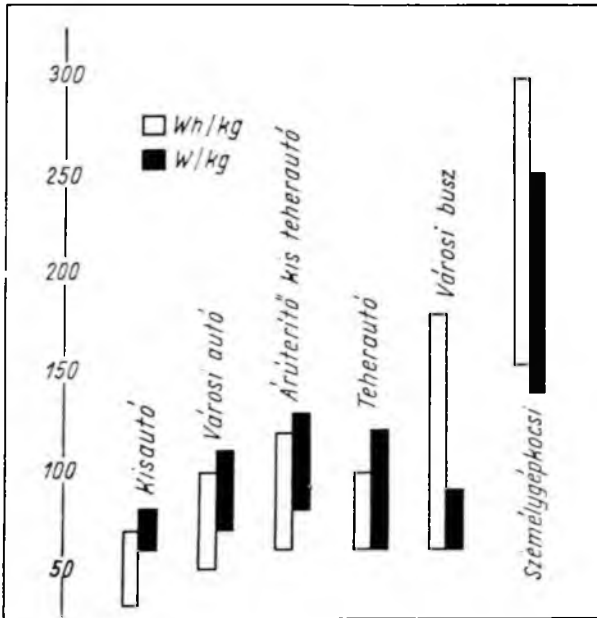
12-5. ábra. Az Argonne N. L. Li—Al—FeS₂ elemének metszete

szetesen az elméleti energiasűrűség és ezzel együtt az elérhető gyakorlati energiasűrűség értékének csökkenését is okozza. A 12-5. ábra egy LiAl₂Li sóolvadék autektikum FeS₂ cella metszetét ábrázolja [23].

Az ilyen elemeket 400 °C üzemi hőmérsékleten tartósan 0,3 A/cm² áramsűrűséggel lehet terhelni. Rövid ideig 1,6 A/cm² csúcsterhelést is képesek szolgáltatni. A terhelt elemek kapocsfeszültsége a kiindulási vasszulfidtól és kisütési paramétereiktől függően 1,6...1,2 V: a töltési végfeszültség 2 V. A 100 Ah körüli névleges kapacitású cella ciklusélettartama 200...300 ciklus. Az Argonne National Laboratory (USA) kutatóinak véleménye szerint az 1980-as évek közepére várható telepek költsége nem lesz drágább, mint a savas ólomakkumulátoroké.

5. Összefoglalás

Röviden a 12-6. ábrán összefoglaljuk a különböző típusú járművek menetdiagramjai alapján az adott jármű villamos hajtásához szükséges áramforrás fajlagos energiájának és fajlagos teljesítményének mutatóit. Ha az ábrát összevetjük a 9-9. ábra adataival, megállapíthatjuk, hogy a ma ipari méretekben gyártott áramforrások közül az AgO—Zn akkumulátort kivéve egyik sem alkalmas az elvárt menettulajdonságok



12-6. ábra. Villamos hajtású járművekhez szükséges áramforrások összehasonlítása

biztosítására. Mégis bizonyos speciális, konkrét alkalmazások esetében már a ma gyártott áramforrások is kielégítő kísérleti villamos járművek hajtására és ezek (járműkonstrukció, hajtásszabályozás stb.) forgalmi tesztelésére. Mindez alkalmas arra is, hogy új típusú áramforráskonstrukcióknak jármű fedélzetén történő üzemi vizsgálata lehetséges legyen. Erre szolgál példaként az Intézetünk Elektro-Barkas

villamosított áruterítője (l. 11. cikket), valamint a kísérleti Zn—levegő energia-pufferú és ólomakkumulátoros teljesítménypufferú áramforrása a 12-7. ábrán. Ezen az úton előkészítés alatt áll villamos hajtású busz kísérleti áramforrásának konstrukciós munkája is. Reális célkitűzés ma még csak a városi forgalmú felső vezetékhez



12-7. ábra. A VKI kísérleti Zn—levegő energiátárolós járműhajtási áramforrása

nem kötött járművek fejlesztése lehet. E fejlesztési lépést a környezetünk védelme kihívóan követeli, de reális műszaki perspektívák körvonalazhatók a következő évtizedekre a közúti városközi forgalom terén is a gazdaságosabb, jobb hatásfokú villamos hajtású járművek kifejlesztésére.

Irodalom

- [1] *de Bethune, Andre J.*: Electrochemical Systems. "Power Sources for Electric Vehicles" (Symposium) 1967. p. 155—173 Public Health Service.
- [2] *Erdey-Gruz Tibor—Schay Géza*: Elméleti fizikai kémia III. kötet. Tankönyvkiadó Budapest, 1962.
- [3] *Bro, P.—Holmes, R.—Taylor, H.*: The discharge Characteristics of the Li—SO₂ Battery System. 9th International Power Sources Symposium. Brighton, 1974.

- [4] Kémiai áramforrások. OMFB tanulmány. Műszaki Élet 9. 1976.
- [5] *Friedheim, G.*: Optimization of the Lead-Acid Battery for Powering Electric Road Vehicles. 4th International Vehicle Symposium. Düsseldorf, 1976.
- [6] *Salamon, K.—Krämer, G.*: Traction Batteries for Existing and Future Electric Road Vehicles. 4th International Vehicles Symposium. Düsseldorf, 1976.
- [7] *Yao, N. P.*: Battery Development in Japan. Symposium. Argonne National Laboratory, 1976.
- [8] *Daszozan, M. A.—Aguf, J. A.*: Szovremennaja Teorija Szvincobogo Akkumulatora. Energija. 1975. (oroszul)
- [9] *Faber, P.*: The Use of Titanium in the Lead Acid Battery. Power Sources 4. Oriel Press 1973. p. 525—540.
- [10] *Yao, N. P.—Birk, J. R.*: Battery Energy Storage for Utility Load Leveling and Electric Vehicles. A Review of Advanced Secondary Batteries. IECEC '75 RECORD. 1107—1117.
- [11] *Benczur, G.—Ürmösy, E.—Benda, K.—Haschka, F.*: A Rechargeable Nickel—Zinc Cell with an Auxiliary Electrode. Power Sources 5. Academic Press. London 1975. p. 303—314.
- [12] *Thomas, R.—Zander, E.*: Proposals for the Further Development of Energy Storage Systems for Electric Road Vehicles. 4th International Electric Vehicle Symposium. 1976. Düsseldorf.
- [13] *Tajima, S.—Nakamura, M.—Mori, T.*: An Ni—Zn Rechargeable Cell of the Fixed Electrolyte Type. 10th International Power Sources Symposium. Brighton 1976.
- [14] *Krusensterierna, O.*: High-Energy Long-Life Zinc Battery for Electric Vehicles. 10th Power Sources Symposium, Brighton 1976.
- [15] *Cnoblock, H.—Gröppel, D.—Kühl, D.—Nippe, W.—Siemsen, G.*: Performance of Iron-Air Secondary Cells Under Practical Operation Conditions. Power Sources 5. Academic Press London. 1975. p. 261—282.
- [16] *Lindström, O.*: Iron-Air Battery Systems for Traction Purposes. Power Sources 5. Academic Press 1975. p. 283—301.
- [17] *Appleby, A. J.—Jacquier, M.*: The C. G. E. Circulating Zinc/Air Battery: A Practical Vehicles Power Source. Journal of Power Sources 1. 1976/77. p. 17—39.
- [18] *Gregory, D. P.*: Metal-Air Batteries. Mills and Boon Limited. London 1972.
- [19] *Fischer, W.*: Electrochemische Speicher. Technica 18. 1975. p. 1337—1348.
- [20] *Fischer, W.—Bankal, W.*: The Na/S Cell as a Source of Motive Power for Electric Vehicles. 4th International Electric Vehicle Symposium. 1976. Düsseldorf.
- [21] Na—S Battery. Yuasa Battery Co., Ltd., 1976. july. 9-i kiadványa.
- [22] *Jones, I. W.*: Sodium/Sulphur Battery Design and Development for Motive Power Applications. 4th International Electric Vehicles Symposium 1976. Düsseldorf.
- [23] *Walsh, W. J.—Shimotake, H.*: Performance Characteristics of Lithium-Aluminium/Iron Sulfid Cells. 10th International Power Sources Symposium. Brighton 1976.
- [24] *Birge, J.—Brown, J. T.—Feduska, W.—Hardman, C. C.—Pollack, W.—Rosey, R.—Seidel, J.*: Performance Characteristics of a New Iron-Nickel Cell and Battery for Electric Vehicles. 10th International Power Sources Symposium. Brighton 1976.

VILLAMOS ENERGIA KÖZVETLEN ELŐÁLLÍTÁSA

13.

A napenergia komplex hasznosítása

BÖHÖNYEY FERENC—PÁLFY MIKLÓS—PALOTAI GÉZA

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők ismertetik a napenergia hasznosítás történelmi fejlődését. A napenergia különböző hasznosítási területei közül kiemelten tárgyalják a termikus és a villamos átalakítás lehetőségeit. Az energetikai megfontolások mellett foglalkoznak a napenergia átalakítását biztosító berendezésekkel, kiemelik az energiatárolás problémakörét, kitérnek a hazai fejlesztési eredményekre és vizsgálják a napenergia komplex hasznosításának hazai perspektíváit.

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

Ф. Бөхөней—Г. Палотай—М. Пáлфи

Резюме

Авторы излагают историческое развитие применения солнечной энергии. Из различных областей применения подробно излагают возможности термического и электрического преобразования. Наряду с энергетическими обоснованиями авторы занимаются с оборудованием для преобразования солнечной энергии, указывают круг проблем, связанных с аккумуляцией энергии, излагают отечественные результаты исследований и оценивают отечественные перспективы комплексной эксплуатации солнечной энергии.

KOMPLEX AUSNUTZUNG SONNENENERGIE

F. Böhönyey—M. Pálfy—G. Palotai

Zusammenfassung

Die Verfasser erläutern die historische Entwicklung der Ausnutzung der Sonnenenergie, und behandeln unter den unterschiedlichen Ausnutzungsgebieten der Sonnenenergie bevorzugt die Möglichkeiten der thermischen und elektrischen Umwandlung. Ausser den energetischen Erwägungen kommen die Umformanlagen der Sonnenenergie zur Sprache, werden die Probleme der Energiespeicherung hervorgehoben. Die Autoren gehen auf die inländischen Entwicklungsergebnisse ein und untersuchen die ungarischen Perspektiven der komplexen Ausnutzung der Sonnenenergie.

COMPLEX UTILIZATION OF SOLAR ENERGY

By F. Böhönyey—M. Pálfy—G. Palotai

Summary

Historical background of the development of utilization of solar energy is described. Of the different application fields in which solar energy can be used the stress is laid on possibilities of thermal and electric conversion. Besides energy considerations installations needed for the conversion of solar energy are dealt with; problems connected with energy storage are discussed in particular; development results in Hungary are mentioned, and perspectives at home of complex utilization of solar energy are studied.

1. Bevezetés

Földünket érő $1,7 \times 10^{17}$ W teljesítményértékű napsugárzás 40%-a a világűrbe reflektálódik, de még így is $1,03 \times 10^{17}$ W marad, amely Földünkön nyelődik el. Egy része a légkört „fűti” (kb. 1%), ez a szelek, viharok energiaforrása, más része az óceánokat melegíti, a többi pedig szárazföldünket éri. Ezt az energiát hasznosítja az élővilág; az állatok átlagosan kb. 0,001%, a gabona átlagosan kb. 0,01% és az erdők átlagosan kb. 0,1% hatásfokkal.

Ha áttekinthetjük a napenergia közvetlen hasznosításának fejlődését, meg kell említeni Arkhimédész, aki a kultúrtörténetből ismert kísérlete során, reflektáló pajzsfelületek segítségével, napenergia koncentráálásával egy egész hajóhadat tett a lángok martalékává.

Atugorva két évezredet említésre méltó esemény az oxigén felfedezése 1774-ben, amikor Priestley híres kísérletével higany-oxidból napsugárzás hatására oxigént állított elő. Az ipari forradalom a napenergia szélesebb körű kiaknázását, annak az emberiség szolgálatába állítását felgyorsította. 1872-ben Észak-Chilében 4500 m²-es területen sós víz elpárologtatásával ivóvizet előállító berendezést készítettek, amely 40 évig folyamatosan üzemelt napi 22 700 liter kapacitással. 1878-ban Párizsban napenergia-koncentrálással gőzgép hajtású nyomdagépet mutattak be.

A robbanómotor térhódítása egy időre visszavetette ezeket a kísérleteket és csak az 1930-as évek második felében jelentek meg újabb eredmények. Abott Washingtonban és Floridában 1936. illetve 1938-ban kisteljesítményű gőzgépet mutatott be (1/2 LE, ill. 1/5 LE), Taskentben Molero 1941–46 között ugyancsak napenergiával működtetett gőzgépet fejlesztett ki. 1939-ben az MIT az Egyesült Államokban elkészítette a napenergiával fűtött ház első kísérleti példányát, amelyekből napjainkig további 80 db készült el. A 40-es években az Egyesült Államokban, Floridában 10 000 db napenergiával fűtött vízmelegítő rendszer üzemelt már, és számuk 1950-re 30 000 db-ra növekedett. A nukleáris energia hasznosításának lehetősége az 50-es, 60-as években megint kissé háttérbe szorította a napenergia földi hasznosítására irányuló kísérleteket, azonban újabb lendületet kapott a kutatás a 70-es években, amelyet elsősorban az energiacsökkenés, — konkrétan — az olajválság és a környezetszennyezési problémák világos felismerése, implicita a nukleáris energiaforrások kihasználási korlátainak felismerése indokolt.

A napenergia földi hasznosítására irányuló kutatások fontosságának érzékelésére az ERDA Szervezet (Energy Research and Development Administration) adatait közöljük, amely az Egyesült Államokban a kutatást koordinálja. 1973-ban 3,977 millió dollárt, 1974-ben 13,2 millió dollárt, 1975-ben 50 millió dollárt és 1976-ban 160,3 millió dollárt fordítottak napenergia földi hasznosításának kutatására, azaz négy éven belül a ráfordítás 40-szeresére emelkedett. A napenergia kutatásának előtérbe kerülését mi sem jellemzi jobban, mint a széles sajtóvisszhang, amely kiemelte azt a tényt, hogy napenergiával fűtött tribünön folyt J. Carter 1977. évi ünnepélyes elnöki beiktatása. Nyugatnémetországban — ebben a hazánknál a napenergia hasznosítása szempontjából kedvezőtlenebb földrajzi fekvésű országban — 1975-ben 21 millió DM-t fordítottak napenergia földi hasznosításának kutatására, amely összeg 1979-ig 110 millió DM-ra fog növekedni. Sorolhatnánk tovább Japán, Franciaország, Anglia programját, amelynek részleteiről betekintést nyújt az 1976-ban Toulouseban rendezett világkonferencia több, mint ezer oldalas nyomtatásban is megjelent anyaga.

A Szovjetunióban több mint 50 éves hagyománya van a napenergia kutatásának és több mint 20 éve tervszerű szakemberképzés folyik. Az Örmény, a Türkmen, az Üzbég, az Azerbajdzsán Heliotechnikai laboratóriumok eredményei a villamosenergia-termelés, ivóvíz-ellátás, ill. -szolgáltatás területén igen jelentősek. A szocialista országok is felismerték a téma fontosságát és KGST-n belül széles körű együttműködés keretében folynak a kutatások, amelyben hazánk is részt vesz. A korlátozott anyagi lehetőségek hazánkban elsősorban a fotó- és termovillamos átalakítók szűk területé-

nek fejlesztését teszik lehetővé, amely területen a VKI már eddig is komoly eredményeket ért el. Tekintettel arra, hogy a napenergia földi hasznosításának kutatása rendkívül széles területen folyik, a következőkben a teljesség igénye nélkül, de lehetőségünkhöz mérten széles körű összefoglalást kívánunk adni.

2. A napenergia-átalakítás módszerei

Az átalakítási módokat két fő csoportra oszthatjuk.

Közvetlen energiaátalakítások:

Fototermikus átalakítás:

- kis hőmérsékletű < 100 °C
- közepes hőmérsékletű 500... 800 °C-ig
- nagy hőmérsékletű 1700...2000 °C-ig

Fotovillamos átalakítás

Biológiai átalakítás

Vegyai reakciók fény hatására

Közvetett energiaátalakítások:

Szélerenergia átalakítása

Az óceánok energiahasznosítása

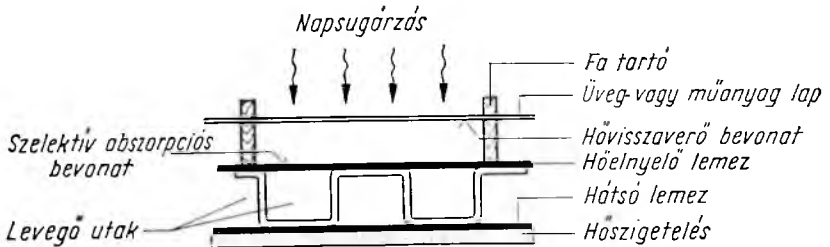
- áramlások hasznosítása
- hőgradiens hasznosítása
- sókoncentráció-különbség hasznosítása
- a sarki jég hasznosítása.

E lehetőségek közül a hazai viszonyok között is számításba jövő kis hőmérsékletű fototermikus átalakítással, és a fotovillamos átalakítással foglalkozunk részletesebben. Az egyes átalakítási formáknál költség-megfontolásokat is teszünk. Összehasonlításképpen megemlítjük, hogy a hagyományos erőművek beruházási költségei kb. 300 \$/kW-t tesznek ki, atomerőművekre pedig ez az érték kb. 500 \$/kW.

2.1 Közvetlen energiaátalakítás

Fototermikus átalakítás

A kis hőmérsékletű átalakítás során a napenergiát napkollektorok segítségével — a régóta alkalmazott üvegház elven — hővé alakítjuk és egy közvetítő közeg segítségével a felhasználás helyére szállítjuk. A közvetítő közeg lehet víz, levegő vagy különböző összetételű sóoldat. Egy levegő közvetítő közegre tervezett napkollektor vázlatos rajza látható a 13-1. ábrán.



13-1. ábra. Kis hőmérsékletű napkollektor rajza

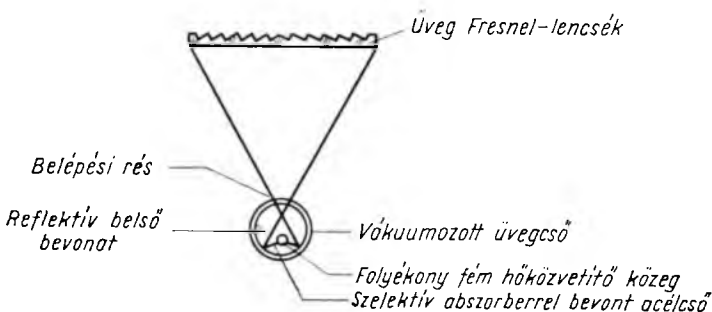
Az abszorber két párhuzamos lemezből áll, amelyek között a közvetítő közeg — itt a levegő — áramlik. A felső lemez hőelnyelő bevonattal van ellátva, az alsó lemez veszteségeit pedig hőszigeteléssel lehet csökkenteni. A legnagyobb problémát a felső, hőelnyelő lemez veszteségei jelentik, amely a konvekcióból, sugárzásból és vezetésből áll. A kollektor hatásfokát a beeső napenergia és a kinyerhető hasznos hőenergia viszonya fejezi ki.

A hőelnyelő lemezen szelektív abszorber, a felső üveg-, ill. műanyag lemezen hővisszaverő rétegek, valamint a kettő között vákuum alkalmazásával 70 % fölötti átalakítási hatásfok is elérhető.

A kollektorban nyert hőenergiát felhasználhatjuk épületek, létesítmények fűtésére, melegvíz-ellátására, levegőkondicionálására (abszorpciós hőszivattyúk segítségével) stb. A hőenergiát a közvetítő közeg továbbítja a felhasználás helyére, ill. a tárolóberendezésbe. A tárolórendszer méreteit a felhasználás követelményei határozzák meg. Szükség lehet a napéj ciklusok, esetleg rövidebb kedvezőtlen időjárási periódusok áthidalására is.

Adott földrajzi területen az ilyen rendszerek gazdaságosságának eldöntéséhez kísérleti munkára van szükség. Az azonban világosan látszik, hogy a napenergia-átalakítás különböző módszerei közül az alacsony hőmérsékletű hő termelése áll a legközelebb a gyakorlati megvalósításhoz és széles körű elterjedéshez, amit az is alátámaszt, hogy pl. nyugatnémet adatok szerint a teljes energiaigény 40 %-a — legtöbb országban ez az érték még nagyobb — kis hőmérsékletű hőenergia.

A napenergia *közepes hőmérsékletű* (500...800 °C) *átalakításának* a célja, hogy a hőenergia közvetítésével, elektromos áramot, vagy hidrogént nyerjünk. Az ilyen hőmérsékletű átalakításhoz a Nap sugárzási energiáját koncentrálni kell. A hőgyűjtő rendszer hasonlíthat az alacsony hőmérsékletű átalakításnál leírt kollektorokhoz. Egy lehetséges megoldást mutat vázlatosan a 13-2. ábra.



13-2. ábra. Koncentrátoros napkollektor

A villamos energiává alakításra alkalmazhatnak pl. hagyományos gőzturbinát. Az energia-átalakítás összhatásfoka 25...30 %-os lehet. Az ilyen rendszerek kW-onkénti beruházási költségeit 1200...1400 \$-ra, más adatok szerint 1000...3000 \$-ra becsülik.

A közepes hőmérsékletű hőenergia villamos energiává történő átalakítása speciális esetekben, termovillamos generátorok segítségével is történhet. Annak ellenére, hogy a rendszer hatásfoka kisebb, beruházási költsége pedig nagyobb, mint a gőzturbinás átalakításnak, néhány előnye miatt számításba jöhet a közepes hőmérsékletű, esetleg a kis hőmérsékletű átalakítás második lépésőjében.

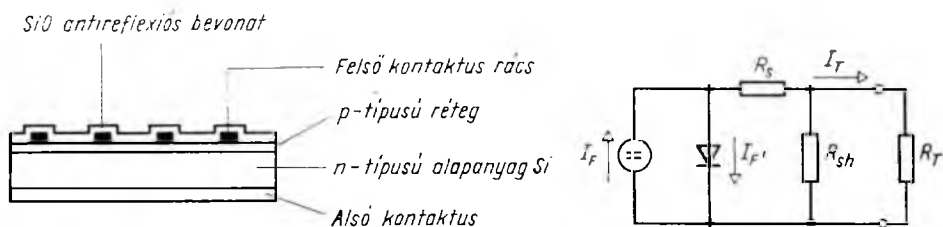
Hidrogén fejlesztésére 500...800 °C-ig terjedő hőmérséklettartományban vegyi reakciók segítségével a víz disszociáltható. Ezzel az eljárással kapcsolatban még számos technológiai probléma vár megoldásra. Ha az eljárást kifejlesztik, vonzóvá válhat a napenergia átalakítására, a hidrogén egyszerű tárolhatósága és szállíthatósága folytán.

A nagy hőmérsékletű átalakítás előnye, hogy az átalakítás második lépcsőjében a hőenergiának villamos energiává való alakítása során nagyobb hatásfok érhető el, mint közepes hőmérsékleteken. Számos hátránya is van: nagyobb a fókuszálási igény; nagyobb a visszasugárzás okozta hővesztés; a napfény jelentős része elvész az alatt az idő alatt, amikor intenzitása túl kicsi az üzemi hőmérséklet eléréséhez; valamint a nagy hőmérséklet okozta technológiai nehézségek. A nagy hőmérsékletű kutatások korlátját egyelőre anyagproblémák jelentik. A fejlődés iránya és mértéke jelenleg nem becsülhető meg.

Fotovillamos átalakítás

A fotovillamos elem a nap sugárzási energiáját közvetlenül villamos energiává alakítja át. A jelenség már több, mint száz éve ismert, de csak az űrhajózás megindulása óta kezdtek el intenzíven foglalkozni a fotovillamos elemek fejlesztésével. A fotovillamos eszközök működésének mechanizmusához szükség van egy anyagra, amelyben mozgékony töltéshordozók generálódnak a fény abszorbeálódásának következményeként és egy potenciálgátra, amely ezeket a töltéshordozókat szét tudja választani. A félvezető anyagok kielégítik az első igényt, a pn átmenetek, a félvezető fém vagy a félvezető elektrolit egyenirányító átmenetek pedig a másodikat.

Jó átalakítási hatásfok elérésére a félvezető anyagnak számos feltételt kell kielégíteni. Elemi félvezető anyagok közül a szilícium, szelén; vegyület félvezetők közül pl. a GaAs, CdS, Cu₂S, CdTe, TiO₂, GaP felelnek meg az alapvető kritériumoknak. Néhány szerves anyag szintén mutat félvezető tulajdonságot, de ez ideig még nem értek el velük számottevő eredményt a napenergia átalakításában. Egy napelem legényesebb tulajdonságait egy konstans áramú generátorral, I_F és egy azzal párhuzamosan kapcsolt ideális dióddával I_F , lehet reprezentálni, módosítva egy R_s soros és egy R_{sh} párhuzamos veszteségi ellenállással. A napelem általában egy R_T külső terhelőellenállásra dolgozik. A helyettesítő kép a 13-3. ábrán látható.



13-3. ábra. Si napelem vázlatos rajza és helyettesítő képe

Jelenleg két napelemszerkezettel foglalkoznak széleskörűen. A legnagyobb múlttal a Si egykristály pn homoátmenet rendelkezik, amely a félvezetőgyártás alapjaiból nőtt ki. A Si fotovillamos elem elméleti hatásfoka 22%, és kísérleti szinten eddig 16%-os elemet realizáltak. Si napelemekből ipari méretű gyártás is folyik. Napjainkban átlagosan 10%-os átalakítási hatásfokú, földi felhasználásra készült

Si napelemek kW-kénti ára az USA-ban és Japánban 10—20 000 \$, míg Európában ennek kb. a duplája. A magas ár elsősorban a Si egykristály költséges gyártásából és feldolgozásából adódik. Szerte a világon nagy erőfeszítéseket fordítanak az egykristálygyártás és -feldolgozás olcsóbbá tételére.

Komoly eredményeket értek el megfelelő vastagságú szalag formájú, Si egykristály folyamatos húzása terén, amely a gyártási technológiát is folyamatossá és így olcsóbbá teheti. Nagyméretű tömeggyártás beindításával és az olcsóbb Si egykristálygyártási technológia bevezetésével 1985-re a Si napelemek kW-kénti árát kb. 500 \$-ra becsülik. Ennél az árnál már számításba jöhet a fotovillamos elem gazdaságos földi erőművi alkalmazása is.

A másik jól kifejlesztett fotovillamos elem a CdS/Cu₂S polikristályos heteroátmenet. Az elem elméleti hatásfoka 16%, míg az eddig realizált legjobb hatásfok 8...9% között van. Ez az eszköz a kisebb hatásfoka ellenére is azért vonzó, mert a Si-hoz képest lényegesen olcsóbb az anyag költsége és az előállítási technológiája is. Nyugatnémet becslések szerint, sorozatgyártást feltételezve, 5...6% átlagos átalakítási hatásfokkal, ezeknek az elemeknek a kW-kénti ára kb. 400 \$ lesz, míg USA adatok szerint csak 60 \$. Ipari gyártás még nincs ebből az eszközből, de Franciaországban már úrszondát lőttek fel CsS napelemből felépített villamos tápegységgel.

Viszonylag nagy átalakítási hatásfoka miatt külön figyelmet érdemel még a Ga_{1-x}Al_xAs—pGaAs—n GaAs egykristályos heteroszerkezetű fotovillamos elem. Elméleti hatásfoka 26%, laboratóriumi elemekkel 19...20% értékeket is elértek már. A nagy hatásfokon kívül másik előnye, hogy ez az eszköz a Si napelemnél lényegesen magasabb üzem hőmérsékleten is működhet, így koncentrátoros felhasználásra nagyon megfelelő. A hátránya, hogy a GaAs egykristály ára (kb. 3000 \$/kg) jelenleg több, mint egy nagyságrenddel nagyobb a szilíciuménál.

A fotovillamos cellák egy különleges típusa a félvezető — elektrolit — fém szerkezet, amelyet tulajdonképpen egy olyan félvezető—fém átmenetnek tekinthetünk, amely egy elektrolittal meg van szakítva. A cella a napfény energiáját a víz elektrolízisére használja fel, tehát az energiát H₂ formájában kapjuk és tárolhatjuk. A cellák hatásfoka 6%-ot is elérte széles sávú látható fény spektrumot használva a méréshez (a teljes napspektrumra vonatkoztatva nincsenek adataink). A cella legnagyobb problémája a félvezető elektródák instabilitása. Ahhoz, hogy ez a rendszer hatékony napenergia-átalakító cellává váljon új, megfelelő elektródanyagokat kell találni.

Biológiai átalakítás

A napfényt felhasználhatjuk szerves anyagok termelésére a növényekben, a klorofilben végbemenő fotoszintézisen keresztül. A szerves anyagokat pedig a második lépcsőben biológiai vagy kémiai folyamatok segítségével könnyen hozzáférhető hasznos energiahordozóvá (olaj, metán stb.) alakíthatjuk át. Az átalakítás hatásfokát alapvetően a fotoszintézis folyamatának hatásfoka korlátozza, kb. 15%-ra, azonban további veszteséget jelent még a gázcsere, a fény visszaverődése, a terület nem 100%-os fedése, a túl kis fényintenzitás, a nem optimális hőmérséklet, a fölös víz, a tápanyagok hiánya, betegségek, rovarok stb. Ezekkel a tényezőkkel számolva a fenti értéknél sokkal kisebb átalakítási hatásfok adódik.

Van néhány baktériumtörzs, amely napfény hatására a vizet különleges oldatban hidrogénre és oxigénre bontja. A folyamat hatásfoka azonban igen csekély. A napenergia biokonverziója elsősorban a földterületek egyébként használhatatlan területein mocsaras, lápos vidékeken lehet gazdaságos, de még kiterjedt kutatómunkára van szükség ezen a területen is.

Vegyvi reakciók fény hatására

Vannak olyan vegyi reakciók, amelyek fényenergia hatására jönnek létre és az elektromágneses energiát nagy hatásfokkal alakítják át kémiai energiává (pl. Mark-kör-folyamatok). A jelenlegi ismereteink alapján hasznosításuk terén a közeljövőben nem számíthatunk komoly eredményre.

2.2 Közvetett energiaátalakítás A szélenergia átalakítása

A szélenergia a napenergia származéka, átlagos teljesítménye a földön megközelíti a 10^{12} kW-os értéket. Ebből a természeti egyensúly megbontása nélkül kb. 10^{10} kW hasznosítható, az átalakítási és tárolási veszteségeket is figyelembe véve. A szélenergiát szélkerekek segítségével alakíthatjuk át forgó mozgássá, amely vagy közvetlenül felhasználható, vagy tovább alakítható más hasznos energiává. Mivel a szél hasznosítható energiája a sebességének harmadik hatványával arányos, nagyon gondosan kell megválasztani a szélkerekek telepítési helyeit. A szélkerekek gazdaságos üzemeltetéséhez átlagosan 4...10 m/s sebességű szélre van szükség.

A szélkerekek által szolgáltatott energia kW egyenértékének ára USA tervadatok szerint 4,5 m/s átlagos szélesebesség mellett 1,7...2,7 cent lenne és ez az érték 12 m/s szélesebességnél 0,2...0,3 centre csökkenne. Ezek az értékek nagyon ígéretesnek tűnnek és további kutatásokra ösztönzik az államokat.

Az óceánok energiájának hasznosítása

Az áramlások energiája

Az óceánokban óriási energiával rendelkező állandó áramlások (pl. Golf-áramlás) energiáját turbinák segítségével alakíthatjuk villamos árammá. Az átalakításhoz szükséges sebességek (1,5 m/s) azonban meglehetősen ritkák. A másik fő probléma, hogy az áramlások kinetikai energiájának kivonásával a természeti egyensúly megbomlása várható. A fenti okok miatt az energiaátalakítás ezen módjának széles körű alkalmazásának nincs perspektívája.

A hőgradiens hasznosítása

Az óceánok felső meleg és hidegebb alsó rétegei közötti hőmérséklet-különbséget energiatermelésre lehet használni. Az óceán meleg rétegének hőenergiájával a zárt rendszerben levő alacsony forráspontú anyagot (ammónia, propán, freon) elpárologtatjuk és meghajtottunk vele egy gázturbinát, amely villamos áramot termel. A turbináról lejövő munkagázt aztán az óceán hidegebb rétegeiből felszivattyúzott víz segítségével egy hőcserélőben kondenzáljuk. Egy ilyen rendszer hozzávetőleges beruházási költsége kb. 160 \$ kW-ként, a villamos energia partraszállítási költségei nélkül. Mivel ez a rendszer folyamatosan termelhet energiát, tárolási problémák nincsenek.

A sókoncentráció-különbség hasznosítása

Az ozmózis-hatás útján energiát nyerhetünk az óceánok természetes sókoncentráció eltéréseiből, vagy a folyók és tengerek sókoncentráció különbségéből is. Az eljárásnak egyelőre számos gyakorlati korlátja van, közeli eredmények nem várhatók.

A sarki jég hasznosítása

A sarki jég egyik hasznosítási lehetősége pl. az, hogy a jéghegyeket trópusi vidékekre vontatjuk és egy energiatermelő folyamatban hideg hőelnyelőként használjuk fel. Az így megolvadt jég értékes ivóvizet szolgáltathat. Ezzel az utóbbi módszerrel egyre nagyobb intenzitással foglalkoznak napjainkban, különösen az ivóvízszegény területeken.

3. A napenergia átalakításából származó energiatípusok tárolási lehetőségei

Az előző fejezetben láttuk, hogy a napenergia primér átalakítása különböző energiatípusokat, ill. energiahordozókat eredményez, köztük hő-, villamos-, mechanikai, kémiai energiát, H_2 -t, olajat, metánt. Mivel a napenergia nem folyamatos, a nap-éj ciklusok, esetleg rövidebb kedvezőtlen időjárási periódusok áthidalására gondoskodni kell a fenti energiatípusok tárolásáról.

Ha a napkollektor közvetítő közege a víz, legegyszerűbb a víz hőkapacitását felhasználni a tárolásra. A víznek van az egyik legnagyobb térfogategységre eső hőkapacitása, de a tárolásához nagyméretű drága tartályokra van szükség. Ha a napkollektor közvetítő közege levegő, a hőenergia tárolására kavicsal töltött tartályokat is használhatunk. A kavics hőkapacitása kisebb mint a vízé, de a sűrűsége nagyobb. Végeredményben 1 m^3 kavics kb. 300 kcal hőenergiát, míg 1 m^3 víz 1000 kcal energiát tárol $^\circ\text{C}$ -ként. Speciális esetekben a fémek hőkapacitását is fel lehet használni a hőenergia tárolására, de a tárolási költségek nagyobbak mint víz vagy kavics esetében. A hőenergia tárolásának egy másik lehetősége az anyagok fizikai változásában és kémiai reakciójában rejlik, amelyek kihasználásával sokkal nagyobb energia tárolható térfogategységenként. Ezért az ilyen rendszereknél a hő-tároló tartályok mérete sokkal kisebb lehet. Meg kell még említeni a hőenergia tárolásával kapcsolatban a természetes és mesterséges sekély tavakat is, amelyek alján fekete abszorbeáló réteget képeznek ki (pl. sóoldattal). A fekete réteg napkollektorként, a fölötté levő sekély vízréteg pedig tárolóként szerepel.

A villamos energia tárolása akkumulátorok segítségével általánosan alkalmazott eljárás. A legjobban elterjedt típusa a savas ólomakkumulátor, amelynek a működése és problémái közismertek.

A mechanikai energia tárolásának egyik legegyszerűbb módja vizet felpumpálni egy magasan levő tartályba, vagy egyéb tárolóba. További mechanikai energiatárolási lehetőségek pl. súly felemelése, rugó felcsavarása (óra), levegő komprimálása erős fémtartályokban, vagy egy kis súrlódású lendítőkerék megforgatása. Ezek az utóbbi módszerek hasznosak lehetnek speciális esetekben, de alkalmatlanok nagymennyiségű energia tárolására.

Az olaj és a metán tárolási problémáiról, valamint hasznosításukról nem kívánunk itt beszélni, mivel a lehetőségek közismertek. Azonban nagyobb figyelmet kell szentelnünk a hidrogénnek, amely nagyon ígéretesnek tűnik a naptól nyert energia tárolására, olyannyira, hogy más energiatípusokat is célszerű a víz elektrolízisének révén H_2 formájában átalakítani és tárolni.

A hidrogént tárolhatjuk nagyméretű, zárt tartályokban, sőt barlangokban vagy elhagyatott bányákban is. A tartályokban tárolhatjuk atmoszferikus, vagy nagyobb nyomáson, ill. cseppfolyósított formában is. Tárolásra használhatunk a hidrogénnel szemben nagy abszorpciós tulajdonságokkal rendelkező fémes anyagokat is például palládiumot, vagy fémes urániumot. A hidrogén formájában tárolt energia kinyerésére számos lehetőség kínálkozik. Használhatjuk a hidrogént belső égésű motorok

üzemanyagaként, tüzelőanyagként bojlerrek, kazánok fűtésére, de túlhevített gőzt kaphatunk kazánok nélkül is — turbinák számára — a hidrogén levegőn történő közvetlen elégetésével. A hidrogén felhasználásával az ún. tüzelőanyag-cellákban közvetlenül villamos energia állítható elő.

4. A napenergia hasznosítása Magyarországon

Áttekintettük a Földre érkező napsugárzási energia átalakítási és tárolási lehetőségeit. Az egyes lehetőségek hazai alkalmazhatóságát alapvetően befolyásolja Magyarország földrajzi helyzete és meteorológiai adottságai. Hazánk földrajzi helyzete eleve kizárja az óceánokkal kapcsolatos energiahasznosítási lehetőségeket és a meteorológiai adottságok is bizonyos korlátokat jelentenek.

4.1 Hazánk meteorológiai adottságai

Magyarországon a napsugárzás energiasűrűségének éves átlaga kb. 1240 kWh/m². Területi eloszlásban maximális érték Kecskemét környékén (1340 kWh/m²), minimális érték Sopron környékén (1160 kWh/m²) mérhető. A magyarországi napsugárzási feltételek egy fontos jellemzője, hogy a direkt sugárzás aránya kicsi, ezért csak rossz hatásokkal koncentrálható. A napsugárzás átlagos havi eloszlása viszonylag nagy eltéréseket mutat. Kb. 100 kWh/m² havi átlag a téli hónapokban 20...30 kWh/m² értékre csökken, míg nyári hónapokban 170...180 kWh/m²-t is eléri.

A sugárzási adatok nemzetközi összehasonlításából megállapítható, hogy hazánk közepesen napsütött országok közé sorolható. A Föld legjobban napsütötte területein, Észak-Afrikában, Ausztráliában és az USA egyes részein, 2000 kWh/m² feletti éves sugárzási energiák is mérhetők. E területek további előnye a direkt sugárzás arányának magas értéke és a havi eloszlásnál tapasztalható kisebb eltérések.

4.2 A napenergia komplex hasznosításának hazai perspektívái

Annak ellenére, hogy Magyarország napenergiával közepesen ellátott ország, ez az energiamennyiség igen jelentős. Az évente hazánk területére érkező napsugárzási energia nagyságát jól érzékelteti, hogy Magyarország össz. energiafelhasználása 1980-ban, tervadatok alapján, kb. 100 000 GWh és ez az energiamennyiség átlagos napsugárzást, 10%-os átalakítási hatásfokot és hosszúidejű (éves) energiatárolást feltételezve hazánk területének 1 %-áról biztosítható lenne.

Napjainkban Magyarországon a napsugárzás energetikai alkalmazása nem számottevő. A napenergia komplex hasznosításának előfeltétele a céltudatos kutató-fejlesztő munka. A napenergia felhasználására irányuló hazai kutatási-fejlesztési munkáknál elsődlegesen azon átalakítási módszerek fejlesztése célszerű, melyek eredményei itthon is alkalmazhatók. E megfontolások alapján — a földrajzi és éghajlati viszonyokat figyelembevéve — a lehetséges fejlesztési területek, amelyek egyúttal fontossági sorrendet is jelentenek a következők:

- alacsony (közepes) hőmérsékletű fototermikus átalakítás
- fotovillamos átalakítás
- szélenergia-hasznosítás
- biológiai átalakítás.

A hőhasznosítási módszerek közül a magas hőmérsékletű, napenergia koncentrációt igénylő rendszerek fejlesztése, az alacsony direkt napsugárzási arány miatt

hazánkban nem célszerű. Az alacsony hőmérsékleten ($< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) működő, — épületek fűtésére és melegvíz-ellátására alkalmas — berendezések azonban már a közeljövőben gazdaságosan alkalmazhatók lehetnek.

A fotovillamos átalakítók (napelemek) gazdaságos alkalmazása energiatermelésre, erőművi szinten — külföldi trendek szerint — csak az 1990-es évek után várható. Azonban hazánkban már napjainkban is rendelkezésre állnak napelemek és napelemes tápegységek, melyek speciális területeken (hálózati villamos energiával ellátatlan, kihelyezett állomások) üzemelnek.

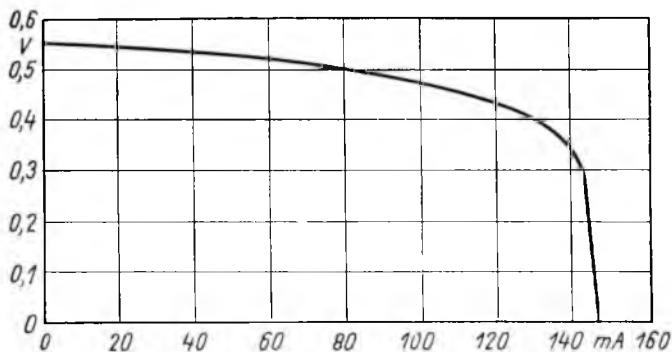
A szélenergia hasznosítására folyamatosan történnek helyi kezdeményezések, ezek azonban eddig nem vezettek széles körű elterjedéshez. Alapprobléma, hogy a szélenergia csak egy bizonyos szélesség felett hasznosítható gazdaságosan. Hazai körülmények között eddig még nem történt átfogó felmérés a szélviszonyok feltérképezésére energiaátalakítás szemszögéből. Pro és kontra érvek hangzanak el, azonban ezek általában csak hipotéziseken alapulnak. A további lépés előfeltétele lenne az alapkérdések tisztázása.

A biológiai átalakítás talán Magyarországon a legkevésbé kutatott energiaátalakítási terület. Bár hazánk gazdasági struktúrájában a mezőgazdaság igen jelentős szerepet tölt be, ennek ellenére a növénykultúrák energiaátalakítás szemszögéből történő vizsgálata nem keltette fel az érdeklődést.

A napenergia komplex hasznosítására irányuló kutatási-fejlesztési munkák hatékony vitele — figyelembe véve a téma volumenét — csak KGST integráció keretében történhet. E téren a kezdeti lépések megtörténtek, az egyes tématerületek és feladatok behatárolása jelen időszakban folyik. A téma távlati, perspektív jellege miatt a fejlesztési munkák központi koordinálást és finanszírozást igényelnek.

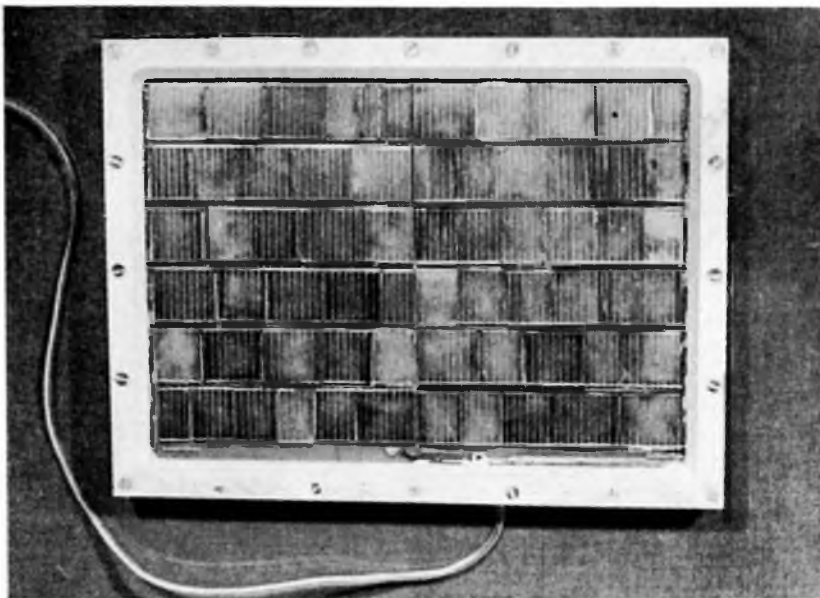
4.3 Hazai kutatási-fejlesztési eredmények

Hazánkban a Villamosipari Kutató Intézet (VKI) 1970 óta foglalkozik a napenergia-hasznosítási kérdésekkel. Az Intézet jellegéből adódóan elsősorban a fotovillamos és termovillamos átalakítók fejlesztése volt a fő tématerület. Kifejlesztésre került a szilícium alapú napelemek előállítási technológiája, amelynek segítségével a jelenlegi nemzetközi szintnek megfelelő kb. 10% átalakítási hatásfokú napelemek kisorsozatú gyártása folyik. A technológiai bázisán termékcsalád került kifejlesztésre, mely elemek variációival tetszőleges áram-feszültség karakterisztikájú és méretű napelemes egységek állíthatók elő.

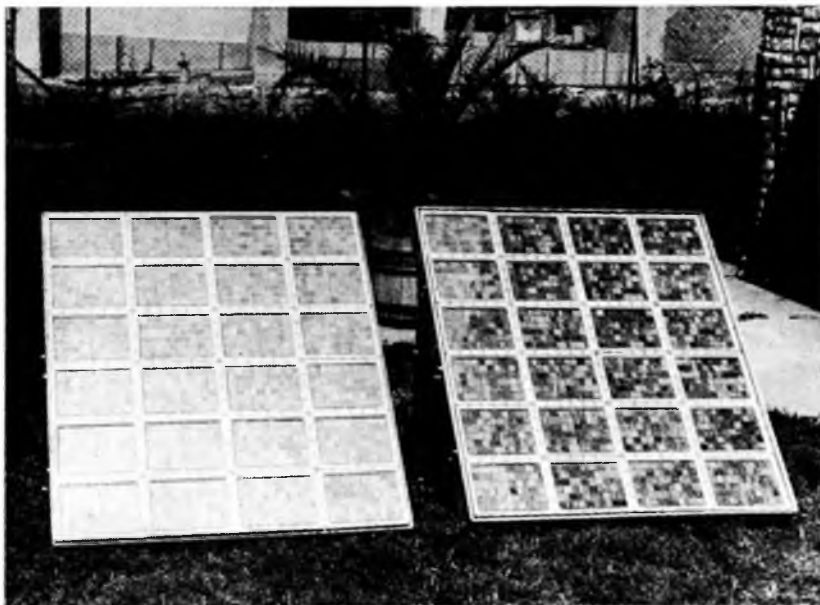


13-4. ábra. Standard napelem karakterisztika

A 13-4. ábrán bemutatunk egy SPH 206 típusú standard napelem karakterisztikáját.
A 13-5. ábrán egyedi cellákból összeállított SPH 244. típusú modul egység látható.
A 13-6. ábrán bemutatunk 2 db autonóm áramforrás céljára a VKI-ben kifejlesztett 1 m²-es panelt.



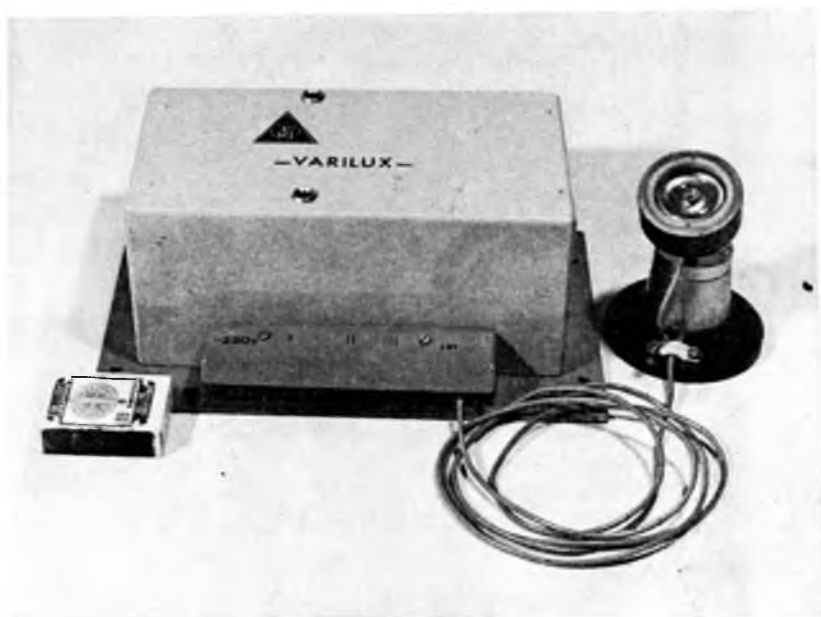
13-5. ábra. Napelemes modul egység



13-6. ábra. Napelemes áramforrások



13-7. ábra. Tetőre szerelt napelemes egység



13-8. ábra. Fényszabályozó berendezés

A 13-7. ábrán egy telekommunikációs berendezés áramforrása céljára kifejlesztett 200 W névleges teljesítményű szilícium napelemekből épített, tetőre szerelt egység képe látható.

A 13-8. ábrán bemutatott automata fényszabályozó berendezés (VARILUX) érzékelő eleme szilícium napelem.

A fajlagos fotovillamos átalakítási költségek csökkentésére ötvenszeres koncentrált fényt teljesítmény mellett üzemeltethető szilícium napelemek kísérleti példányai készültek el. Ugyancsak költségcsökkentési céllal elkezdődtek és jelenleg is folynak a kadmiumszulfid (CdS) napelemek fejlesztési munkái. A technológia-fejlesztési munkák mellett a VKI egy kísérleti napelemgyártó laboratóriumot szállított Mongóliába, melynek felszerelése folyamatban van.

A termovillamos átalakítók fejlesztése során germánium-szilícium (GeSi) elemekkel különböző teljesítményű, modul rendszerben felépített generátor egységek készültek 50..500 W névleges teljesítmény tartományban. Az újabb fejlesztési munkák ólomtellurid (PbTe) alapú elemek létrehozására irányulnak.

Ezek a röviden felsorolt fejlesztési eredmények a fotovillamos, ill. termovillamos átalakítás területén ma még a nemzetközi szintet jelentik. A világszerte egyre növekvő kutatási ráfordítások egyre gyorsuló fejlődést eredményeznek és ezen eredmények hazai alkalmazása KGST munkában való aktív részvétel mellett nagyobb anyagi támogatást feltételez.

Bemutattuk, hogy a napenergiával fűteni, hűteni, sósvízből ivóvizet és villamosenergiát lehet többek között nyerni. A probléma az, hogy az átalakítást minél olcsóbban végezzük el, és hogy a jelenlegi energiaátalakítási módszerekkel versenyképes legyen. A verseny elég nehéz feltételeket szab a sugárzási intenzitás viszonylag alacsony értéke, valamint az energiaáramlás megszakítása (éjszaka, felhős idő) miatt. Valamennyien, akik ezzel a témával foglalkozunk azonban hisszük, hogy az intenzív céltudatos munka egyre szélesíti azokat a területeket, ahol holnap, ill. holnapután a napenergia felhasználható.

14.

Új hengeres és általános pórusmodell nagyteljesítményű kémiai áramforrások elektródjainak tervezéséhez

HORVÁTH PÁL—DR. LUKÁCS JÓZSEF

ÖSSZEFOGLALÁS

A kémiai áramforrás pórusos elektródjainak geometriai és aktivitási tulajdonságai az áramforrás súlyra vonatkozó fajlagos teljesítménye (kW/kg) és energiatároló képességére (kWh/kg) nézve döntő jelentőségűek.

Rövid irodalmi áttekintés után a szerzők bemutatják hengeres és általános pórusmodelljüket. A hengeres pórusmodell lokális áramsűrűségét szokásos módon a lineáris $j = k\eta = k\eta_0 \exp\left(-\frac{x}{L}\right)$ egyenlettel jellemzik. Az ebben szereplő $L_{\text{henger}}^2 = \frac{\pi r}{2k}$ „karakterisztikus elektrokémiai hosszúság” az elektrolit helyi vezetőképességét, a pórusugarat és az elektródfal helyi aktivitását tudja figyelembe venni, az áramsűrűség, ill. teljesítmény szempontjából.

Általános geometriájú (nem irányított hengerekből álló) pórusos elektródnál bevezetik az r_{d1} fajlagos diafragmaellenállást, ill. f_0 fajlagos felületet és ezzel

$$L_{\text{ált. geom.}}^2 = \frac{1}{r_{d1} f_0 k}$$

Ezekből általános geometriájú pórusos elektródra levezethető az „effektív” pórus-sugár.

A cikket az elmélet alapján számolt elektródtervezési példák zárják.

НОВЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ И ОБЩИЕ МОДЕЛИ ПОРА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОДОВ МОЩНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

П. Хорват—Д-р. Й. Лукач

Резюме

Геометрические свойства и свойства активности пористых электродов химических источников тока имеют решающее значение с точки зрения удельной мощности (кВт/кг) и удельной емкости (кВтч/кг).

После краткого литературного обзора излагаются цилиндрический и общий модели пора. Локальная плотность тока характеризуется традиционным образом с помощью линейного уравнения $j = k\eta = k\eta_0 \exp\left(-\frac{x}{L}\right)$. В этом выражении

«характеристическая электрохимическая длина» $L_{\text{цпл.}}^2 = \frac{\pi r}{2k}$, с точки зрения плотности тока и мощности может учитывать местную проводимость электролита, радиус пора и местную активность стенки электрода.

Для пористого электрода с общей геометрией (состоящегося из ненаправленных цилиндров) введены r_{di} — удельное сопротивление диафрагмы и f_0 — удельная поверхность, таким образом:

$$L_{\text{общ. геом.}}^2 = \frac{1}{r_{di} f_0 k}.$$

Для случая пористого электрода с общей геометрией из этих выражений можно определить «эффективный» радиус пора. В заключении статьи иллюстрируются примеры проектирования электрода на основе изложенной теории

NEUES ZYLINDRISCHES UND ALLGEMEINES PORENMODELL ZUM ENTWURF DER ELEKTRODEN VON ELEKTROCHEMISCHEN HOCHLEISTUNGS-STROMQUELLEN

P. Horváth—Dr. J. Lukács

Zusammenfassung

Die geometrischen und Aktivitätseigenschaften der porösen Elektroden der chemischen Stromquellen sind für die sich auf das Gewicht beziehende spezifische Leistung und die energiespeichernde Fähigkeit der Stromquelle von ausschlaggebender Bedeutung.

Nach einem kurzen literarischen Überblick stellen die Hersteller ihr zylindrisches und allgemeines Porenmodell vor. Die lokale Stromdichte des zylindrischen Porenmodells wird wie üblich durch die Gleichung $j = k\eta = k\eta_0 \exp\left(\frac{x}{L}\right)$ charakterisiert.

Die in dieser Gleichung findbare $L_{\text{Zylinder}}^2 = \frac{xr}{2k}$ „Charakteristische Elektrochemie-Länge“ kann die örtliche Leitfähigkeit des Elektrolyts, den Porenradius und die örtliche Aktivität der Elektrodenwand in Betracht ziehen, in Anbetracht der Stromdichte bzw. der Leistung.

Bei porösen, aus nicht-gerichteten Zylindern bestehenden Elektroden allgemeiner Geometrie wird der spezifische Diaphragma—Widerstand r_{di} bzw. die spezifische Oberfläche eingeleitet und dadurch

$$L_{\text{allg. geom.}}^2 = \frac{1}{r_{di} f_0 k}.$$

Aus der oben erwähnten Gleichung kann der „effektive“ Porenradius auf die poröse Elektrode allgemeiner Geometrie abgeleitet werden.

Der Aufsatz wird durch die auf Grund der Theorie gezeigten elektrodenentwerfenden Beispiele beendet.

NEW CYLINDRICAL AND GENERAL POROUS MODEL FOR DESIGNING THE ELECTRODES OF HEAVY-DUTY ELECTROCHEMICAL POWER SOURCES

By P. Horváth—Dr. J. Lukács

Summary

Geometrical and activity properties of the porous electrodes in the electrochemical power sources are of decisive importance for the specific output regarding the weight and for the power storage capacity of the electrochemical power sources (kW/kg and kWh/kg values!).

After a brief literary survey the authors show their cylindrical and general porous model. The local current density of the cylindrical porous model is characterized as usual by the linear equation $\left[j = k\eta = k\eta_0 \exp\left(\frac{x}{L}\right) \right]$.

The $L_{\text{cylinder}}^{\#} = \frac{\alpha r}{2k}$ in this equation "the characteristic electrochemical path" can take into consideration the local conductivity of the electrolyte, the porous radius and the activity of the electrode wall concerning the current density and the output.

At the porous electrode of general geometry (consisting of non-directed cylinders) the specific diaphragm resistance r_{di} and the specific surface f_0 are introduced and so

$$L_{\text{gen geom.}}^2 = \frac{1}{r_{\text{di}} f_0 k}$$

The "effective" porous radius can be deduced from the above-mentioned equation for the porous electrode of general geometry.

The paper is closed by electrode-designing examples, calculated on the basis of this theory.

Bevezetés

Közhasználatú szárazelemeink, de ugyanígy autóakkumulátoraink is állandó üzemben 1...5 mA/cm² áramsűrűséget és nyersen 1...10 mW/cm² fajlagos teljesítményt adnak. Korszerű mobil elektrokémiai áramforrásoktól 100...500 mA/cm² áramsűrűséget és 100...800 mW/cm² fajlagos teljesítményt kívánunk meg.

Nagyteljesítményű elektrokémiai áramforrások műszaki alapproblémája olyan — általában pórusos — elektródok kialakítása, amelyek nagy fajlagos villamos teljesítményt, elektródstabilitást, jó elektrokémiai hatásfokot biztosítanak. Mindezekhez csatlakozik mint gazdasági követelmény a reális előállítási ár.

A kérdést a következők szerint tárgyaljuk:

- az első pontban a probléma vázlatát adjuk.
- A második pontban bemutatjuk az irodalomban eddig dokumentált munkát.
- A harmadik pontban hengeres pórusmodellünket ismertetjük.
- A negyedik pontban a modellt általános geometriájú pórusos modellé bővítjük.
- Az ötödik pontban a modellek alapján történő számítást, ill. méretezést mutatjuk be.

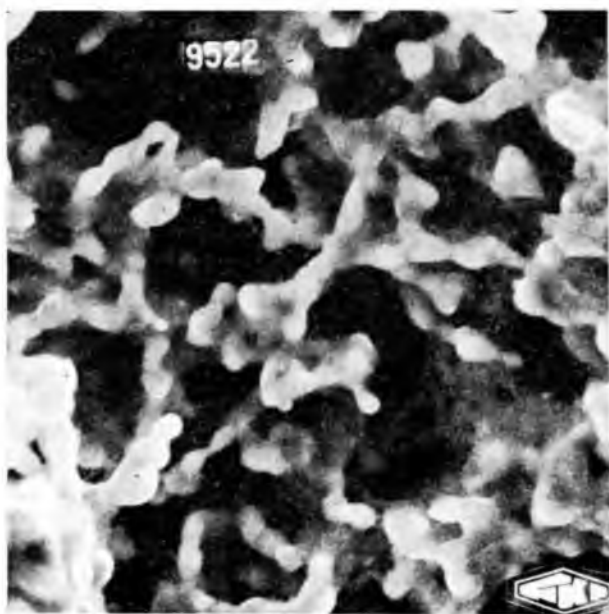
1. A probléma vázlata

A különböző kémiai áramforrásokban az áramtermelő elektródfolyamatok az ionvezető elektrolit és az elektródok határfelületén mennek végbe. Az energiaátalakítást az itt felépülő kettősrétegek potenciálja és a töltéstranszport biztosítja. Ugyanakkor a kettősréteg potenciáltere kedvező feltételeket biztosít az energetikailag vagy kinetikailag általában gátolt elemi elektródfolyamatok létrejöttéhez is. Az elektród—elektrolit határfelületeken végbemenő töltésátlépési folyamatok sebességének mérőszáma a felületegységre vonatkoztatott áramerősség. A működő elektródon választható folyamatsebesség értékét a terheletlen kettősréteget kialakító dinamikus egyensúly határozza meg. A dinamikus egyensúly jellemzője a csereáramsűrűség, amely a különböző elektródfolyamatokra 10⁻¹⁰ A/cm² értéktől 10⁻³ A/cm² értékig terjed.

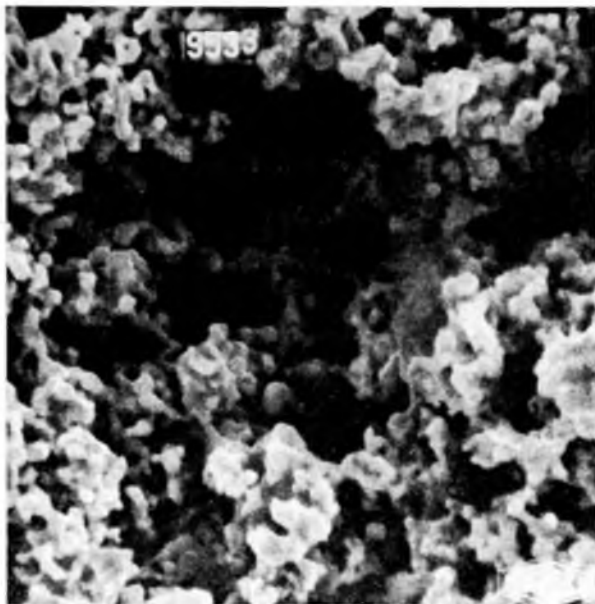
A kettősréteg potenciáltere a csereáramsűrűséggel azonos nagyságrendű áramsűrűség esetén már összeomlik. Kielégítő teljesítménysűrűség biztosítására egyetlen lehetőségként az elektród tényleges felületének (a kettősréteg felületének) növelése ígérkezik.

Az elektród felületét többféle módon növelhetjük. Vékony fóliából kiindulva sokat egymásba fűzünk, esetleg ezeket még apró fülek formájában behasítjuk. Annak ellenére, hogy a felületnövelésnek ez a módja egyes ólomakkumulátoroknál még ma is használatos, könnyen beláthatjuk, hogy hatékony felületnövelést úgy lehet elérni, ha az elektródot apró szemcsékből építjük fel. Azonos kiindulási súlymennyiség esetén a kapott felület a szemcsék méretével fordítva arányos. A jelenlegi technológiai módszereket figyelembe véve, az elérhető felület egyes anyagokra néhány száz négyzetméter 1 g anyagra vonatkoztatva. Az ilyen atomi méretű aprítás azonban a legtöbb esetben egyszerűen felesleges a szekunder folyamatok miatt. Az elektród anyaga minden esetben (még katalizátorok esetében is) valamilyen mértékben részt vesz az elektródfolyamatban, miközben a szemcsék folyamatosan szinterelődnek és így folyamatosan csökken felületük. Az energetikailag instabilabb, kisebb szemcsék fokozatosan nagyobbakba épülnek be; hasonlóan ahhoz, ahogy a friss, laza hótakartól lassan durva, kemény jégkéreg vonja be.

Ez a jelenség a hagyományos áramforrás-típusoknál könnyen érthető, mivel az elektród anyaga működés közben kémiailag is átalakul. Ez a folyamat azonban tüzelőanyag-elem elektródjainak esetében is megfigyelhető, amint ezt jól szemléltetik a 14-1. és a 14-2. ábrán látható elektronmikroszkópos felvételek. Az egyik képen 3000-szeres nagyításban pár órát üzemeltetett oxigénelektrod elektronmikroszkópos felvétele látható. A kb. 3600 h üzem után készült felvételen jól megfigyelhető nagyobb agglomerátumok képződése, miközben a kezdeti, finom porozitású, egyenletes struktúra megszűnik.



14-1. ábra. Új oxigénelektrod aktív felületének elektronmikroszkópos felvétele 3000-szeres nagyításban



14-2. ábra. A 14-1. ábrán bemutatott elektród 3600 h-s 50 mA, cm² áramerősséggel történt terhelés (működés) után

A mikrostruktúrának döntő szerepe van az elektród elektrokémiai viselkedésében. A kezdetben egyedi szemcsékből kialakított pórusos, szivacsos elektródszerkezet belseje különböző méretű és alakú apró üregek, barlangok bejárati nyílásain keresztül „közlekedik” az elektrolit felé. A meghatározó jelleg minőségileg könnyen érthetővé válik, ha meggondoljuk, hogy az elektrokémiai folyamatok villamos tér hatására bekövetkező, anyagtranszporttal egybekötött, töltésátlépési folyamatok. Az anyagtranszportot is, valamint a töltésátlépést is elősegítő villamos tér csak gyengitően hatol be a pórusos szerkezetbe, ugyanakkor a szerkezet belsejébe kényszerített elektrokémiai folyamatot a reakciópartnerek, ill. a reakcióvégtérmékek jelenléte és ezek diffúziója is korlátozza.

A diffúziós gátlások rövid- és hosszútávú szállítási folyamatoknál egyaránt éreztetik hatásukat. Az ólomakkumulátorokban pl. az elektródfolyamat során elhasználódó vagy felszabaduló szulfátionoknak az elektrolit felé ki kell egyenlítődniük, ugyanígy tüzelőanyag elemekben a levegő elektródokban a gáztérből az oxigénmolekuláknak az elektród pórusait kitöltő ballasztként szereplő nitrogénatmoszférán keresztül az elektrokémiai reakcióövezetbe kell jutniuk; ezek hosszútávú folyamatok. Ugyanakkor az előző példánál maradván az ólomakkumulátor negatív elektródján a Pb|PbSO₄ elektródfolyamat során a PbSO₄ közvetlenül azon ólomfelület-elem előtt képződik, amelyről a Pb²⁺ ionok diffundálnak az elektrolitba és oldási egyensúlyi, s egyéb termodinamikai okok [6] miatt egyidejűleg ki is kristályosodnak. Így az ólomszemcsék felületén (a kisütési áramsűrűségtől függő mértékben) PbSO₄ kristályok „kaktuszfa”-szerű vastag rétege képződik, amely gátolja a Pb²⁺ ionok diffúzióját. A rövidtávú diffúzióra példa az oxigén elektródban a katalizátor felületét fedő vékony elektródfilm keresztül végbemenő oxigéndiffúzió. Ennek korlátolt jellege miatt az elektrokémiai folyamat jelentősebb áramsűrűségek esetén [2] a gázpórusok bemeneti környezetére korlátozódik.

2. A problémakörben eddig végzett elméleti és kísérleti munkák

A pórusos elektródokat néhány évtizede az elektrokémiai iparban széles körben alkalmazzák, mivel a pórusos elektród az elektrolittal nagy fázishatárfelületet képez, a sima lemezelektrodához képest jelentősen csökkenti az elektród—elektrolit határfelületen a túlfeszültséget, az áramtermelés gátlását. A sima elektródokon mért elektrokémiai törvényszerűségek alkalmazása a pórusos, önálló struktúrával rendelkező elektródok elektrokémiai tulajdonságainak jellemzésére nehézségekbe ütközik, ugyanis az elektrolit a pórusos elektród nagy belső felületén, az elektród elektrolittér felé nyitott pórusaiban megtapad, így éppen azok a transzportjelenségek válnak a pórusos elektródok működése során meghatározóvá, amelyeknek hatását a sima elektródokon az elektrolit mesterséges áramoltatása [3] vagy természetes konvekciója jó hatással megszünteti. A pórusos elektródok matematikailag kezelhető és az elektródok működését jól leíró modelljeinek kidolgozása különösen az 50-es évek közepétől — a tüzelőanyag-elemek technológiájának fejlődésével — fokozott mértékben sikerült. A vizsgálatok kiterjednek mind az elektródok szerkezetének tárgyalására, mind a szállítási folyamatok vizsgálatára az önálló struktúrával rendelkező elektród-szerkezetben.

A napjainkig végbemenő fejlődés a következő kutatók vizsgálataihoz kapcsolódik: Kszenzsek és a moszkvai Frumkin akadémikus teremtette iskola [4] eredményei alapján számos elméleti és gyakorlati kérdés tisztázódott a pórusos testekre alkalmazható statisztikusan érvényes homogén, ún. kontinuum-közelítés keretei közt éppúgy, mint pl. Psenyicsnyikov által [5] a reális struktúrára vonatkozó jellemző paraméterek figyelembevételével felépített modell esetében a pórus falára korlátozódó folyamat kinetikai-, és a struktúrába mélyen kiterjedő diffúziós folyamatok érvényességi tartományában egyaránt. Markin [6] és Micka [7] a statisztikus modell érvényességi feltételeit elemezve jutott alapvető és fontos elméleti következtetésekre. Számos fontos részletkérdés megoldásával a teljesség igénye nélkül Stein [8], Euler [9], Winsel [10], Lindholm [11], Tobias [12], Newman [13], Lindström [14] járultak hozzá az egyre inkább kiteljesedő ismereteink technológiai eredményeket is biztosító fejlődéséhez.

A pórusos testekben végbemenő elektrokémiai folyamatokra vonatkozó valamennyi ismert vizsgálati módszer az egyszerű lineáris közelítés keretein belül érvényes modelleken alapul. Az egyik karakterisztikus elképzelés teljesen figyelmen kívül hagyja a pórusok alakját és a pórusos test üres, nyílt pórusokkal rendelkező hányadát, a porozitást összefüggő képződményként — mintegy kontinuumként — képzelel el, amely az állandó keresztmetszetű elektródon a felületre merőlegesen vonul végig. A másik ideális strukturális kép szerint ideális pórusos testet tételeznek fel, amely szerint a test porozitását ideális körhengeres pórusok képezik, amelyek az egyszerűsített modellben az elektród felületére merőlegesen futnak végig az elektródon és a hengerek sugarait valamilyen ismert eloszlási függvény határozza meg. A két szemléleten alapuló modell kevésbé különböző eredményeket ad konkrét alkalmazások esetében.

A jelenlegi, különböző célokra használatos pórusos elektródok általában a következők szerint jellemezhetők: A pórusos test a többé-kevésbé gömb alakú részecskék szinterelődésével (zsugorításával) keletkezik (14-1. és 14-2. ábra), a pórusos test tehát lényegében egymáshoz „hegesztett” részecskékből, valamint az ezek közt szándékosan épített vagy véletlenszerűen keletkező üregekből áll.

A továbbiakban az ideális hengeres pórusokból felépített test elektrokémiai tulajdonságaival kapcsolatban teszünk néhány megállapítást, és kísérletet teszünk

olyan modell felállítására, amely lehetővé teszi azt, hogy bármilyen struktúrával rendelkező szerkezet jó közelítéssel transzformálható legyen ideális, hengeres pórusokból felépített pórusos testté. Ez — mint látni fogjuk — rendkívül előnyös, mert segítségével számos jelenség kinetikai részleteire jól használható megállapításokat tehetünk, továbbá értékes technológiai iránymutatások nyerhetők konkrét áramforrások elektródellállítására.

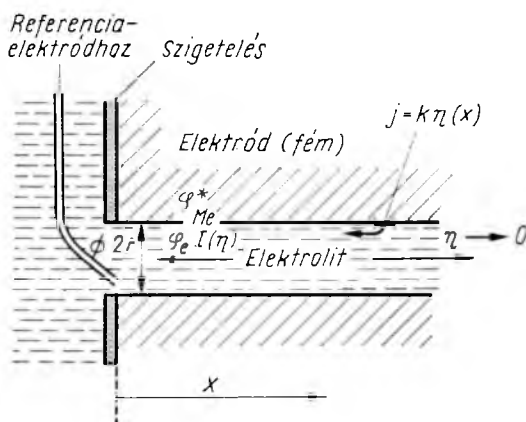
3. A hengeres pórusmodell

A 14-1. ábra elektronmikroszkópos felvételen bemutatott pórusos elektródban látható üregeket első közelítésben hengernek képzelve, az elektród porozitása hengerselekték felépülő térfogataként képzelhető el. Általánosan megállapítható, hogy az alkalmasan megválasztott paraméterekkel rendelkező, elektrolitot tartalmazó hengeres oszlopokból (pórusokból) felépített test, tetszőleges önálló struktúrával rendelkező elektrokémiai rendszer legegyszerűbb, mégis legáltalánosabb modellje. A jelenségek természetéből következik, hogy a henger palástján megy végbe az elektrokémiai folyamat és a folyamat kinetikáját jellemző polarizációs feszültség e hengeres oszlop bejárati nyílásánál ébred. Ez a modell lehetővé teszi az aktivációs-, ohmos és koncentrációs túlfeszültség uralta folyamatok tanulmányozását kétfázisú és háromfázisú rendszerben egyaránt. Mint látni fogjuk a pórusos szerkezet strukturális sajátosságait leíró paraméterek (porozitás, póruseloszlás stb.) éppúgy, mint az anyagi minőség (elektródaktivitási együtthatón keresztül) egyértelmű kapcsolatba hozhatók a hengeres pórusmodell sajátosságaival.

Vizsgáljuk meg a 14-3. ábra szerint az áram és a potenciáeloszlását — Csizmadzsev és társai [15] nyomán — egyik végén nyitott, szabad elektrolittérbe torkolló, a másik végén végtelenbe nyúló, r sugarú cső mentén azzal a feltételezéssel, hogy a cső elektrolittal van tele. A cső fala, — az elektród anyaga — jó vezetőképesége esetén, a pórusfal φ_{Me}^* potenciálú ekvipotenciális felület. Ugyanakkor a fal mentén felépült kettősréteg elektrolit oldali felületének $\varphi_e(x)$ potenciálja a helykoordináta függvénye.

A kettősréteg potenciálja árammentes állapotban $\varphi_{Me}^* - \varphi_e^0$. Árammal terhelt állapotban a kettősréteg potenciálja $\varphi_{Me}^* - \varphi_e(x)$. Az eltérés értéke a helyileg változó túlfeszültség, jelölése $\eta(x)$. Ez meghatározza a helyileg uralkodó áramsűrűséget, pontosabban fogalmazva az áramsűrűség divergenciáját az elektródfelületen.

Mivel az elektrolitban ionok nem keletkeznek, hanem ez a folyamat a henger falára korlátozódik, ezért a forrásmentes belső pórustérfogat-tartományra a forrásmentes tér $\Delta\eta = 0$ Laplace-féle potenciálegyenlete érvényes. A potenciáeloszlás ilyen esetben, mivel a fal mentén a potenciál normális irányú deriváltja elvben adott, a potenciálemélet Neumann-féle megoldásaként adódhatna, feltéve, ha ismernénk



14-3. ábra. Ideális végtelenbe nyúló hengeres pórus

az áramsűrűség eloszlását a pórusfal mentén. Az áramsűrűséget azonban a pórusfal mentén éppen a helyileg uralkodó potenciálegyenesítés, a túlfeszültség határozza meg. Ily módon tehát a probléma megoldása általános esetben integrálegyenlethez vezet, olyan potenciálegyenesítéssel, amely az ezen potenciálegyenesítés létrehozó áramsűrűséggel a fal mentén ún. self-consistent azaz önmagát fenntartó, önmagával meg egyező értéket szolgáltat.

Szerencsére bizonyos feltételek teljesülése esetén a feladat egyszerűsíthető. Induljunk ki az általánosan érvényes Laplace-féle potenciálegyenletről. A hengeres csőben a potenciál eloszlására felírható a kétdimenziós Laplace-egyenlet, az x és ϱ szerinti hengerkoordináta-rendszerben:

$$\Delta\eta = \frac{\partial^2\eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\eta}{\partial\varrho^2} + \frac{1}{\varrho} \frac{\partial\eta}{\partial\varrho} = 0, \quad (1)$$

ahol a határfeltételek:

$$\kappa \left. \frac{\partial\eta}{\partial\varrho} \right|_{\varrho=r} = j(x, r), \quad (2)$$

valamint

$$\eta|_{x=0} = \eta_0.$$

Azaz a fal mentén az áramsűrűség eloszlását a potenciálgradiens az Ohm-törvény értelmében a (2) egyenlet szerint hozza létre, ill. a cső torkolati nyílásánál a túlfeszültség értéke a tetszőleges referenciaelektrodhoz képest mérhető η_0 érték. κ az elektrolit fajlagos vezetőképessége.

Az egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy a cső fala mentén az elektrokémiai folyamat kinetikája olyan, hogy a túlfeszültség és a lokális áramsűrűség lineáris kapcsolatban van egymással:

$$j = k\eta(x, r) \quad (3)$$

ahol a k az elektródfal fontos tulajdonságát, az elektródfal aktivitását jellemzi arányosan.

Fontos megjegyezni, hogy az egyszerű kapcsolat a lokális áramsűrűség és a túlfeszültség közt számos gyakorlatban használatos elektród elektrokémiai folyamatát helyesen írja le. Mint később látni fogjuk, jól használható az ólomakkumulátor elektródfolyamataira, ezenkívül jó közelítés a nikkel-kadmium [16] akkumulátor esetében, a hidrogén elektród folyamataira lúgos közegben [17], ill. durvább közelítésként savas elektrolit esetében is [18]. Egyéb típusú elektródokra más összefüggés érvényes. Ezt a jelen közelítés érvényességi feltételeinek megtárgyalása után ismertetjük.

A feladat egyszerűsítése érdekében bevezetjük a csőkeresztmetszet \bar{i} átlagos áramát:

$$\bar{i} = -\frac{2\kappa}{r^2} \int_0^r \varrho \frac{\partial\eta(x, \varrho)}{\partial\varrho} d\varrho = -\kappa \frac{\partial\eta}{\partial x}. \quad (4)$$

Ebben az esetben a cső bemeneti keresztmetszetén az elektrolittér felé folyó áram

$$I = -r^2 \pi \kappa \frac{\partial\eta}{\partial x}. \quad (5)$$

Ily módon a folyamatot leíró differenciálegyenletünk egydimenzióssá tehető; alakja:

$$\frac{\partial I}{\partial x} = -2\pi r j, \quad (6)$$

azaz

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = \frac{2k}{\kappa r} \eta(x, r). \quad (7)$$

Ha feltételezzük a továbbiakban, hogy az $\eta(x, r)$ értéke nem túlságosan tér el az $\eta(x)$ -től bárhol a cső mentén, akkor a (7) egyenlet egydimenziós differenciálegyenletté válik (az átlagjelet az egyszerűség kedvéért elhagyva):

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = \frac{1}{L^2} \eta, \quad (8)$$

az

$$\eta|_{x=0} = \eta_0; \quad \eta|_{x \rightarrow \infty} = 0$$

határfeltételek mellett.

Egyenletünkben az

$$L = \sqrt{\frac{\kappa r}{2k}} \quad (9)$$

hosszúság dimenziójú kifejezés, amely lényegében az elektrokémiai folyamat karakterisztikus hossza, az elektrokémiai folyamat csőben való kiterjedésével, a csőbe való behatolásának mélységével függ össze.

Közelítésünk fizikai alap gondolatát vizsgálva megállapíthatjuk, tulajdonképpen azt tettük, hogy a felületre korlátozódó elektrokémiai folyamatot helyettesítettük egy effektív térfogati reakcióval. Ezáltal az (1) Laplace-egyenletről áttértünk a (8) Poisson-egyenletre. A Poisson-egyenlet megoldása

$$\eta = \eta_0 \exp\left\{-\frac{x}{L}\right\}. \quad (10)$$

Ennek segítségével az elektrokémiai reakció lokális áramsűrűsége a csőfalon:

$$j = k \eta_0 \exp\left\{-\frac{x}{L}\right\}. \quad (11)$$

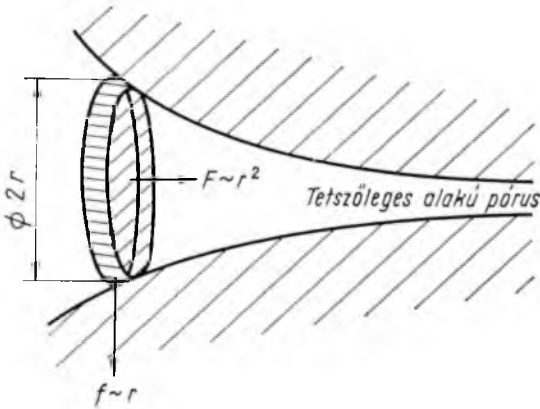
Az áramerősség a cső bemeneti nyílásánál:

$$I_0 = \frac{r^2 \pi \kappa \eta_0}{L}.$$

Láthatjuk, hogy az elektrokémiai folyamat behatolási mélységét a csőbe L értéke határozza meg. L -hez képest nagy x értékeknél a túlfeszültség nullához konvergál, ami egyben azt is jelenti, hogy L -nél nagyobb mélységekben a csőfal már alig vesz részt az elektrokémiai folyamatban.

Ezek után fontos megvizsgálunk, hogy L értéke mitől függ. A vezetőképesség növelése — bár túlságosan széles skálán nem változhat — L értékét növeli. Érthető módon ha csökken az elektrolit ohmos polarizációja, ezáltal több felületrésznek kell ugyanazon túlfeszültséget eredményező — megnövekedett — áramértéket a pórnyílásnál biztosítani. A sugár négyzetgyökével történő arányos növekedés okaként gondoljunk arra, hogy a sugár növelésével a töltéstermelő felület lineárisan, az iontranszportot hordozó keresztmetszet négyzetesen nő (l. 14-4. ábra); tehát a csökkenő ohmos túlfeszültség pótlásához — hasonlóan a vezetőképesség növelésének hatásáról mondottakhoz — növekvő felületelemek kapcsolódnak az áramtermelésbe.

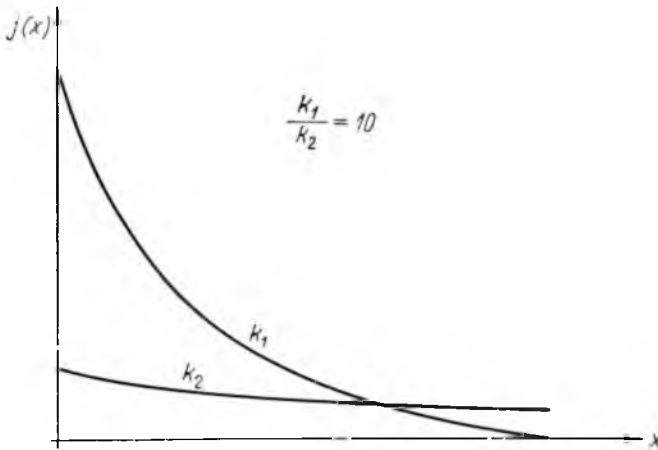
Domináns a k -tól való függés. Mint mondtuk, k az elektródfal aktivitását írja le. Minél aktívabb az elektród, annál inkább kevésbé szükséges a pórus melyebb tartományainak a folyamatban részt venniük. Másként fogalmazva, minél aktívabb az elektród, az elektrokémiai folyamat — azonos pórusugár és elektrolitvezető-képesség esetén — annál inkább a pórus nyílásának környezetére korlátozódik. Ezt



14-4. ábra. A potenciáeloszlást befolyásoló geometriai paraméterek

a viselkedést mutatjuk be modellünk alapján a 14-5. ábrán egymástól egy nagyságrendnyit különböző aktivitású, két elektród esetére.

Az utóbbi tények miatt fontos ismernünk, hogy az egydimenziós közelítés érvényességi köre mekkora. Mely feltételek mellett lehetséges a felületi elektrokémiai folyamatot úgy kezelni, hogy az egyenletes térfogati reakcióként leírható legyen? Ebből a célból az (1) egyenlet „self-consistent” megoldásait keresve első közelítésként nézzük meg, hogy mikor elégíti ki az általános érvényességű Laplace-egyenletet a



14-5. ábra. Az áramsűrűség eloszlása különböző aktivitású elektródfal esetén

Poisson-egyenlet egydimenziós megoldása. A (10) megoldást az (1) egyenletbe helyettesítve és rendezve, kapjuk:

$$\eta(x, 0) - \eta(x, r) = \frac{r^2}{4L^2} \eta_0 \exp\left\{-\frac{x}{L}\right\} = \frac{r^2}{4L^2} \eta(x), \quad (12)$$

tehát az $\eta(x, q)$ túlfeszültségérték helyettesítése a Poisson-egyenlet megoldásául kapott $\overline{\eta(x)}$ egydimenziós túlfeszültséggel $\frac{r^2}{4L^2}$ nagyságrendig pontos. Azaz az egydimenziós közelítés érvényességi köre olyan elektrokémiai rendszerek leírására korlátozódik, amelyek esetében a rendszert jellemző méret(ek) lényegesen kisebb(ek) az elektrokémiai folyamat karakterisztikus hosszánál. Az elektród nagy aktivitása miatt, ill. nem kielégítően kis méreteket alkalmazva a pórus nyílása környezetére korlátozódik az elektrokémiai folyamat és így az egydimenziós közelítés elveszti hatályát.

Ha a lokális áramsűrűség és az elektrokémiai folyamat túlfeszültsége közti összefüggés a (3) kifejezésnél bonyolultabb, a pórusfal mentén a viszonyok más kinetikai összefüggések szerint mennek végbe. Az oxigén elektród [2] és metanol elektród [19] továbbá nagyobb szénatomszámú szénhidrogének elektrokémiai oxidációjára használatos elektródfolyamatok esetén a polarizációs viselkedés általában olyan, hogy a lokális áramsűrűség [15] az alábbi függvénykapcsolattal írható le:

$$j = kb \operatorname{sh} \frac{\eta}{b}, \quad \text{ahol} \quad b = \frac{2RT}{F}, \quad (13)$$

ahol R az egyetemes gázállandó, T az abszolút hőmérséklet, F a Faraday-állandó, k a (3) összefüggésben is szereplő aktivitási együttható. Az előzők szerinti gondolatmenethez hasonlóan a potenciáeloszlásra a megoldást keresve az összefüggések értetődően sokkal bonyolultabbak.

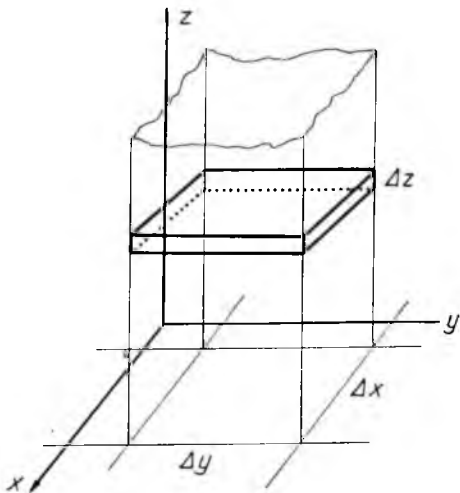
Bizonyos körülmények közt egyszerűsítő feltételezések jogosultak, és könnyen értelmezhető megoldást nyerhetünk. Ha az elektród polarizációja olyan, hogy a túlfeszültség meghaladja a 100 mV-ot (megjegyezve, hogy b értéke szobahőmérsékleten 50 mV körüli érték), azaz $\eta/2b > 1$, és $x \gg L$, akkor az egyenlet megoldása

$$\eta = 4b \exp\left(-\frac{x}{L}\right), \quad (14)$$

tehát a megoldás mindössze abban különbözik (10)-től, hogy η_0 helyébe $4b = 200$ mV kerül. Ez azt jelenti, hogy $x > L$ esetén a túlfeszültségnek csak egy része cseng le. Másrészt viszont ilyen nagy túlfeszültségeken új jelenségek válnak meghatározóvá, leggyakrabban a diffúzió kinetikája miatt határáramjelenségek lépnek fel. E jelenségek viszont a vizsgált hengeres pórus (vizsgálatainkat eddig az ohmos polarizáció és az aktivációs kinetika területére korlátoztuk) mélyebb tartományainak részvételét az áramtermelésben a fellépő koncentrációs polarizáció, vagy más jelenségek miatt zárják ki. Jó példa erre az ólomakkumulátor start-igénybevétele során fellépő effektus [20].

4. Nem irányított hengerekből alkotott, pórusos elektród modelljének jellemzése

A pórusos elektród elektrokémiai jellemzésére egy v_0 fajlagos porozitással és f_0 fajlagos felülettel rendelkező elektródból és egy segédelektrodból készítsünk egy elemet. Vegyük fel a koordináta-rendszert úgy, hogy az $x-y$ sík az elektród elektrolit oldali határfelülete legyen a segédelektrod felőli oldalán, a z tengelyt pedig irányítsuk az elektród belseje felé. Ezek után bontsuk az elektródot Δz vastagságú elemi lemezekre. A Δz -nél lényegesen nagyobb $\Delta x \cdot \Delta y$ felületi lemezdarabkát gondolatban külön-külön elektrolittartályban vizsgálva [21] meghatározható a diafragma R_{di} rezisztenciája (14-6. ábra). Ebből az elektródot jellemző r_{di} fajlagos diafragma-rezisztivitás:



14-6. ábra. A Δx és Δy metszetű elektródhasáb Δz vastagságú szelete

$$r_{di} = R_{di} \frac{\Delta x \cdot \Delta y}{\Delta z}. \quad (15)$$

A továbbiakban feltesszük, hogy az elektród fémes vezető (elektronvezető) része ekvipotenciális felület; és hogy az xy síkkal párhuzamos Δz vastagságú elektródlemezekben a kettős rétegnek az elektrolittér felé eső része szintén ekvipotenciális felület, külön-külön mindegyik elemi szeletben más-más túlfeszültséggel; valamint, hogy a potenciáeloszlás alakja egydimenziós, csak z irányban változik.

A túlfeszültség pórusos lemezen belüli eloszlását keresve az Ohm-törvény alapján felírhatjuk, hogy

$$\frac{d\eta}{dz} = r_{di} i(z). \quad (16)$$

Hasonlóan az ideális hengeres pórus tárgyalása során követett gondolatmenethez, könnyen belátható, hogy az áramsűrűség változása helyről helyre csak úgy lehetséges, hogy az egyes elemi lemezek felületén a helyileg uralkodó polarizáció hatására felületegységként $j(z, \eta)$ áramsűrűség keletkezik. Az áram változása (divergenciája) az adott helyen tehát

$$\frac{di}{dz} = f_0 j(\eta). \quad (17)$$

A két előző egyenletünkéből a túlfeszültség-eloszlás differenciálegyenlete:

$$\frac{d^2 \eta}{dz^2} = r_{di} f_0 j(\eta). \quad (18)$$

Az egyedi hengeres pórus potenciáeloszlásának vizsgálatakor $j(\eta)$ -ra használt (3) összefüggéshez hasonlóan a lineáris polarizációs viselkedésű elektródfal esetén a

differenciálegyenlet konkrét alakja:

$$\frac{d^2\eta}{dz^2} = r_{di}f_0k\eta = \frac{1}{L^2}\eta, \quad (19)$$

ahol L a karakterisztikus hosszúság:

$$L = \frac{1}{\sqrt{r_{di}f_0k}}. \quad (20)$$

Az egyenletünk formailag teljesen megegyezik a hengeres pórusra kapott (8), ill. (9) egyenlettel. Az eltérés a két egyenlet közt mindössze az elektrokémiai folyamat karakterisztikus hosszának (9) és (20) összefüggések szerinti konkrét alakjában van. Az eddigi pusztán formai azonosság felhasználható arra, hogy ismert v_0 porozitással és f_0 fajlagos felülettel jellemzett pórusos elektródra bevezessük az effektív pórusugár fogalmát, azaz tetszőleges pórusos elektródot úgy jellemzünk elektrokémiai viselkedés szempontjából, mintha az ismert számú, adott sugarú, hengeres pórusokból épülne fel. Ha meggondoljuk, hogy egy hengeres pórus elhelyezkedése az elektród felületéhez képest milyen irányítottságú lehet, könnyen beláthatjuk, hogy a felület az elhelyezkedésre reális struktúra esetén semmilyen hatással nincs. Ebből következik, hogy a hengeres pórusok tengelye a három koordináta-tengely bármelyik irányába egyenlő valószínűséggel mutathat. Ily módon a felületre merőlegesen elhelyezkedő tengelyű „idealizált” pórusmodell helytelenül írná le a reális viszonyokat.

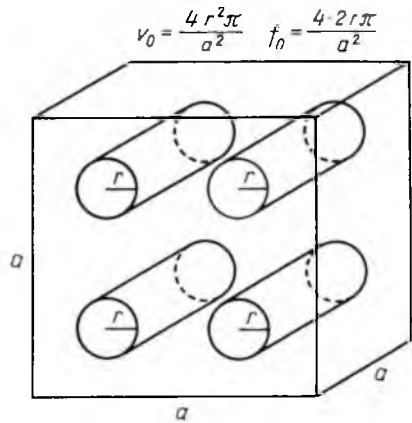
A korrekció érdekében vizsgáljuk meg tetszőleges v_0 porozitású, l vastagságú pórusos test paramétereit. Ismert vezetőképességű elektrolittal átitatva a diafragma rezisztivitása r_{di} . Gondolatban eltávolítva a vázat az 1 cm^2 felületű, elektrolittal átitatott elektródból, a visszamaradó elektrolit rezisztivitása $\left(\frac{\kappa l_0}{l}\right)^{-1} = r_e$ lesz. Ezt a rezisztivitást mérnénk az elektródfelületre merőleges tengelyű, az elektródot átszelő egyenes hengeres pórusokból álló „ideális” pórusos elektród esetén. Természetes, hogy a reális pórusos elektród esetén az elektród diafragma-rezisztivitása nagyobb, mint a tiszta elektrolit rezisztivitása, azaz $r_{di} > r_e$. Hányadosukat jelöljük Jansta [21] nyomán ξ -vel és nevezzük a pórusos rendszerben a pórusok tekervényességét jellemző tekervényességi faktornak (néha nevezik labirintus-faktornak is):

$$\xi = \frac{r_{di}}{r_e}, \quad (21)$$

értéke általában $1,5 < \xi < 1,7$.

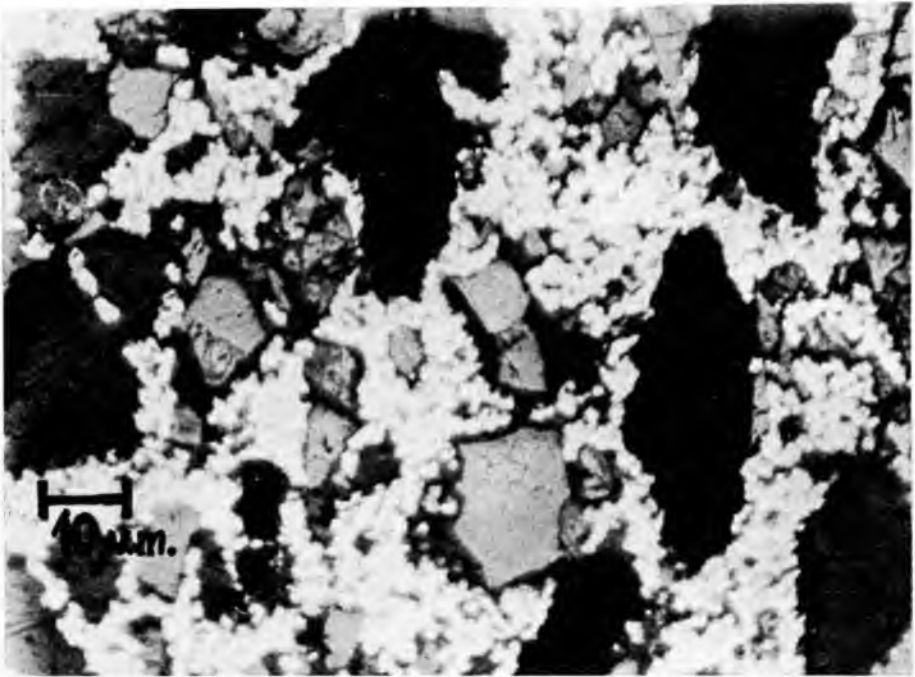
Vizsgáljuk ezek után meg, hogy az elektrolit konduktivitásának, valamint a pórusos elektród tekervényességi faktorának, fajlagos porozitásának és fajlagos felületének ismeretében miként tudunk a (20) szerinti karakterisztikus távolságra következtetéseket levonni.

E feladathoz, valamint a kiértékelés lehetséges módjaira is példaként nézzük a



14-7. ábra. Ideális pórusokból felépített pórusos test fajlagos porozitása és fajlagos felülete

14-7. ábra szerinti modellt. Az ábrán ideális pórusokból álló test egy metszetét láthatjuk. Elemi matematikai módszerekkel igazolható, hogy a pórusok metszeteként nyert teljes szabad felület a vizsgált elektródfelületre vonatkoztatva az ideális pórusos test v_0 fajlagos porozitását szolgáltatja. Hasonlóan a pórusmetszetek teljes kerülete a metszefelületre vonatkoztatva megegyezik az ideális pórusos elektród 1 cm^3 -nyi térfogatára vonatkoztatott f_0 fajlagos felületével.



14-8. ábra. Pórusképzővel adalékolt, Raney-nikkelt is tartalmazó szinterelt elektród mikroszkópi csiszolata

Tetszőleges pórusos test esetében, ahogy a 14-7. ábrán és a 14-8. ábra mikroszkópi csiszolatán láthatjuk, a nagy sötét foltokként látható pórusok teljes felülete a vizsgált elektródmetszet-felületre vonatkoztatva, előzőkhöz hasonlóan szintén a reális elektródstruktúra porozitását szolgáltatja. Hasonló megállapítás tehető a reális elektródstruktúra fajlagos felületére, azzal az eltéréssel, hogy a metszet fajlagos kerületének és a labirintusfaktornak a szorzata egyenlő a fajlagos felület értékével.

Ezek ismeretében a diafragmarezisztivitás — az egy vezetőre érvényes $R = \rho \frac{l}{q}$ összefüggés mintájára — $r_{di} = \frac{\xi l}{\chi v_0}$, így a (20) összefüggést a következő alakba írhatjuk:

$$L^2 = \frac{\chi v_0}{\xi^2 f_0 k}. \quad (20a)$$

Ezt összehasonlítva a (9) összefüggéssel, kézenfekvő az $\bar{r} = 2 \frac{v_0}{f}$ effektív sugár fogalmának bevezetése. Ezzel a tetszőleges pórustestben és az egyedülálló egyenes hen-

geres pórusban a potenciál eloszlására érvényes egyenlet formailag is megegyezik egymással, tehát egy tetszőleges pórusos testet elektrokémiai szempontból az

$$\bar{r} = 2 \frac{v_0}{f_0} \quad (22)$$

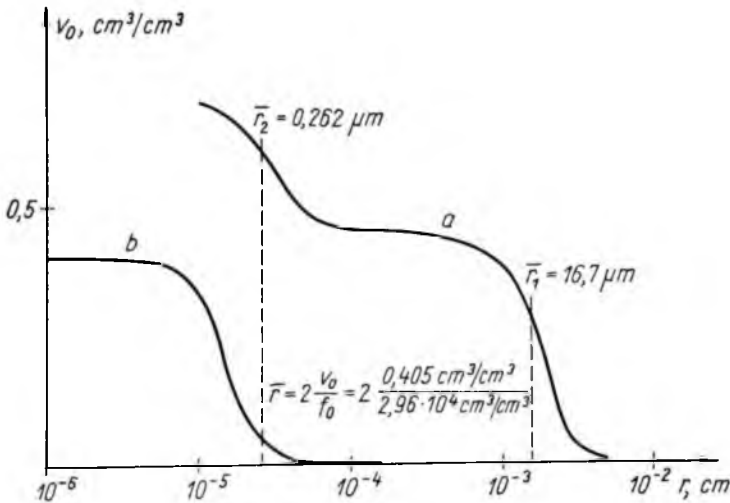
összefüggéssel definiált sugarú, négyzetcentiméterenként $1/\bar{r}^2\pi$ számú tetszőleges irányítású hengeres pórusból álló szerkezetnek tekinthetünk.

Tetszőleges pórusos elektródszerkezethez rendelhetünk tehát átlagos pórusugarú (vagy sugarakkal rendelkező), hengeres pórusokból álló rendszert. A sugarat az elektród porozitáseloszlása határozza meg. Ennek, valamint az elektród aktivitását jellemző együtthatónak a viszonya határozza meg, hogy az elektrokémiai folyamat a pórusos testbe milyen mélységig hatol be. Úgy is fogalmazhatjuk, hogy ezek olyan paraméterek, amelyek az építeni kívánt elektród működő maximális méreteit meghatározzák.

5. A modell alapján történő számítás és méretezés

A 14-9. ábrán karbonil-nikkelből szintereléssel előállított pórusos test pórustérfogat-eloszlása látható. Az ábra higanyos porozításvizsgálat (Carlo Erba gytm. 820 Typ.) alapján meghatározott eloszlást mutat. Szaggatott vonallal a (22) összefüggés alapján meghatározott átlagos pórusugár értékét is bejelöltük. Az ábra jól szemlélteti, hogy az átlagos pórusugár fogalmának bevezetése jogos. Ugyanakkor megnyugtató igazolását szolgáltatja annak a kísérleti és kiértékelő módszernek is, amely a higanyos porozításvizsgálat mérési eredményeiből valamely statisztikus sugáreloszlású, hengeres pórusok feltételezésével szolgáltat a szerkezetre vonatkozó információt.

Itt jegyezzük meg, hogy külön, szándékoltan adalékolt pórusképzővel készített, a 14-8. ábrán bemutatott szerkezetű elektródhoz hasonló pórusos szerkezetek po-



14-9. ábra. Pórusos nikkelelektrod porozitáseloszlása

- a) karbonil-nikkel vázba ágyazott Raney-nikkelt tartalmazó elektród pórusképzővel készítve;
b) Karbonil-nikkelből készült szinterelt test

rozitáseloszlása az egy inflexiós pontú eloszlásgörbe helyett más sugártartományban is hasonló lefutást mutat, tehát az ehhez hasonló pórusos testeket két, különböző értékű, átlagos pórusugár írja le helyesen. Ez az eddig elmondottakkal teljesen azonos gondolatmenet alapján könnyen belátható (l. 14-9a ábra). Ezt a fajta pórusos szerkezetet a háromfázisú gázdifúziós elektródokban előszeretettel alkalmazzák [21, 17]. Ilyen elektródszerkezetben kialakuló potenciáeloszlás tárgyalása az eddigi gondolatmenethez hasonlóan elvégezhető, azonban figyelembe kell venni a konkrét struktúra sajátosságai mellett azt a körülményt is, hogy az áramtermelés — ahogy ez Will [22], Austin [23], Lindström [14], Benion és Tóbiás [12], Psenyicsnyikov [5] munkái bázisán igazolódott — a viszonylag nagy méretű, pórusképző adagolásával előállított, ún. gázpórusok vékony elektrolitfilmmel fedett falán megy végbe. Ennek magyarázatául részletesen megvizsgáljuk a tüzelőanyag-elemekben széles körben használatos háromfázisú gázdifúziós elektródokat.

Ha a 14-8. ábrán bemutatott mikroszkópi metszettel rendelkező gázdifúziós hidrogén elektród katalizátort tartalmazó munkarétegének porozitáseloszlását higanysos porozitásvizsgálat segítségével meghatározzuk, akkor a 14-9a ábra szerinti összefüggést kapjuk az elektródban található üregtérfogatra. Az 1...5 μm tartományban levő platótól jobbra és balra eső tartományt külön-külön a 14-9. ábrának megfelelően kezelve meghatározhatjuk az átlagos pórusugarat. A pórusképzőként 43...60 μm szemcseméretű konyhasót tartalmazó elektródnak ez a „durva” porozitású része 0,40...0,44 cm^3/cm^3 porozitású. A felületmeghatározás alapján az átlagos pórusugár 16,7 μm -nek adódik. A „finom” porozitású tartomány átlagos pórusugara 0,26 μm . A hengeres pórusmodell keretein belül az eloszlásgörbét az ábrán látható két, téglalap alakú tartománnyal helyettesíthetjük. A jellemző átlagos pórusugár és a porozitás ismeretében megbecsülhetjük a megfelelő pórusok számát, valamint az elektród tetszőleges metszetén egy pórusra jutó átlagos területet. E számítások alapján az $\bar{r}=16,74 \mu\text{m}$ -es átlagos pórusugarú hengeres pórusokból $2,5 \cdot 10^5 \text{ db}/\text{cm}^3$ szeli át az elektródot és egy tetszőleges metszeten egy pórusra átlagosan 45 μm -es élhosszúságú négyzetes terület esik. Ezzel szemben a keskeny, $\bar{r}=0,26 \mu\text{m}$ pórusugarú hengerekből $3,7 \cdot 10^8 \text{ db}/\text{cm}^3$ szeli keresztül a pórusos testet úgy, hogy minden egyes pórusra átlagosan $1,2 \times 1,2 \mu\text{m}$ -es terület esik. Természetesen a keskeny pórusok éppúgy, mint a széles pórusok reális struktúrában egymást is metszik. Az előbbi adatokból könnyen megbecsülhetjük, hogy pl. a széles pórus palástjának egy 20 μm -es szakaszát statisztikus átlagban több, mint 300 db keskeny pórus metszi át, pontosabban fogalmazva ennyi keskeny pórus torkollik a széles pórusos üregbe. Az elektrolittal átjárt elektródban a kapilláris erők és a gáztérben uralkodó nyomás egyensúlya folytán a keskeny pórusokat elektrolit tölti ki, a gázpórusokban gázfázis van, miközben ezek falát is nedvesíti az elektrolit, rajta vékony 10^{-5} cm (0,1 μm) körüli vastagságú elektrolitfilmet hozva létre. Az ide torkolló nagyszámú, keskeny pórus biztosítja a falon lezajló elektródfolyamatban keletkező, ill. elfogyó ionok transzportját, és az előző pontban kifejtettek értelmében (ami itt nem közölt, részletes számításokkal igazolható) a keskeny pórusokban az iontranszport hajtóerejeként kialakuló potenciálesés egyben meg is gátolja ezek falának részvételét a töltéstermelő elektródfolyamatban. Meg kell említenünk, hogy az elektródfolyamatban elhasználandó tüzelőanyag, vagy oxidálószer gátolt transzportja is fontos szerepet játszik ennek a kialakulásában, aminek figyelembevétele a reális struktúrákban lezajló folyamatok értékelése során elengedhetetlen.

A háromfázisú elektródra vázolt modell felhasználásával vizsgáljuk meg a potenciáeloszlást árammal terhelt esetben. Ebből a célból a 14-10. ábrán közölt adatok felhasználásával először is azt a tényt kell rögzíteni, hogy a gázpórusok $\sim 0,4 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

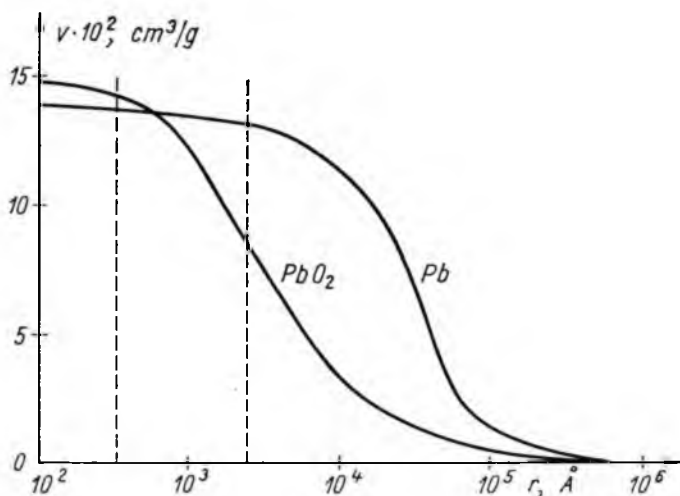
porozitású tartománya a vázolt pórusmodellel szemben nem vesz részt az iontranszportban, viszont a vele majdnem azonos porozitású, ún. folyadékpórusokon belül az iontranszport feltétele biztosított. Modellünk alkalmazható marad mindaddig, amíg a folyadék- és gázporozitás közel azonos marad. Ezt figyelembe véve a (9) összefüggést alkalmazásához a szakirodalomból [26] felhasználjuk a nikkel aktivitását jellemző k arányossági tényezőt és 95°C -on a 7 N KOH rezisztivitását. Ezek rendre: $k=1,2 \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}\text{cm}^{-2}$ és $\rho=0,715 \Omega\text{cm}$. A (9) összefüggés szerint $\bar{r}=16,7 \mu\text{m}$ -es pórusugár mellett $L=0,57\text{ cm}$, ami kb. 20%-on belüli egyezést mutat a karbonil-nikkelből készített elektródokra bonyolult matematikai módszerekkel számolt adatokkal [25], ill. ahogyan erre Psenyicsnyikov [26] rámutat, közel azonos elektródstruktúra mellett 7...8 mm-es elektródvastagság után az elektród vastagságának további növelésétől nem növekszik lényegesen tovább az elektród elektrokémiai aktivitása (a terhelhetőség) azonos potenciál mellett.

Természetesen 1 cm nagyságrendű elektród alkalmazása túlságosan robusztus és gazdaságtalan megoldás lenne. Ezen segíteni lehet Justi és munkatársai úttörő munkái nyomán [17] azon felismeréssel, hogy a gázpórus falát aktívabbá téve, a k tényezőt növeljük aktívabb nikkellel beépítésével. Elvben lehetséges természetesen nemesfémek beépítése is a falba, ahogy ezt kísérletileg igazolták is, de ez szintén gazdaságtalan megoldás. Az aktívabb nikkellel alkalmazására különböző Ni—Al—Me ötvözetek kilúgozásával nyerhető [28, 29], ún. Ranay-fémek bizonyulnak megfelelőnek. Annak köszönhetően feltűnően nagy aktivitási tulajdonságukat, hogy bennük az Al kioldása után nyert rácskristályos nikkellé atomi méretű tartományokban „összeomlik”, ami végeredményben nagy — közelítőleg [27] $16...20\text{ m}^2/\text{g}$ — fajlagos felületű stabil szerkezetet eredményez. Mivel a karbonil-nikkelnek hőkezelés után közelítőleg $0,12...0,15\text{ m}^2/\text{g}$ fajlagos felülete van, ezért a Ranay-fém beépítésével a gázpórus falának felülete — azaz érdessége — kb. 150-szeresére növekszik. Ezt úgy vehetjük figyelembe, hogy az aktivitást leíró k tényező ilyen mértékben megnövekedett. Ezt bevezetve, az aktivált falú gázpórusos elektród működési tartományát meghatározó L hossz $0,46\text{ mm}$ körüli érték; tehát több, mint egy nagyságrenddel kisebb, ami már technikailag is alkalmazható mérettartomány.

Az elmondottakból könnyű belátni az elektródstruktúra döntő szerepét, mivel az elektród akkor működik jól, és összefüggéseink akkor írják le helyesen a folyamatot, ha a folyadék- és gázporozitás az adott szerkezetben azonos. Ez a megállapítás még nemesfémekkel aktivált falú elektródra is érvényes. Erre Psenyicsnyikov kísérleti tényekkel mutatott rá, megállapítva, hogy 50% arányig lecserélve a karbonilnikkelrel aktivált katalizátorral az elektród terhelhetőségét a gázpórusképző komponens mérete és aránya határozza meg.

Az előző pontokban vázolt modell alkalmazására további példaként vizsgáljuk meg a potenciál eloszlását ólomakkumulátor pozitív és negatív lemezeiben működés közben. E probléma vizsgálatához elsőként a k együttható értéke szükséges. Sima ólomlemezen elvégzett vizsgálataink szerint előzetes formálási eljárás nélkül felvett polarizációs görbék alapján $k=(1,56 \pm 0,2) \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}\text{cm}^{-2}$ ólom esetén, és $k=(4,368 \pm 1,0) \cdot 10^{-3} \Omega^{-1}\text{cm}^{-2}$ az ólom-dioxid esetén. Példaként a 14-10. ábrán 100%-ig kisütött pozitív és negatív aktív massa porozításeloszlását mutatjuk be. Az ábrán szembeötlő különbség tapasztalható a pozitív és negatív massa jellemző struktúrája közt. Megjegyezzük, hogy különböző állapotig kisütött aktív masszák porozitásának és fajlagos felületének alakulását részletesen vizsgálták az elmúlt években. Ezek közül legjellemzőbbként idézzük Wiesener és munkatársai [30], valamint Hattori és munkatársai [31] közleményeit. Ezek alapján lényegében megállapítható, hogy kisütés során a kisütés növekvő mértékében a kisütés termékeiként megjelenő kisebb

sűrűségű PbSO_4 kristályok számának növekedésével a fajlagos porozitás a kezdeti érték kb. 50%-nyi értékére csökken, miközben a negatív massa $2...3 \text{ m}^2/\text{g}$ fajlagos felülete alig változik. Ezzel ellentétben a pozitív massa a nagy fajlagos felületű $\beta\text{-PbO}_2$ fázis fokozatos csökkenése folytán a kezdeti kb. $6...7 \text{ m}^2/\text{g}$ értékről a kisütött pozitív massa fajlagos felülete $2...3 \text{ m}^2/\text{g}$ értékre csökken.



14-10. ábra. Kent lemezes ólomakkumulátor pozitív és negatív masszájának porozitáseloszlása

A (20a) összefüggés felhasználásával az elektródban a potenciáloszlást meghatározó L karakterisztikus hossz értéke a negatív masszában $0,015...0,025 \text{ cm}$ közt változik, míg a pozitív masszában ez mindössze $0,005...0,007 \text{ cm}$ közé esik. Tekintsük a nagy mennyiségben gyártott gépkocsik indítóakkumulátorát. Szokásosan általában 2 mm körüli elektródvastagságokat használnak. Megállapításunk azt jelenti, hogy e lemezeknek az elektród—elektrolit határfelülettel párhuzamosan csak az előzőekben közölt vastagságú tartománya, mindössze $10...20\%$ -a vesz részt az elektród-folyamatban. A kisítés kezdetén a határfelületi zóna, majd alig változó vastagsággal ez a működő zóna lassan végigvonul az elektród teljes vastagságán, a két határfelülettől befelé haladva. (Bizonyos mértékben törekedve a jelenség kísérleti igazolására érdekes megállapítások találhatók Will [32] munkájában; sajnos azonban a jelenség értékét legalább egy nagyságrenddel eltévesztette.)

A vázolt jelenség a magyarázata annak a kísérleti tapasztalatnak, amely szerint 1-2 órás kisítés mellett az ólomakkumulátorok névleges kapacitását nem lehet kihasználni. Ezen a tényen csak a mintegy 70 éves konstrukció megváltoztatásával lehet módosítani. A lemezek vastagsága 1 mm alá a jelenlegi konstrukciókban rács-korróziós okok miatt nem csökkenthető. Csak némiképpen segíthet a változó struktúrájú rétegekből épített lemezek alkalmazása. A járható út minden bizonnyal korrózióálló és a jelenleg használt rácsgeometriától lényegesen eltérő, sűrű osztástávú rácsok és a változó struktúrájú rétegek együttes alkalmazása.

Az előzőekben bemutatott korántsem teljes példákkal célunk annak illusztrálása volt, hogy egy látszólag nagyon egyszerű modell alkalmazásával is milyen alapvető megállapítások tehetők. Ez annál is inkább célunk volt, hogy rámutassunk a

struktúra és az elektrokémiai folyamat kinetikai útjának döntő összefüggéseire. Nem tértünk ki a nem töltött részecskéket szállító anyagtranszport tárgyalására, mivel ennek figyelembevétele — bár a folyamatok egzakt tárgyalása szempontjából elengedhetetlen — az eddigi tárgyalat jelenségekhez mérten minden esetben csak tovább rontja a viszonyokat, tovább élezi a struktúra döntő szerepét az elektródfolyamatokban.

Irodalom

- [1] *Ruetschi, P.*—*Cakan, B. D.*: J. Electrochem. Soc. 104. p. 406. (1957),
- [2] *Burstein; Dribinszkij; Taraszebcis; Csizmadzsev; Csirkov*: Elektrohimiya. (1971) VIII. p. 12.
- [3] *Levis, V. G.*: Fiziko-Himicseszka Gidrodinamika. Moszkva 1959.
- [4] *Kszenzsek, O. S.*: Zsurn. Fiz. Him. 37. (1963), p. 1298; Zsurn. Fiz-Him. 36. (1962) p. 243; Zsurn. Prikl. Him. 37. (1964), p. 1045.
- [5] *Pshenichnikov, A. G.*: Power Sources 2. (1968) Pergamon Press. p. 483—492.
- [6] *Markin, V. Sz.*—*Csizmadzsev, J. A.*—*Csirkov, J. G.*: Dokl. Akad. Nauk SzSzR. 150. p. 596. (1963).
- [7] *Micka, K.*: Coll. Czech. Chem. Commun. 30. p. 2288. (1965).
- [8] *Stein, W.*: Diszertation. Technische Hochschule. Aachen (1959).
- [9] *Euler, J.*—*Normenmacher, W.*: Electrochim. Acta. 7. p. 205. (1962); *Euler, J.*: Electrochim. Acta 15. p. 1233 (1970).
- [10] *Winsel, A.*: Z. Elektrochem. 66. p. 287 (1962); Adv. Energy. Conv. 3. p. 677. (1963); Berichte der Bunsen-Ses. 79. p. 827. (1975).
- [11] *Lindholm, I.*—*Jonsson, J.*: J. Electrochem. Soc. 116. p. 1150. (1969).
- [12] *Tobias, C. W.*—*Bennion, P. N.*: J. Elektrochem. Soc. 113. p. 589 (1966); J. Electrochem Soc. 113. p. 593. (1966).
- [13] *Newman, J. S.*—*Tobias, C. W.*: J. Electrochem. Soc. 109. p. 1183 (1962).
- [14] *Lindström, O.*: Teh. Tidshr. 23. p. 593. (1963); Energy. Conv. 8. p. 33. (1968).
- [15] *Csizmadzsev, J. A.*—*Markin, V. Sz.*—*Taraszevcis, M. R.*: Makrokinetika processzov porisztüh szredah. (Töplivnűje elementü). Nauka 1971.
- [16] *Yamashita, D.*—*Yamamoto, Y.*: Nippon Kagaku Kaishi. (1974) p. 459—463.
- [17] *Justi, E.*—*Winsel, A.*: Fuel Cells. Franz Steiner-Verlag. Wiesbaden 1962.
- [18] *Böhm, H.*: J. Power Sources I. 1976/77. p. 177.
- [19] *Döhren, H.*—*Euler, J.*: Der heutige Stand der Brennstoffelemente. 5. Auflage. 1966. Frankfurt/Main.
- [20] *Lehning, H.*: ETZ—A. Bd. 93. (1972) p. 62.
- [21] *Jansta, J.*: Coll. Czech. Chem. Commun. 32. p. 1671. (1967).
- [22] *Will, F. G.*: J. Electrochem. Soc. 110. p. 145 (1963); J. Electrochem. Soc. 110. P. 152. (1963).
- [23] *Austin, L. G.*: Report AD—266229 (1962. november).
- [24] *Burstein, R. H.*—*Psenyicsnyikov, A. G.*—*Szabirov, F. Z.*—*Zsurabljeva, V. N.*: Elektrohimiya. 4. p. 13—19 (1968).
- [25] *Markin, V. Sz.*—*Csernyenko, A. A.*—*Csizmadzsev, J. A.*—*Csirkov, Ju. G.*: Fuel cells. Consultants Bureau, New York. 1966. p. 21—33.
- [26] *Psenyicsnyikov, A. G.*: Fuel cells. New York 1966. p. 11—19.
- [27] *Burstein, R. H.*—*Psenyicsnyikov, A. G.*—*Kovaljoszkaja, V. D.*—*Beljajeva, M. E.*: Elektrohimiya 6. vap. 11. (1970).
- [28] *Scseglov, N. J.*—*Szokolszkij, D. V.*: Prom. Kazakstana Naucs. Tekn. Szbornyik. 3. p. 68. (1961).
- [29] *Richter, G.*: Third Intern. Symp. of Fuel cells. Brussels p. 8. (1969).
- [30] *Reinhardt, P.*—*Vogt, M.*—*Wiesener, K.*: J. Power Sources I. 1976/77. p. 127—139.
- [31] *Hattori, S.*—*Yanaura, M.*—*Kono, M.*—*Yamane, M.*—*Nakaxhima, X.*—*Yamashitai J.*: Juasa Battery Co. 1975. jun. 20. (Annual Report LE—197).
- [32] *Will, F. G.*: Power Sources 2. Pergamon Press 1968. p. 149—165.

15.

Cink—levegő áramforrások

HORVÁTH PÁL—KULCSÁR SÁNDOR

ÖSSZEFOGLALÁS

A hidrofobizált, túlnyomás nélkül üzemkész levegő- (oxigén) elektródok működésével kapcsolatos kutatási eredmények összefoglalása, valamint főbb technológiai követelmények elemzése után a szerzők bemutatják a VKI-ban kifejlesztett elektródok főbb paramétereit.

A szerzők ezután a részletesen bemutatott levegőelektródok felhasználásával épített különböző konstrukciójú és tulajdonságú cink—levegő elemeket ismertetik. Az elemek műszaki paramétereit nagymértékben az elkészített cinkelektrod tulajdonságaitól függenek. Ismertetik a 10...30 W/kg teljesítménysűrűségű és 100...140 Wh/kg energiasűrűségű, Zn—levegő elemek kifejlesztett típusait, ezek műszaki paramétereit, üzemi tulajdonságait.

ЦИНКО—ВОЗДУШНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

П. Хорват—Ш. Кулчар

Резюме

После обобщения результатов исследований, связанных с действием гидрофобизированных, работающих без избыточного давления воздушных (кислородных) электродов и анализа важнейших технологических потребностей, авторы излагают важнейшие параметры электродов, разработанных в НИИ Электрической промышленности.

С применением подробно изложенных воздушных электродов авторы излагают цинко—воздушные элементы различных конструкций и свойств. Технические данные элементов в большой мере зависят от свойств изготовленного цинкового электрода. Изложение разработанных типов цинко—воздушных элементов с плотностью по мощности 10...30 Вт/кг, а по энергии 100...140 Вт.ч/кг; их технические данные и эксплуатационные свойства.

ZINK—LUFT-STROMQUELLEN

P. Horváth—S. Kulcsár

Zusammenfassung

Nach Zusammenfassung der Forschungsergebnisse über die Funktion wasserabweisender, überdruckloser betriebsbereiter Luft- (Sauerstoff) Elektroden und Analyse der wichtigsten technologischen Forderungen führen die Verfasser die Parameter der von VKI entwickelten Elektroden vor.

Die Verfasser beschreiben danach die unter Verwendung der eingehend erläuterten Luft-Elektroden aufgebauten Zink—Luft-Elemente, deren Parameter überwiegend von den Eigenschaften der angewandten Zinkelektrode abhängen. Zum Abschluss folgt die Erkluterung der entwickelten Zn—Luft-Elementtypen mit 10...30 W/kg Leistungsdichte und 100...140 Wh/kg Energiedichte, ihrer technischen Parameter und Betriebseigenschaften.

ZINC—AIR BATTERIES

By P. Horváth—S. Kulcsár

Summary

Research results connected with functioning of hydrophobic, unpressurized, air-(oxygen) electrodes are summarized; relevant main requirements are discussed, and then the main parameters of these electrodes, which have been developed at the Institute (VKI), are presented.

This is followed by a detailed description of air electrodes which were used for building zinc—air batteries of various constructions and properties. Technical parameters of the batteries depend largely on properties of the fabricated zinc electrodes.

The technical parameters and operating properties of the developed types of zinc—air batteries having power densities of 10...30 W/kg and energy densities of 100...140 Wh/kg, are described.

1. Bevezetés

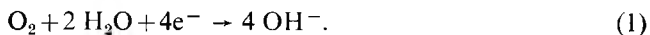
Modern életünk egyre növekvő számban igényel olyan elektromos készülékeket, eszközöket, amelyeknek működtetése az elektromos hálózattól független. Ezek a követelmények olyan korszerű áramforrások kifejlesztését teszik szükségessé, amelyek az eddig ismerteknél kisebb súlyban és térfogatban nagyobb energiatároló képességűek. Az ilyen elemek egyik legjobb fajlagos értékekkel jellemezhető képviselője az Intézetünkben is fejlesztett cink—levegő áramforrás.

A fém—levegő (ezen belül a gyakorlatban leginkább elterjedő cink—levegő) elemek kedvező fajlagos tulajdonságaikat alapvetően annak köszönhetik, hogy a jelenleg alkalmazott (Pb—PbO₂, Ni—Cd, Ag—Zn) akkumulátorokkal ellentétben, amelyek az oxidálószeret vegyület formájában az elektród anyagához kötve tárolják, ezek az áramtermeléshez a levegő oxigénjét használják fel. Ilyen módon az egyik nagy tömegű elektród helyett vékony katalitikus réteget alkalmaznak, tehát lényeges súlymegtakarítást érhetnek el.

Az ilyen nagy energiasűrűségű cink—levegő áramforrás kifejlesztésének alapfeltétele a megfelelő levegőkatód előállítása.

2. Katódreakciók elmélete

Az Intézetünkben kifejlesztett katód hidrofób típusú, tehát túlnyomást, ill. azt létrehozó komplikált segédberendezéseket nem igényel. A katódon lejátszódó alapreakció Berl [1] vizsgálatai szerint a következő:



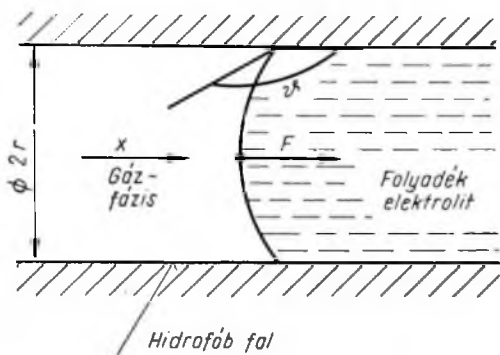
A reakció több részlépésen, Heyrovsky [2] vizsgálatai szerint H₂O₂ képződésen keresztül megy végbe. Potenciálja leírható az

$$U = U_0 + \frac{RT}{2F} \ln \frac{P_{\text{O}_2}}{(\text{OH}^-)(\text{HO}_2^-)} \quad (2)$$

képlettel, ahol U_0 az elektród nyugalmi potenciálja, P_{O_2} az oxigén nyomása normál állapotban. A (HO₂⁻) és (OH⁻) kifejezések a megfelelő ionok aktivitásai az oldatban. R az univerzális gázállandó és F a Faraday-féle állandó.

A reakció Berl vizsgálatai szerint nem tekinthető egyensúlyi folyamatnak. Sebességét Bagockij [3] és munkatársai vizsgálták és megállapították, hogy több rész-folyamatból tevődik össze, amelyek közül a reakciókörülmények, elektródanyagok, stb. határozzák meg a potenciálmeghatározó döntő folyamatot.

A hidrofób pórusos elektródok működését Niedrach [4], Kordesch [5] és Horváth P. [6] írták le részletesen. Az elektródok pórusaiban a hidrosztatikai nyomás és a felületi erők közötti egyensúly fennállása és stabilitása a működés feltétele.



15-1. ábra. Pórusmodell a gázelektrodok elméletéhez

A stabilitás fizikai feltételének elemzése céljából képzeljünk el egy r sugarú hengeres pórust, amely a folyadékfázisú elektrolitot és a gázfázisú reagenst egymástól elválasztja. (Tételezzük fel továbbá, hogy a gáz nyomása a pórusban és az elektrolit felett ugyanaz.) Ha σ a felületi feszültség, és ϑ a folyadék nedvesítési szöge, akkor a felületi feszültség okozta erő (15-1. ábra):

$$F = 2\pi r \sigma \cos \vartheta. \quad (3)$$

A terület mentén ható erők eredőjének iránya a henger tengelyével egyezik meg. Ha a pozitív x tengely a folyadék felől a gáztér felé mutat, ez az erő a cső x tengelye irányába p_k kapilláris nyomást hoz létre a pórusban és értéke:

$$p_k = \frac{F}{r^2 \pi} = \frac{2\sigma \cos \vartheta}{r}. \quad (4)$$

p_h -val jelöljük a folyadék hidrosztatikai nyomását a pórusban. A hidrofób falú pórusban $\left(\vartheta > \frac{\pi}{2}\right)$ a kapilláris nyomás negatív irányú, tehát létezik olyan állapot, amelyben a folyadék a póruson nem folyik ki. Ennek feltétele

$$p_k \equiv p_h.$$

A két nyomás számszerű egyezése esetén a metastabilis állapotra az egyensúlyi feltételül az

$$r_0 = -\frac{2\sigma}{p_h} \cos \vartheta \quad (5)$$

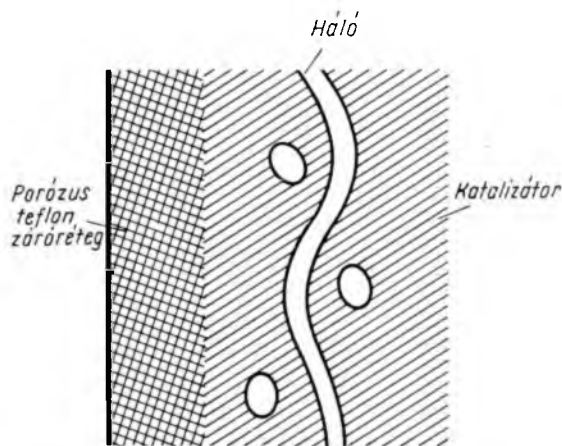
pórusugarat jelölhetjük ki. $r > r_0$ esetén a hidrosztatikai nyomás a folyadékot a póruson átpréseli. $r < r_0$ esetén azonban stabil meniszkusz nem tud kialakulni a pórusban, hanem a pórust a gázfázis tölti ki egészen olyan mélységig, amíg a meniszkuszkerület $2r_0\pi$ értéket el nem éri.

Amint a levezetésből látjuk, az elektród megfelelő működését a felületi erő változtatásával valamint a pórusméret helyes beállításával tudjuk befolyásolni. A stabil meniszkusz kialakítása tehát elméleti számítási módszerekkel követhető és az eredmények gyakorlatban alkalmazhatók. Ezek felhasználásával dolgoztunk ki eljárást megfelelő paramétereket biztosító levegőkatódok készítésére.

3. A cink—levegő áramforrás ismertetése

3.1 Levegőelektródok

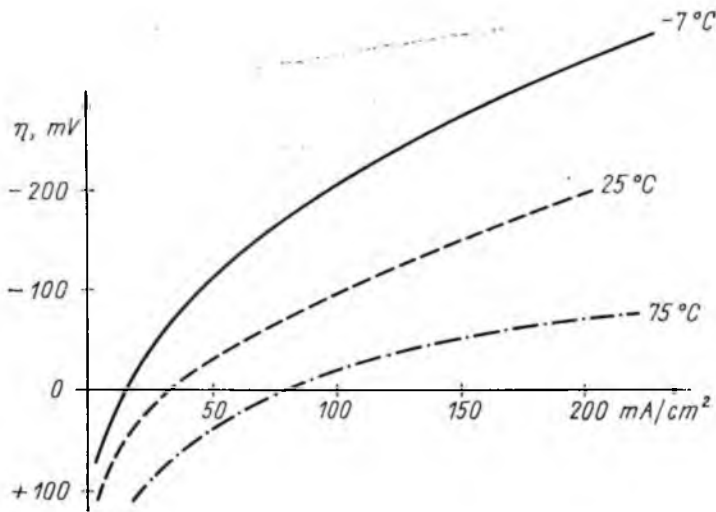
Az Intézetünkben kifejlesztett levegőkatódok fémhálóra felhordott politetrafluorettel (PTFE) hidrofobizált, döntően ezüstöt tartalmazó pórusos katalizátorból és az elektród levegő oldalán egy szivárgást meggátló, PTFE-ből készülő lúgzáró rétegből állnak. A katód szerkezetét a 15-2. ábrán láthatjuk.



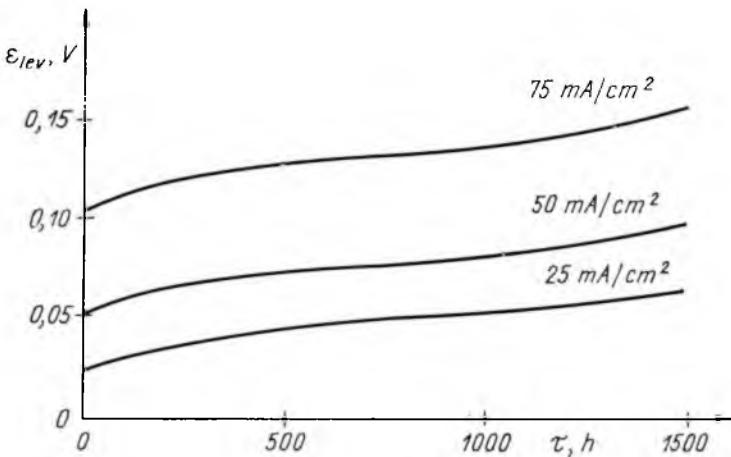
15-2. ábra. Oxigén (levegő) elektród szerkezete

A katódok potenciálváltozását Hg/HgO referenciaelektródhoz viszonyítva a terhelőáram-sűrűség függvényében a következő görbe mutatja (15-3. ábra). A laboratóriumi vizsgálatokra készített cellák katódjainak felülete 120 cm^2 , az alkalmazott elektrolit 30%-os KOH. Megvizsgálva a katódok potenciálváltozását a terhelési idő függvényében, műterhelés alkalmazásával, a kapott értékeket a 15-4. ábra mutatja.

Megjegyezzük, hogy a cellákat a levegő CO_2 tartalmától nem szűrtük, hanem a karbonátosodás elkerülésére 170 óránként egyszer cseréltük az elektrolitot. Az elektrolitcseré észrevehető változást az elektród potenciáljára nem gyakorol.



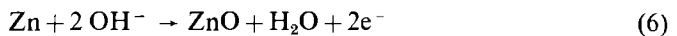
15-3. ábra. Oxigén (levegő) elektród terhelési görbéje különböző hőmérsékleteken (Hg/HgO referenciaelektroddhoz viszonyítva)



15-4. ábra. Oxigén (levegő) elektród potenciálváltozása a működési idő függvényében

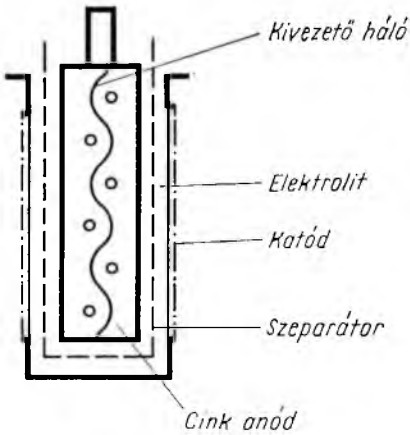
3.2 Cinkanód

Az anódon lejátszódó reakció a következő:

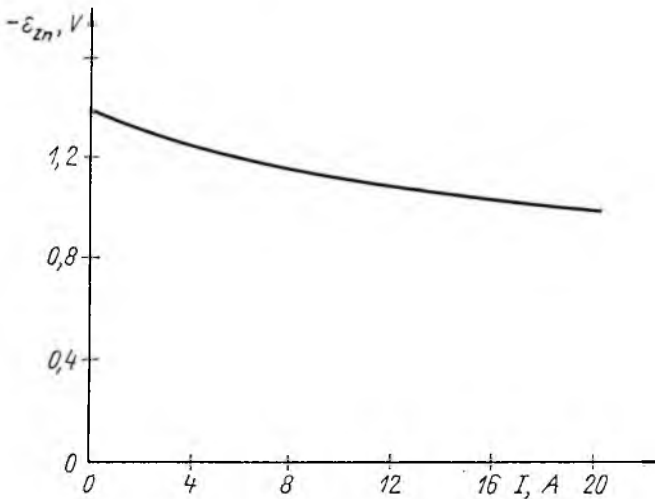


A cink—levegő cellánál alkalmazott nagy áramsűrűségek szükségessé tették a paszvizálódás meggátlását, amely miatt csak nagy porozitású (70% feletti) cinkanód alkalmazható. A pórusos cinkelektroddal ellátott cella szerkezetét a 15-5. ábra mutatja. A cinkelektrodot kisütés után a katódtasakból kiemelve egy másik, ún. töltő-

keretben az elektród újratölthető. Ilyen módon egy új, már feltöltött cinkelektrodot a katód tasakba helyezve a cella azonnal működőképesse tehető. Ennek az ún. mechanikus újratöltésnek az előnye, hogy a cellában a levegőkatódot károsító anódos terhelésre nincs szükség. A cinkanód terhelési görbáját a 15-6. ábra mutatja.



15-5. ábra. Cink—levegő elem szerkezete



15-6. ábra. Cinkelektrod potenciálgörbéje (Hg/HgO referenciaelektrodhoz viszonyítva)

3.3 Vízvesztés

A nagyteljesítményű levegőkatódok szükségszerűen átjárhatók a levegő oxigénje számára. Ez azonban együtt jár azzal is, hogy bár a vizet a hidrofób réteg visszatartja, a vízgőz számára szabad utat hagy.

A vízvesztés mértéke két tényezőtől függ. Egyrészt a cella terhelésétől, amelynek növelésével nő a levegőigény, valamint a cella belső hőmérséklete, így a gőztenzió is, másrészt a levegő relatív nedvességtartalmától.

Méréseink szerint a vízveszteség névleges terhelés mellett a kisebb (CL—1) típusnál 2...5 ml egy kisütés alatt, a nagyobbik (CL—4) típusnál 5...15 ml a levegő nedvességtartalmától függően. Ez a teljes elektrolit mennyiség 5...10%-a.

4. A cink—levegő áramforrás megvalósítása

A felhasználói igényeknek megfelelően többféle típust fejlesztettünk ki laboratóriumi mintapéldány szintig. Ezekből néhány darabot a jövődő felhasználók számára elkészítettünk és próbára átadtunk.

A szabadalmi bejelentés alatt álló technológiák felhasználásával elkészült áramforrások mechanikus anódcserével működnek. A cellák aktiválás (elektrolittal történő feltöltés) nélkül több évig tárolhatók, de egy-egy kisütés után a cinket eltávolítva és a katód tasakokat vízzel kiöblítve, száraz állapotban károsodás nélkül ismét évekre elraktározhatók. Aktivált állapotban 6 hétig, heti 1 vízutántöltéssel eltarthatók, utána célszerű az anódot kiemelni, a katódokat vízzel kimosni és így tárolni.

4.1 CL—1 (6 CL—16) és CL—4 (12 CL 140) típusú cink—levegő áramforrások

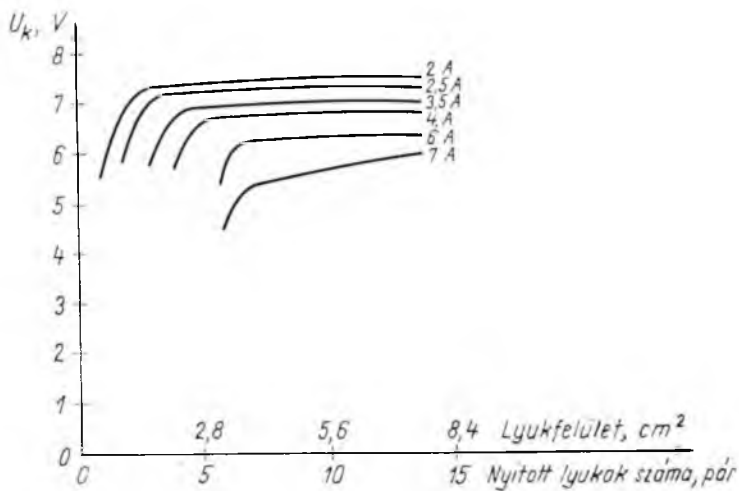
Az alkalmazási próbákon már részt vett típusok elsősorban világítási és egyéb hordozható áramforrásigények kielégítésére készülnek. Főbb paraméterei:

	CL—1 típus	CL—4 típus
Üresjárási feszültség, V	8,1	16,2
Kapocsfeszültség, V	6,0	12,0
Névleges kisütőáram, A	3,0	6,0
Max. kisütőáram, A	6,0	18,0
Kapacitás, Ah	16,0	140,0
Méretetek, cm	8,75×12,2×11	24×24,5×19
Súly (aktiválva), kg	1,085	14
Energiasűrűség, Wh/kg	108	130
Mechanikus töltés ideje, min	5	15

A telepek 6, ill. 12 db sorba kötött cink—levegő cellából állnak. A cellák között a levegőellátás biztosítására 5 mm-es légréseket alkalmazunk. A CL—1 típusú telep képét a 15-7. ábra mutatja. A telep két oldalán 2×2×8 db lyuk található a légellátás biztosítása céljából. A lyukakat tépőszalag takarja le, amelyekből csak annyit célszerű szabadrá tenni a kiszáradás megelőzése céljából, amennyi a telep működéséhez szükséges. A telep karakterisztikáját a szabadrá tett lyukak számának függvényében a 15-8. ábra mutatja. A telep kisütési görbét a 15-9. ábrán láthatjuk. A kisütési görbe viszonylag hosszú egyenes szakaszát az okozza, hogy működés közben a levegőkátód — az egyensúly beállításáig — javul, ami a cinkelektrod kezdeti romlását kompenzálja. A feltöltött telep teljesítménygörbét a 15-10. ábra mutatja. Amint az ábráról is leolvasható — miután a telep súlya kb. 1 kg — 35...40 W/kg fajlagos teljesítményt is szolgáltathat rövid ideig az áramforrás. A CL—4 kisebb fajlagos terhelhetőségű és nagyobb kapacitású áramforrás, fajlagos adatainak jellege a CL—1-hez hasonló, képét a 15-11. ábra mutatja. A szárazon töltött cellák 30%-os KOH elektrolit betöltésével aktiválhatók. A gyakorlati felhasználás szempontjából kényelmesen kezelhető, másik fejlesztett típusunk az ún. vízzel aktiválható típus. Ennél a KOH-t szilárd alakban a cella tartalmazza, így a lúgos elektrolit a cellákban víz beöntésével állítható elő.



15-7. ábra. CL—1 (6 CL 16) cink—levegő áramforrás képe

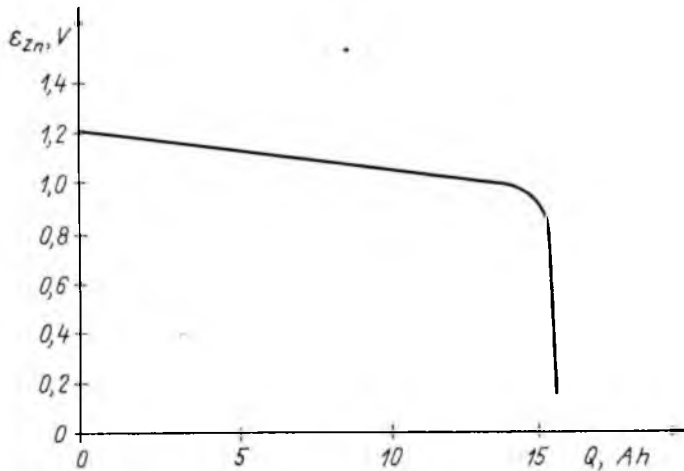


15-8. ábra. CL—1 áramforrás terhelési görbéje különböző nyitott lyukfelületek alkalmazásával

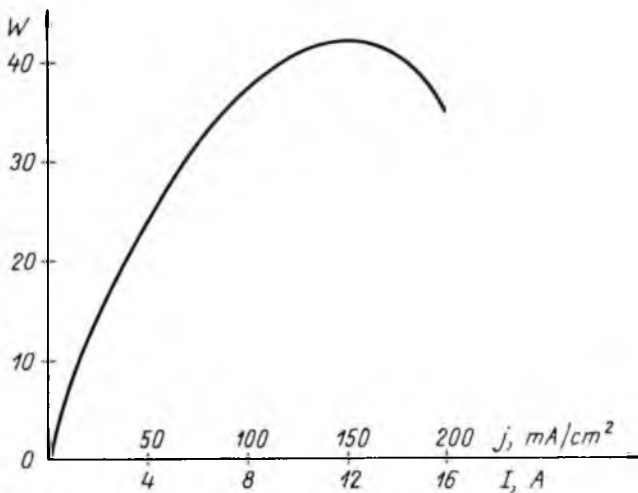
4.2 Cink—levegő áramforrások alkalmazása

A cink—levegő áramforrások alkalmazási területét alapvetően előnyös tulajdonságaik határozzák meg. Ezek a következőkben foglalhatók össze:

1. Igen nagy, a hagyományos ólomakkumulátornál 5...6-szor nagyobb fajlagos energiatartalom.
2. Aktiválatlan állapotban igen hosszú tárolási lehetőség.



15-9. ábra. CL—I kisütési görbéje



15-10. ábra. CL—I teljesítménygörbéje

3. Gyors mechanikus töltési mód, amely majdnem folyamatos üzemet biztosít. Ezek által meghatározott alkalmazási területek a szükségáramforrások, a hordozható és a szabadidő- (camping-) készülékek táplálása stb.

Komoly kutató-fejlesztő munkát folytatunk az áramforrás módosításával, annak járműhajtási célokra történő felhasználása irányában is, amely nagy kapacitású és terhelhetőségű elemek előállítását célozza. Másik fejlesztési irány a kisütés után eldobható (olcsó), kisméretű cink—levegő primer elem előállítása, amelynek fajlagos tárolóképesége a jelenlegi Leclanchè-elemek tízszerese, és kisütési karakterisztikái is lényegesen kedvezőbbek.

Az ilyen típusú korszerű áramforrások iránti igény szükségessé teszi azok mielőbbi kifejlesztését és gyártásba vitelét.



15-11. ábra. CL—4 (12 CL 140) képe

Irodalom

- [1] *Berl, W. G.*: Trans. Electrochem. Soc. 83. 253. (1943).
- [2] *Heyrovsky, J.—Koutecky, J.—Brdicka, R.—Hanus, V.*: Coll. Czech. Chem. Comm. 18. 611. (1953).
- [3] *Bagotckij, U. S.—Shumilova, N. A.—Samoilov, G. P.—Khrushcheva, E. I.*: Electro. Acta vol. 17. p. 1625...1635 (1972).
- [4] *Niedrach, L. W.—Alford, H. R.*: Journ. of the El. Soc. vol. 112. No. 2. p. 117...124 (1965).
- [5] *Kordesch*: Proc of IEEE 51.806. (1963).
- [6] *Horváth P.*: Kémiai áramforrások. Mérnöktoábbképző Intézeti előadások 1973—1976.

16.

Кис energiájú oxigén ionok kölcsönhatásának vizsgálata szilárd szén és platina targettel

DR. LUKÁCS JÓZSEF—GADÁNYI PÉTER

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk célja az volt, hogy az oxigén ionok és a szilárd szén kölcsönhatása során keletkező töltött részecskék energiaeloszlását vizsgáljuk. Az oxigén ionokat izzókátodos Penning-kisüléssel működő Kistemaker-típusú ionforrással állítottuk elő. Első lépésben a méréseket csak 10^{-5} ... 10^{-6} torr közti nyomástartományban végeztük, a nyaláb tömeganalízist nem nyert.

Sikerült 45 eV-os, a későbbiekben pedig 15 eV-os kinetikus energiájú és 20...30 nA intenzitású oxigén ionnyalábot előállítani.

A mérési eredmények röviden úgy foglalhatók össze, hogy mind a szén, mind a platina targetekről visszaszórt pozitív ionok energiaeloszlásában rendre olyan energiájú csúcst kapunk, amely akkora energiavesztéssel magyarázható, mintha a beeső O^+ atomionok szabad oxigén atommal, ill. szabad platina atommal ütköztek volna. Ezeket az eredményeket -300 ... $+600$ °C közötti hőmérsékletű, előzőleg több órán át -900 ... 1000 °C közötti hőmérsékleteken tartott céltárgyaknál kaptuk. A szobahőmérsékletű, előzőleg kiizzított céltárgyakra kapott energiacsúcsokat nem tudtuk értelmezni.

Ezek az eredmények azt jelentik, hogy a platina csak -300 °C felett nem gázfedett, a szilárd szén pedig vagy még ekkor is oxigén gázzal fedett vagy végbement a $C-O^+=CO^+$ reakció és a keletkezett CO^+ ionok 5 eV-os energiával hagyták el a szén felületét.

ИСПЫТАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ КИСЛОРОДНЫХ ИОНОВ, ИМЕЮЩИХ НИЗКУЮ ЭНЕРГИЮ, С ТВЕРДОЙ УГЛЕРОДНОЙ И ПЛАТИНОВОЙ МИШЕНЬЮ

Д-р. И. Лукач—П. Гадани

Резюме

Целью этого испытания являлось измерение распределения энергии заряженных частиц, образованных при взаимодействии твердого углерода и кислородных ионов. Для выделения кислородных ионов применяли источник типа «Кистемакер», работающий разрядом Пеннинга с накаливаемым катодом. В первый шаг пучок не подвергался масс-анализу, и испытания проводились лишь при давлении 10^{-5} ... 10^{-6} мм. рт. ст.

Удалось выделить пучок кислородных ионов с кинетической энергией 45 эв, а в дальнейшем — 15 эв, с интенсивностью 20...30 нА.

Результаты измерений можно кратко обобщить в следующих: в распределении энергии положительных ионов, отраженных с мишеней из угля и из платины, всегда получен такой пик, который объясняется потерей энергии, обнаруживаемой в случае соударения падающих O^+ атомарных ионов со свободными кислородными, или соответственно — платиновыми атомами. Эти результаты получены в случае применения мишеней с температурой -300 ÷ 600 °C, храненных предварительно в течение несколько часов на температуре $+900$ ÷ 1000 °C.

Пики энергии не получены в случае мышеней с комнатной температурой, про-
каленных предварительно.

Эти результаты означают, что платина не покрыта газом только при тем-
пературах выше 300 °C; а твердый уголь и при этих условиях покрыта газом
кислорода, или произошла реакция $C + O^+ = CO^+$, и образованные при этом
ионы CO^+ покидают поверхность угля с энергией 5 эв.

UNTERSUCHUNG DER WECHSELWIRKUNG VON SAUERSTOFF-IONEN NIEDRIGER ENERGIE MIT FESTEM KOHLENSTOFF- UND PLATIN-TARGET

Dr. J. Lukács—P. Gadányi

Zusammenfassung

Zweck dieser Untersuchung war, die die Energieverteilung der bei der Wechselwirkung
der Sauerstoff-Ionen und der festen Kohle entstehenden geladenen Teilchen nachzu-
weisen. Die Sauerstoff-Ionen wurden mit einer Glühkathoden-Kistemaker-Ionenquelle
mit Penning-Entladung hergestellt. In der ersten Phase haben wir das Bündel nicht
massenanalysiert und die Messungen nur im Druckbereich von $10^{-5} \dots 10^{-6}$ torr
vorgenommen.

Es gelang zuerst ein Sauerstoff-Ionenbündel mit 45 eV und danach mit 15 eV
kinetischer Energie und 20...30 nA Intensität herzustellen.

Die Anfangsuntersuchungen erfolgten mit einem Sauerstoff-Ionenbündel von
45 eV. Die Targets wurden bei etwa 1000 °C mehrere Stunden lang in Hochvakuum
entgast. Bei der Bewertung der Messergebnisse wird die erreichte Energiever-
teilung der von der Kohle und Platin rückgestrahlten geladenen Teilchen und die
Mechanismen der möglichen Reaktionen kurz berichtet.

PRELIMINARY STUDY OF THE INTERACTIONS OF LOW-ENERGY OXYGEN IONS WITH SOLID CARBON AND PLATINUM TARGETS

Dr. J. Lukács—By P. Gadányi

Summary

The aim of the study was to measure the energy distribution of charged particles
produced by the interaction of low-energy oxygen ions with carbon. The oxygen
ions were produced by a Kistemaker-ionsource working with a hot cathode Penning-
discharge. In a first step the beam was not mass-analyzed and the measurements
were done only in the pressure range of $10^{-5} \dots 10^{-6}$ torr.

We have succeeded to produce an oxygen ion beam having first about 45 eV and
now about 15 eV kinetic energy, with 20...30 nA intensity.

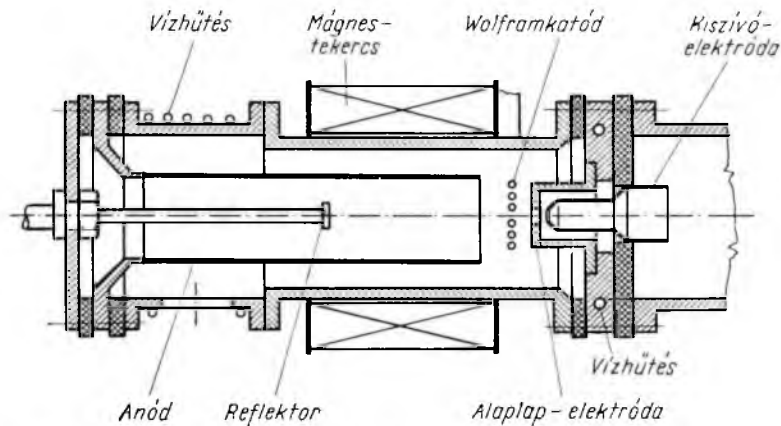
We have made preliminary measurements with 45 eV oxygen ion beam.

The targets were outgassed on the temperature of about 1000 °C for several
hours in high vacuum. Short discussion of the results of the calculated energy distri-
butions of the backscattered charged particles from carbon and platinum targets,
and of the possible reaction mechanisms will be given.

Vizsgálatunk célja az volt, hogy megvizsgáljuk az CO^+ ion addicionális translációs
energiáját, amelyet a $C + O^+$ égési reakció folyamata hozott létre. E munka keretében
összevetettük az ionizált oxigén és szilárd szén gáz-szilárdtest reakciója során kelet-
kező ionizált termékek energiaeloszlását, a beeső oxigén ionnyaláb energiaelosz-
lásával.

Erre a célra kísérleti berendezést fejlesztettünk ki. Ez a berendezés a következő részekből áll: izzókatódos Penning-kisüléssel működő Kistemaker-féle ionforrásból [1], az ionnyaláb alakítására és fókuszálására szolgáló elektrosztatikus lencséből, a fűhető targetból, a gömbalakú detektáló elektródából, amely körülveszi a targetet az azt elhagyó töltött részecskék detektálása céljából, a Faraday-kalickából, amely megvédi a detektorgömböt a kívülről jövő bizonytalan eredetű szórt ionoktól, a targetfűtésből, és végül a mérő- és szivattyúzórendszerekből.

Azért döntöttünk úgy, hogy Kistemaker-féle ionforrást építünk, mivel ennek a forrásnak megépítése egyszerűbb feladatnak tűnt egy duoplazmotron megépítésénél, tekintettel arra, hogy ionforrások építésében nem volt tapasztalatunk. A Kistemaker-féle ionforrás előnye, hogy viszonylag nagy intenzitású nyalábot ad, kis ionenergia és kis ionenergia-szórás mellett. A Kistemaker-féle forrást olyan nagy méretűre építettük, amennyire csak lehetett, hogy elég nagy ionintenzitást kapjunk kis kiszívófeszültségek esetén is. Az izzókatódot, ami egy 1 mm átmérőjű wolframdrótból hajlított síkspirál volt, 50 A egyenárammal fűtöttük. Az anódfeszültség kb. 40...50 V volt. A kiszívófeszültség: 100 V. A reflektorlemez katódpotenciálra volt kötve. Az alaplemez potenciálját kísérletileg állítottuk be, a legmegfelelőbb értékre. Az ionforrást egy vízzel hűtött gőzcsapdával ellátott, 100 l/s szívásteljesítményű olajdifúziós szivattyú szívta. A hengeres cső alakú anód vörösrézből készült és vízzel volt hűtve. Az ionforrás házát és az összes többi fémalkatrészt rozsdamentes acélból készítettük. A szigetelések teflonból és üvegvázas epoxi műgyantából készültek. Az alaplemez-elektrodát is vízzel hűtöttük. Az ionforrás háza és különösen a katód-fűtőáram átvezetői is vízzel voltak hűtve. Mindegyik hűtővízkör el volt szigetelve egymástól, hiszen mindegyik elektródának a többitől különböző potenciálja van.

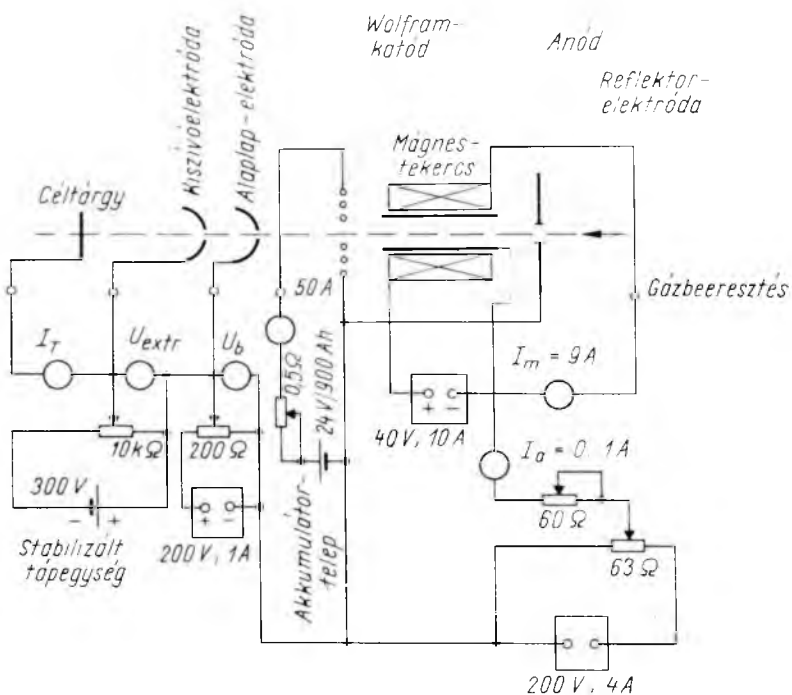


16-1. ábra. Az ionforrás keresztmetszete

A 16-1. ábrán az ionforrás szerkezeti részletei láthatók. Célunk az volt, hogy minél nagyobb intenzitású, minél kisebb energiájú oxigénnyalábot állítsunk elő.

Kísérleti munkánk során a következő eredményeket kaptuk: Az ionforrásból nyerhető pozitív oxigénionok minimális energiája kb. 150 eV, mivel az ionforrás anódfeszültségét nem tudtuk 40 V alá csökkenteni, mert ilyenkor a kiszívási áram rendkívül lecsökken. A kiszívófeszültséget sem lehetett 100 V alá csökkenteni, mert akkor a kiszívott ionáram intenzitása csökkent le igen jelentősen.

Amint az ismeretes, a Penning-kisülés során az izzókatódból emittált elektronok a hengeres anód felé repülnek és annak tengelye körül a tengelyirányú mágneses tér hatására spirál pályákat kezdenek leírni, a hengeres anód tengelyével párhuzamos tengely mentén. Ennek következtében azon pozitív ionok számára, amelyek a gázban ütközési ionizációval keletkeztek, potenciálvölgy keletkezik az ionforrás hossztengegyében. Lehetséges tehát, az ionokat olyan nyaládba fókuszálni, amely nyaláb a kiszívóelektródába nyúlik bele, feltéve, hogy megfelelően választjuk meg az anód, az alaplapelektróda és a kiszívóelektróda feszültségét. Ha az anódfeszültség $+40\text{ V}$, a kiszívófeszültség -100 V , az alaplapelektróda feszültségét kísérletileg úgy állítjuk be, hogy a kiszívott ionnyaláb intenzitása maximális legyen. Az optimális alaplapfeszültség $+5 \dots -10\text{ V}$, a katódhoz képest. (Minden korábbi feszültséget a katódhoz képest adtunk meg.) Ebben az esetben meglehetősen nagy elektronáram folyik az alaplap-elektródára. Az ionforrás teljes villamos kapcsolási rajza a 16-2. ábrán látható.

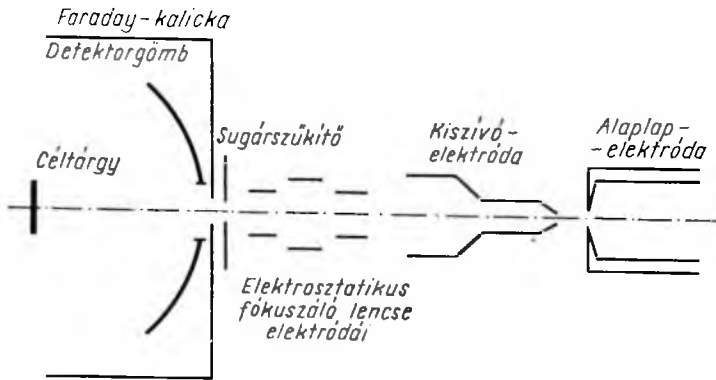


16-2. ábra. Az ionforrás kapcsolási rajza

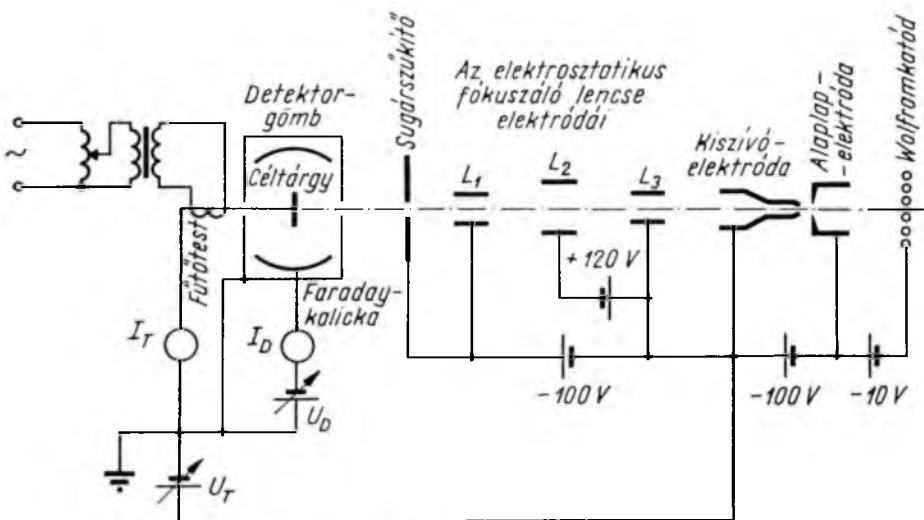
A kiszívóelektróda mögött elhelyezkedő elektrosztatikus lencsével az ionnyalábot a targetre tudjuk fókuszálni, lehetőleg úgy, hogy a beeső nyaláb ne érintkezzen a detektorgömbbel. Ezt azért érjük el, hogy a detektorgömböt egy árnyékoló fémdobozzal (Faraday-kalicka) vettük körül, amelyet villamosan a targetre csatlakoztunk. A beeső ionnyaláb maximális intenzitása 20 mm átmérőjű targeten, kb. $50 \dots 100\text{ nA}$ volt, 45 eV kinetikus energia esetén.

Az ionforrás alaplap-elektródájának, az elektrosztatikus fókuszáló lencse elektródáinak, a targetnek, a detektorgömbnek, és az őt árnyékoló Faraday-doboznak a geometriai elhelyezése a 16-3. ábrán láthatók. A fő vákuumkamrát, amelyben a de-

tektor, a target stb. elhelyezkedik, vízhűtéses olajgőzcsapdával ellátott 1200 l/s szívásteljesítményű olajdiffúziós szivattyúval szívjuk, amelyet viszont egy 175 m³/h szívásteljesítményű rotációs szivattyú szív. A teljes mérőkapcsolás és a targetet gáztalanító fűtőkör kapcsolása a 16-4. ábrán látható [2]. A 45 eV-os kinetikus energiájú pozitív oxigén ionokat azáltal tudjuk előállítani, hogy a targetre +100 V fékezőfeszültséget kapcsolunk.



16-3. ábra. A mérés geometriai elrendezése



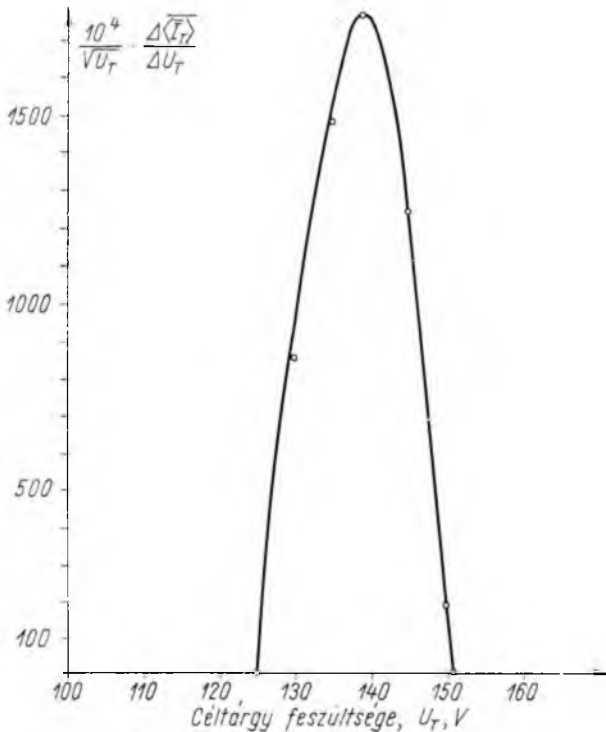
16-4. ábra. A mérési kapcsolás rajza

Megpróbáltuk alkalmazni a Gustafsson és a Lindholm-féle 11-elemes fékezőlencsét [3], de a teljes ionáram tekintélyes csökkenését tapasztaltuk, annak függvényében, ahogy az ionok kinetikus energiája az ionforrás anód feszültségének megfelelő ionenergia alá csökkent. Mindazonáltal sikerült 15 eV-os kinetikus energiájú, 20... 30 nA intenzitású pozitív oxigénion-nyalábot létrehozni. A szórási méréseket nem sikerült elvégezni ezzel a kis energiájú ionnyalábbal, mert ebben az esetben a targetről

visszaszórt részecskék nyalábjában a pozitív töltésű részecskék aránya a negatív töltésűekhez képest 1-nél kisebb, és tömegszeparáció nélkül nem tudtuk alkalmazni a számítási módszerünket a szórt pozitív ionok energiaeloszlásának meghatározására. Ebben a helyzetben meg kell elégednünk a 45 eV-os kinetikus energiájú ionnyalábbal.

Mínt hogy a targetet gáztalanítani kell, amit hevítéssel végeztünk el, ezért a targetet üregesre képeztük ki, és az üregben helyeztük el a fűtőtestet, amely egy 1 mm átmérőjű wolfram drótból tekercselt hengeres spirál volt, és amelyet 100 A_{eff} változóárammal fűtöttünk.

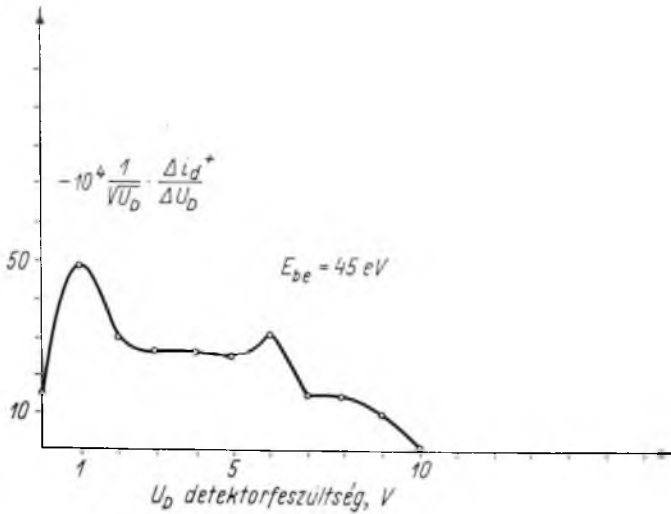
A wolfram elektronemissziója és az igen nagy fűtőáram szórt mágneses tere az igen kis értékű ionáramok mérését zavarja, ezért a következőképpen jártunk el: az ionszórás mérése előtt a targetet 1000 °C hőmérsékleten tartottuk 3 órán át. E hőciklus után, a targetfűtést kikapcsoltuk, a targetet hagytuk lehűlni kb. 500...600 °C-ra, amely hőmérsékleten a fűtőtekercs elektronemissziója már teljesen megszűnik, és ekkor kezdtük el mérni a szórt ionok áramát. Minden nagy hőmérsékletű mérést 300...600 °C közötti hőmérsékleten végeztünk.



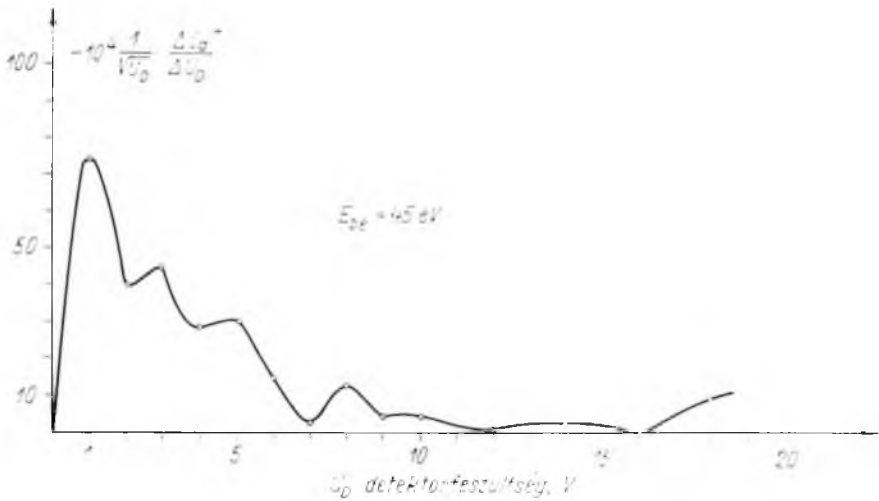
16-5. ábra. A beeső ionok mért energiaeloszlása

A 16-5...16-9. ábrán láthatjuk a kiértékelte mérési eredményeket a dr. Antal János-féle kiértékelési módszer alapján.* A 16-5. ábra mutatja a beeső ionnyaláb energiaeloszlását meleg és hideg platinára átlagolva, valamint grafittargetek esetén. Az átlagolási eljárás, a következő volt: Megmértük az I_T targetáramot és az I_D de-

* Dr. Antal János által kidolgozott, eddig még nem publikált elmélet és személyes megjegyzések alapján.



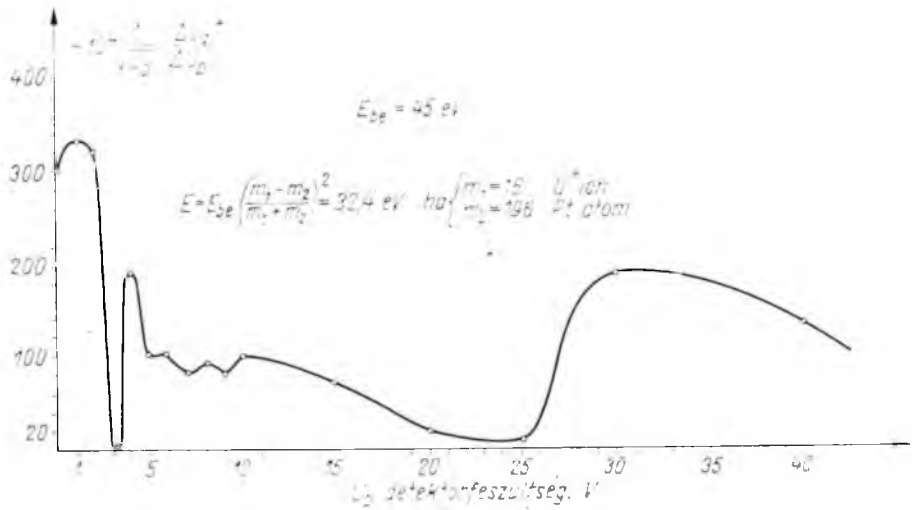
16-6. ábra. A szórt ionok mért energiaeloszlása szobahőmérsékletű platina céltárgyon



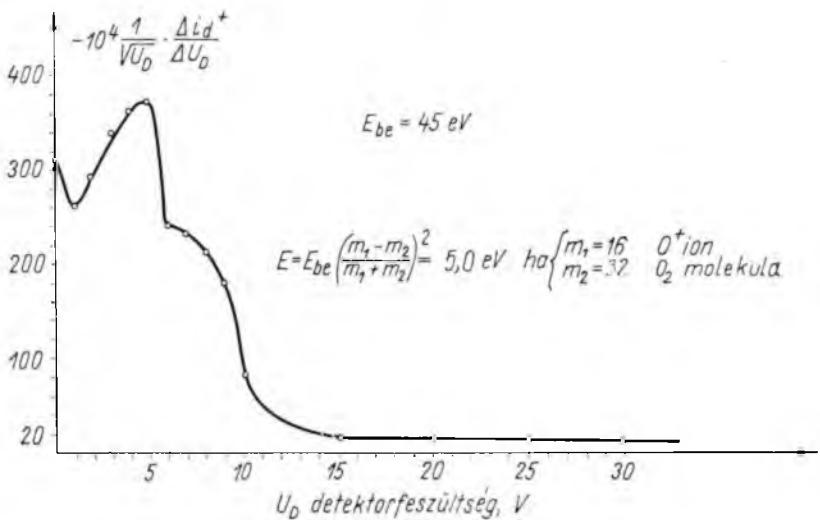
16-7. ábra. A szórt ionok mért energiaeloszlása szobahőmérsékletű szilárd szén céltárgyon

tektoráramot, mint az U_T targetfeszültség függvényeit rendre mind szobahőmérsékletű grafit, mind meleg grafit, mind szobahőmérsékletű platina és meleg platina target esetén, amikor az U_D detektorfeszültség 0 volt. Az azonos körülmények esetén kapott eredményeket átlagoltuk. Így kaptuk \bar{I}_T és I_D értékeit a négy főesetben. Azután a két értéket mind a négy főesetben összeadtuk:

$$I_T + I_D = \langle \bar{I}_T \rangle.$$



16-8. ábra. A szórt ionok mért energiaeloszlása nagy hőmérsékletű platina céltárgyon



16-9. ábra. A szórt ionok mért energiaeloszlása nagy hőmérsékletű szilárd szén céltárgyon

Így kaptuk az $\langle \bar{I}_T \rangle$ -vel jelölt értéket. Most a négy főesetre nézve átlagoltuk az $\langle \bar{I}_T \rangle$ értékeket, U_T állandó értéke esetére. Így kaptuk az újabb átlagot, amelyet $\langle \bar{I}_T \rangle$ -vel jelöltünk. Az előzőkből világos, hogy ez az $\langle \bar{I}_T \rangle$ érték U_T függvénye. A 16-5. ábra mutatja e mennyiség U_T szerinti deriváltját $\sqrt{U_T}$ -vel osztva és szorozva 10^4 -nel. Így a beeső ionok energiaeloszlásával arányos mennyiséget a könnyebb összehasonlítás kedvéért ugyanolyan alakra hoztuk, mint a szórt ionok energiaeloszlására jellemző mennyiséget. Összehasonlításképpen bemutatjuk a 16-6. és a 16-7. ábrákat, amelyeket

rendre szobahőmérsékletű platina és grafit targetekkel mértünk. Minden egyes mérés előtt természetesen az összes targetet 1000 °C hőmérsékleten, 3 órán át gáztalanítottuk.

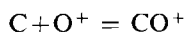
Mint tudjuk, az ionáramnak a gyűjtőelektróda fékezőfeszültsége szerinti deriváltja ($-e$ -vel (az elemi töltéssel) megszorozva a beeső ionok energiaeloszlásával arányos mennyiséget ad. (Ez akkor, és csakis akkor igaz, ha az ionáram vagy csak csupa pozitív, vagy csupa negatív töltésű részecskékből áll).

Jó ionforrás esetén az ionok ΔE energiaszórása kicsi az E_{\max} maximális ionenergiához képest. Sajnos ez a kísérlet fő nehézsége, mivel E_{\max} -ot tetszőlegesen tudjuk csökkenteni a fékezőlencsével, de a ΔE energiaszórás nem csökkenthető, úgyhogy a relatív energiaszórás $\Delta E/E_{\max}$ nő, és 10 eV beeső ionenergiánál már a ΔE energiaszórás nagyobb volt, mint E_{\max} . Emiatt az összes itt közölt mérést fékezőlencse nélkül, $U_T=100$ V fékezőfeszültséggel végeztük. A 16-6. és 16-7. ábrákon látható eredményeket, amelyek a szobahőmérsékletű targetekről való ionvisszaszórásra vonatkoznak, elméletileg értelmezni nem tudjuk, ezért csak a nagy hőmérsékletű targetekről való ionvisszaszórást kíséreltük meg értelmezni. Ez azzal függ össze, hogy a szobahőmérsékletű targetek a mérés alatt valószínűleg gázfedettek.

Végül a 16-8. és a 16-9. ábrán láthatók a nagy hőmérsékletű mérések eredményei, ahol rendre bemutatjuk a szórt pozitív ionok energiaeloszlását, nagy hőmérsékletű platina és grafit targetekről. A szórt ionoknak ezek az energiaeloszlásai azt mutatják, hogy a platina targetről való visszaszórás energiaeloszlása csak avval a feltevessel magyarázható meg, hogy az ionforrás O^+ atomionokat emittál. Feltételeztük, hogy a platinán kémiai reakció nem megy végbe. Másrésztől a platina targetről egy jól meghatározott 32 eV-os ionvisszaszórási csúcsot kaptunk. Amint azt az irodalomból [2] tudjuk, a visszaszórt ionok energiaeloszlása a 100...200 eV közötti beeső energiatarományban jól megmagyarázható egyszerű szabad atomok kettős ütközésével.

Ezen az alapon a mért energiacsúcs megmagyarázható azon feltételezéssel, hogy a target atomjai szabad platina atomok, 196-os tömegszámmal és a bombázó részecske pedig egy 16-os tömegszámú részecske, azaz egy O^+ atomion (l. a 16-6...16-9. ábrákon feltüntetett képleteket). Mivel az ionforrás üzemi körülményei azonosak voltak mind a platina, mind a grafit bombázása idején, fel kell tételeznünk, hogy mindkét esetben a beeső ionok O^+ atomionok voltak.

Ebben az esetben a grafit targetről visszaszórt ionok energiaeloszlására kapott eredmények csak egy 32-es tömegszámú targetrészecskével való ütközéssel magyarázhatók meg, ami egy oxigén molekula tömegét jelenti. Ez egyben azt is jelenti, hogy vagy képtelenek voltunk a grafitot gáztalanítani, vagy pedig fel kell tételeznünk, hogy a következő kémiai reakció ment végbe:



és az ionizált termék a CO^+ (vagy ami esetleg egy más reakció révén jött létre) 5 eV-os kinetikus energiával hagyja el a grafitfelületet.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk megköszönni mindazok értékes segítségét, akiknek a munkája benne van az ismertetett eredményekben. Elsősorban König Aladárnak, a Budapesti Műszaki Egyetem Fizikai Intézete adjunktusának, a berendezés építése és a kísérletek során adott hasznos tanácsokért és útmutatásért, Dr. Antal Jánosnak, a Buda-

pesti Műszaki Egyetem Fizikai Intézete tanárának értékes tanácsaiért és a mérési eredmények kiértékelésében való részvételéért, végül Ádám Jánosnak, az EIVRT Kutató Intézete tudományos osztályvezetőjének, aki a wolfram katódokat és wolfram fűtőszálakat bocsátotta rendelkezésünkre.

Irodalom

- [1] *Kistemaker, J.—Douwes Dekker, H. L.:* Physica, 16. (1950) 198, 209.
- [2] *Arifov, U. Al.—Gruics, D. D.—Jermakov, G. E.—Halmirzajev, Z.:* Atomnue sztolknovenyija na poverhnosztyi tvjordovo tyela. Akagyemija Nauk Uzbekszkoy SzSzR. Insztitut elektronyiki. Izdatyelsztvo „FAN” Uzbekszkoy SzSzR. Taskent. (1972) Second chapter. p. 28—55.
- [3] *Ed. by D. R. Bates:* Atomic and molecular processes. (1962) Academic Press. New York and London p. 705.

FÉLVEZETŐ-, VILLAMOS ÉS HŐTECHNOLÓGIÁK

17.

Plazmatechnológiák alkalmazása a szilikátiparban

BÓDAY OTTÓ—KRAJCSOVICS FERENC

ÖSSZEFOGLALÁS

Újszerű eljárások és speciális plazmagenerátorok kidolgozása. Olcsó és nagy mennyiségben rendelkezésre álló alapanyagok felhasználásával minőségileg és esztétikailag magasabb színvonalú termékek előállítása. Élőmunka-megtakarítással járó és nagyüzemi sorozatgyártásra alkalmas korszerű technológiák tervezése. Normál betonból készült felületek „nemesítése”. Közöséges építési téglák minőségének javítása. Egyéb lehetőségek. A nagy hőmérsékletű plazma hatására kialakult új fázisok minősítése. Az eljárás jelentős és sokoldalú gazdasági előnyöket biztosít. Távlati lehetőségek a plazmakémia területén.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ В СИЛИКАТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

О. Бодаи—Ф. Крайчович

Резюме

Разработка новых методик и специальных плазменных генераторов. Производство высококачественных и эстетических продуктов из дешёвых, располагаемых в большом количестве сырьев. «Облагораживание» поверхностей, изготовленных из нормального бетона. Улучшение качества обыкновенных строительных кирпичей. Квалифицирование новых фаз, образованных под действием высокотемпературной плазмы. Изложенная методика обеспечивает значительные и многосторонние экономические достоинства. Перспективные возможности плазменной технологии.

ANWENDUNG VON PLASMATECHNOLOGIEN IN DER SILIKATINDUSTRIE

O. Bóday—F. Krajcsovics

Zusammenfassung

Ausarbeitung neuartiger Verfahren und Spezial-Plasmageneratoren. Herstellung von qualitätsmäßig und ästhetisch hochstehenden Erzeugnissen durch Verwendung billiger und in grossen Mengen vorhandener Grundstoffe. „Veredlung“ von Oberflächen aus Normalbeton. Qualitätsverbesserung normaler Bauziegel. Qualifizierung der durch das heisse Plasma entstandenen neuen Phasen. Das Verfahren bietet erhebliche und vielseitige wirtschaftliche Vorteile. Perspektivische Möglichkeiten.

Summary

Development of a new technique and special plasma generators. Production of products, representing a higher level in quality and aesthetics, by using basic materials which are cheap and available in large quantities. "Refining" of surface made of normal concrete. Improvement of qualities of normal building bricks. Classification of new phases arising under the effect of high-temperature plasma. Significant and combined economic advantages arise from the technique. Perspective outlook in the field of plasma technique.

1. Bevezetés

Agyagból készült használati tárgyainak előállításakor az ember évezredek óta használja az égetési technológiát, amellyel az alapanyag felületi, ill. keresztmetszeti tulajdonságait lehet befolyásolni. A technika fejlődésével a fűtőanyagok fajtája, az égetés határfoka és költségei, a hőkezelő berendezések, a folyamat ellenőrzése és szabályozása számottevően változott.

A lakások tömeges építésének követelménye forradalmasította az építési technológiát. A teljes technológiai rendszer egyes fázisai gyorsabban, más részei lassabban fejlődtek. Különösen a homlokzatképzési eljárások tekintetében volt érezhető, hogy a mennyiségi változás nem járt együtt a minőség javulásával. A gazdaságos homlokzatképzési eljárások nem nyújtottak kellő variációs lehetőséget és esztétikai szempontból sem feleltek meg. Az igényesebb eljárások pedig magas fajlagos költségük, valamint nagy élőmunka-igényük miatt kerültek csak szűkebb körben alkalmazásra. A gazdaságos és esztétikai szempontból megfelelő homlokzatképzésnek a felület keramizálását tekintették a szakemberek. A 60-as évek elején voltak is próbálkozások acetilén lánggal és villamos ív segítségével a felületek keramizálására. A laboratóriumi méretű kísérletek sikerei után azonban bebizonyosodott, hogy nagyüzemi — házgyári — méretekben egyik kipróbált technológia sem valósítható meg.

Ilyen előzmények után indult meg Intézetünkben 1973-ban, az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság megbízásából, a homlokzatképzés nagyüzemi gazdaságos technológiájának kutatása. A kutatási munka kezdetétől részt vesz a munkában a paneles technológia profílgazdája, a 43. sz. Állami Építőipari Vállalat.

2. Felület keramizálás plazmatechnológiával

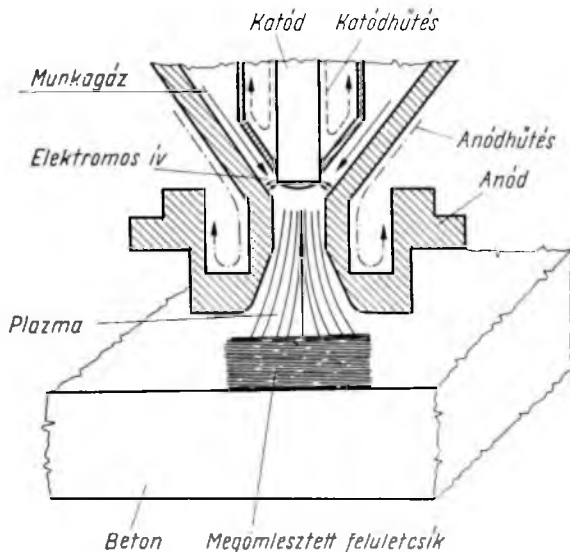
A beton homlokzati panelek felületkezelésével kapcsolatos munka során két alapvető kívánalmat kellett kielégíteni:

- a kidolgozandó technológia beilleszthető legyen a házgyári technológiai rendbe, azaz 12 m²-nyi felület 15 perc alatt készüljön el;
- a technológiai berendezések üzemeltetési költsége ne haladja meg az 50 Ft/m² értéket.

Ezen alapvető követelmények kielégítésére, a korábbi kísérleti eljárások tapasztalatait is figyelembe véve, plazmatechnológiai eljárás került kidolgozásra. Az eljárás lényege, hogy a beton felülete előtt, meghatározott körülmények között működő plazmagenerátort mozgatunk. A felülettel érintkező plazma a beton felületét meg-

olvasztja. Ez az ömledék újra megdermedve műszaki és esztétikai szempontból jó, összefüggő üveges réteget ad a felületen.

A belsejében plazmagenerátort egyenáramú (300...700 A), kisfeszültségű (30...250 V) tápegységre kapcsoljuk, majd két rögzített elektród között átütéssel villamos ívet hozunk létre. Az elektródok között égő villamos íven nagy sebességgel áthaladó plazmaképző gáz (pl. N_2) felmelegszik és plazmaállapotba kerül. A plazmagenerátorból kinyúló nagy hőmérsékletű (5000...20 000 °K), kedvező fizikai paraméterű nagy energiátartalmú plazma technológiai feladatok megoldására alkalmas (17-1. ábra).



17-1. ábra. A plazmagenerátor üzemelésének vázlatos bemutatása

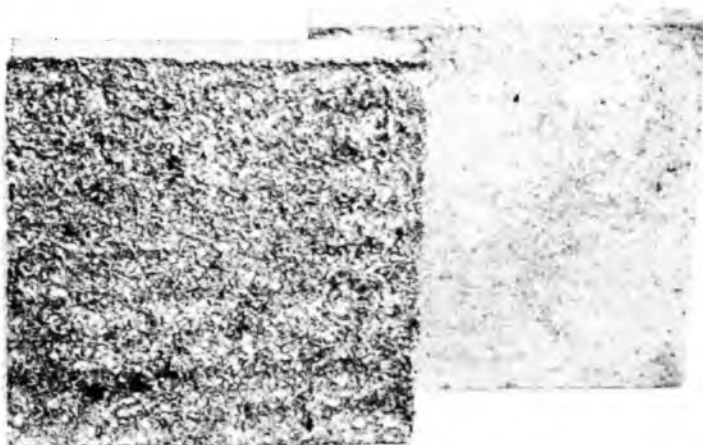
A szabadba áramló plazmaláng mérete — az üzemeltetési paraméterek megválasztásától függően — 150...250 mm hosszú és 6...100 mm átmérőjű. Alakja a kiáramló gáz nagy sebessége miatt stabil és független a plazmagenerátor térbeli helyzetétől.

A plazmagenerátort erre alkalmas felületű tárgy felett mozgatva a felületen meghatározott szélességű keramizált sáv keletkezik. A megömlesztendő anyag minőségétől, a plazmagenerátor konstrukciójától és üzemeltetési paramétereitől függ a megömlesztett sáv szélessége. A keramizált sávok kismértékű átfedésével homogéne keramizált felület állítható elő. (A 17-2. ábra hőkezelés nélküli és plazmával kezelt betonfelületet szemléltet.) Az áramerősségnek, a gáz sebességének és a gáz minőségének, a plazmagenerátor munkadarabtól mért távolságának, a plazmagenerátor és munkadarab relatív mozgási sebességének, valamint a munkadarab anyagának változtatása különböző sáv szélesség és különböző sávmélység előállítását teszi lehetővé.

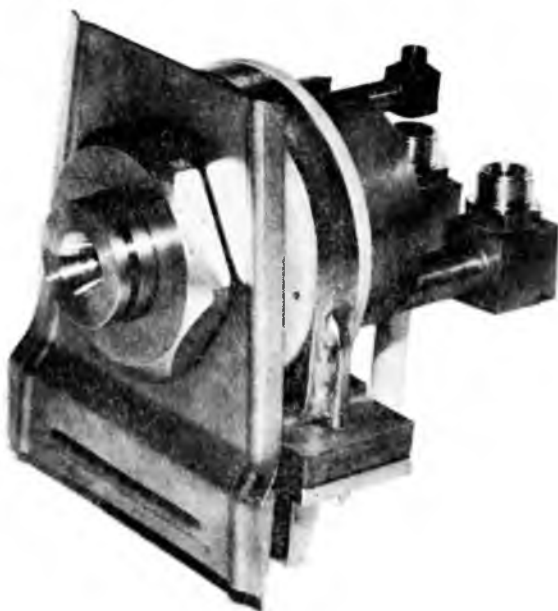
Több azonos felépítésű plazmagenerátor egyidejű alkalmazásával a munkavégzés sebessége, különböző felépítésű plazmagenerátor alkalmazásával pedig a variációk száma növelhető.

A beton-, ill. kerámia felületek plazmával történő megömlesztése mellett színezésük is megoldható. A felületek megömlesztésével egyidejűleg, vagy azt megelőzően a felületre színezőanyagok vihetők fel. Ezek az anorganikus színezőanyagok a

felület megömlesztésekor beépülnek, feloldódnak, vagy elkeverednek az alapanyaggal. Így az alapanyag természetes színének, valamint a színezők színének keverékével egyenletes, színes felület alakítható ki. A színezőanyagokat, ún. kísérő komponensekkel (pl. Al_2O_3 , SiO_2) különböző arányba keverve az alapszínnek különféle árnyalatai érhetők el a költséges színezőanyagok fajtágos felhasználásának egyidejű csökkentése mellett.



17-2. ábra. Plazmával kezelt és hőkezelés nélküli normálbeton felületek



17-3. ábra. Betonfelületek ömlesztésére kidolgozott plazmagenerátor

A kutatás során

- meghatároztuk azokat az elvi- és konstrukciós lehetőségeket és feltételeket, amelyek a plazmagenerátorokra vonatkozó tervezési feladatoknál alkalmazhatók. A kitűzött konkrét feladatnak megfelelő optimális működési paraméterekkel rendelkező plazmagenerátort dolgoztunk ki (17-3. ábra). A sorozatgyártásra is alkalmas plazmagenerátor elektródáinak garantált minimális élettartama 8 óra, 500 A plazmaáram mellett;
- meghatároztuk azokat a működési paramétereket, amelyek biztosítása a megbízható, automatizált üzemvitel feltétele. Az eredmények alapján a VKI Villamos Hajtások osztályával együttműködve egy nagyteljesítményű tápegységet hoztunk létre, hűtőegységgel, gázbiztonsági berendezéssel és gyűjtőegységgel együtt;
- kidolgoztuk a különböző méretű homlokzati panelek felületi keramizálásához szükséges mozzgóberendezés tervezési irányelveit és elvárt működési paramétereit;
- különböző megoldási módokat dolgoztunk ki a szükséges munkagáz biztosítására;
- előzetes kalkulációt készítettünk a kidolgozott technológia beruházási, ill. üzemeltetési költségeire vonatkozóan.

3. Az eljárás értékelése

Az újszerű eljárás lehetővé teszi az épületfizikai követelmények biztosítása, ill. javulása mellett — a felületek megömlésztésével egyidőben — a házgyári épületek homlokzati képeinek nagy variációs lehetőségét, és ezzel az egyre komolyabban jelentkező esztétikai igények kielégítését is.

Az eljárás előnye a fentiek mellett, hogy a felületek plazmával történő megömlésztésével újszerű, de emellett pórusos bevonat jön létre. A pórusosság — az Építőipari Minőségvizsgáló Intézet minősítése szerint — a hagyományos építőanyagokkal azonos páradiffúziós (szellőzési) követelményeket elégíti ki. Az ily módon keletkező felület fagyállóság szempontjából nem rosszabb, mint az alapanyag, maradéktalanul megfelel az időállósági és az épületek felületével kapcsolatos technikai követelményeknek. A megömlésztett felület amellett, hogy esztétikailag teljesen újszerű megoldásokat tesz lehetővé, üveges fényét az atmoszféra által kifejtett igénybevételek hatására sem veszti el, és a felületek tisztántartása akár mosással, akár természetes úton (esőzés) biztosítható. A plazmatechnológia a nagyelemes építési mód területén alkalmazott különböző építményfajták (pl. lakás, középület, ipari létesítmények) és minden szilikát alapanyagú korszerű építéstechnikával (pl. alagútzsalsal) előállított produktum, valamint a könnyűszerkezetes építési mód homlokzati panelszerkezetének iparosított, automatikus, új felületképzési módszere is.

Az olcsó és gyors technológiával színes, változatos rajzolatú sík és domború felületek alakíthatók ki egyenletes minőségben. A keletkezett felületek alkalmasak homlokzatképzésre, belső terek, éttermek, közcélú helyiségek falának burkolására, díszítésére. Az égetett betonfelületek élettartama meghaladja az alapanyagként használt betonokét. Az eljárás az anyag nedvességtartalmától és a klímaviszonyoktól (környezet páratartalma, hőmérséklete, téli-nyári üzem, szabadtéren vagy zárt helyiségben stb.) független technológiát biztosít.

A nagy termelékenységű, sorozatgyártásra alkalmas eljárás a hazai és a külföldi házgyárok számára aránylag kis beruházási költség mellett jelentős további meg-

takarítást jelent egyrészt azért, mert nincs szükség külön speciális homlokzatképző anyagokra a házgyári panelek gyártásánál, másrészt a homlokzatképzés technológiai fázisait egyetlen, rövid, automatikusan kivitelezhető munkafolyamatra redukáljuk.

Színes felületek kialakítása esetén a színezőanyagban jelentős megtakarítás érhető el, mivel a hagyományos színes felületek előállításakor a megfelelő pigmenteket — gyártástechnológiai okokból — a homlokzati beton teljes anyagában keverik el, noha a színezőhatást csak a felületen levő színezőanyagok tudják kifejteni. A plazmatechnológia az azonos színhatást kb. egy nagyságrenddel kevesebb mennyiségű színezőanyag felhasználásával éri el, mivel a plazmakezelés előtt vizes szuszpenzióval közvetlenül a felületre viszi fel a szükséges anyagmennyiséget.

A 43. sz. ÁÉV szakemberei előkalkulációs számítás alapján rangsorolták a plazmával kezelt homlokzatot és a többi, jelenleg alkalmazott homlokzattípusokat az egységárra vonatkozóan, és becsléssel sorrendet állapítottak meg a különböző homlokzattípusok esztétikai megjelenésére is. Ennek az értékelésnek az eredményeit a 17-1. táblázatban foglaltuk össze.

17-1. táblázat

Különböző homlokzatok rangsorolása

Sorrend	Egységár, %	Esztétikai megjelenés
1	A = 100	H
2	I = 105,8	G
3	C = 106,3	J
4	D = 108,1	B
5	B = 130,0	E
6	F = 150,7	F
7	E = 156,4	C
8	G = 325,5	D
9	H = 347,5	A

A nagybetűs jelölések:

- A) Alul gyártott, sablonfelület által simára képzett natúr beton homlokzat normál gyártósori betonból.
- B) Felületmintázott (textúrás) natúr beton homlokzat, NSZK import műanyag matricával, alsógyártásban készítve.
- C) Fagyálló, fehér mészközüzálékkel, fehér cementtel készült, alsógyártású, kimosott homlokzat.
- D) Folyami kavicsal, szürke cementtel, 8% Bayer vasoxidbarna pigmenttel színezett, alsó gyártású kimosott homlokzat.
- E) Alul gyártott natúr beton homlokzati felületre habarcsszórással utólag felhordott, 3 mm szemcseméretű akrilgyanta kötőanyagú DEKOLIT P—7200 bevonat kék színben.
- F) Alul gyártott natúr beton homlokzati felületre habarcsszórással utólag felhordott 2 mm szemcseméretű, akrilgyanta kötőanyagú STRUKTURIT P—7400 bevonat, fehér színben.
- G) Táblásított, 20×20 mm-es színes mázas kötőanyag kizmozaik burkolat, az alsó gyártás ütemében a szerkezeti betonba ágyazva.
- H) 70×100 mm-es pirogránit lapburkolat sötétzöld színben, az alsó gyártás ütemében a szerkezeti betonba ágyazva, utólag fugázással.
- I) Alsó gyártású natúr beton homlokzati felület, érlelés után plazmálással megömlesztve.

4. A kialakult réteg minősítése

Megkezdjük a plazmakezelés hatására kialakuló ömledék tulajdonságainak minősítését és a fázishatáron kiépülő kapcsolatok jellegére vonatkozó részletesebb vizsgálatainkat.

A Villamoskerámia- és Hőtechnikai Főosztály szakembereinek közreműködésé-

vel a plazmakezelési és betonkészítési technológia egyes tényezőinek változtatásával kialakuló különféle ömledékrétegek minőségének értékelésén túlmenően, elsősorban a plazmakezelés hatására megjelenő újszerű ömledékrétegek tulajdonságainak megismerésével foglalkoztunk.

A felületen az üveges állapotú anyag kialakulása egyértelműen bizonyítja azt, hogy a nagyhőmérsékletű plazmaláng hatására a felületen a beton hidratációs kötése megszűnik, és helyette üvegekötések keletkeznek.

A kötések a következőképpen alakulhatnak ki: a hő hatására a kvarcsemcsék felületi rétege, valamint a szemcsék közét kitöltő cement megolvad. A kettő véletlenszerű arányának megfelelően elegyednek — ezt elősegíti a plazmaláng nagy áramlási sebessége is — és adott összetételű, alacsony lágyulási hőmérsékletű, több oxidból álló üveg képződik. Ahol nincs a környezetben cement (pl. nagyobb kvarcsemcsék kiemelkedő részein), csak SiO_2 -ből álló üveg—kvarcüveg alakul ki. Ez az olvadék magával ragadja a hősokk hatására felaprózódott kvarcsemcséket is, és ettől az olvadék opakká válik. E két olvadék egymáshoz jól kapcsolódik, mégpedig úgy, hogy a zöld színű üveg kisebb viszkozitása révén — mintegy ráfolyik a kvarcüvegre. Az így kialakult olvadék jól nedvesíti az alatta fekvő réteget, azon elterül, ill. esetenként üregeket hidal át. Dermedés után a cementhez, ill. a kvarcsemcsékhez egyaránt jól tapadó szilárd réteget ad.

Az elvégzett vizsgálatok alapján egyértelműen kimondható, hogy a betonfelületeken plazmakezelés hatására kialakuló ömledékréteg túlnyomórészt üveg. Anyaga részben tisztán SiO_2 tartalmú magas olvadáspontú üveg, részben egyéb oxidokat is tartalmazó alacsony lágyulási hőmérsékletű, de szintén szilikát üveg. Ez utóbbi csak cement- és kvarc egyidejű jelenlétében alakul ki, függetlenül a plazmakezelés és betongyártás egyes technológiai tényezőitől.

Megállapítható, hogy a kísérletek során kiválasztott és felhasznált vizsgálati módszerek együttesen, de külön-külön is alkalmasak az újszerű ömledékréteg tulajdonságainak megismerésére. Az üvegre általában igen jellemző lágyulási hőmérséklet meghatározása, kiegészítve kémiai analízissel, pontos felvilágosítást ad a kialakult üveg jellegére és összetételére, míg röntgendiffrakciós vizsgálattal az üveges és kristályos fázis mennyiségi aránya is meghatározható.

A betontestben a plazmakezelés hatására fellépő hőáramok időbeli terjedésének, valamint az izotermavonalak kialakulásának tanulmányozására termovíziós vizsgálatokat végeztünk. A vizsgálattal két szempontot kívántunk tisztázni. Elsősorban azt kellett bizonyítani, hogy a kísérleti betonmintákon végzett különféle plazmakezelési technika alkalmazása mellett, az égetett felületről milyen távolságra, milyen hőmérsékletű izotermavonalak alakulnak ki, másrészt az égetett felület a hőkezelés után — szállítás és érintésvédelmi szempontból — mennyi idő múlva ér el megengedhető hőmérsékletet.

A vizsgálatok eredményeképpen a következő megállapításokat tettük:

- a beton plazmával történő felületkezelése során a felülettől 15 mm-re a hőmérséklet 100°C alatt van;
- a beton épületfizikai tulajdonságait a hőkezelés nem befolyásolja;
- a hőkezelt felület az égetés befejezésétől számított 4 perc után 80°C -ra hűl le, és így a szállíthatósági követelményeket kielégíti;
- az üzemi, tervezett igénybevételhez képest a vizsgálat során alkalmazott körülmények (56 kW villamos teljesítmény, 3 m/percre lassított mozgás, a légszivás szüneteltetése) nagymértékben lassították a hűlés sebességét. Várható, hogy az üzemi, normál körülmények e hűtési értéket tovább fogják javítani.

A plazmával kezelt betonfelületek legfontosabb épületfizikai vizsgálatait az ÉMI végezte el. Megállapítása szerint az ömledékréteg időállósága a kezeletlen normálbeton fagyállósági értékénél jobb, és páradiffúziós tulajdonsága a hőkezeletlen beton felületével azonos nagyságrendű.

5. További alkalmazási lehetőségek

A házigyári homlokzati betonpanelek felületi hőkezelési technológiájának kutatása mellett megvizsgáltuk azokat az építőipari, szilikátipari és egyéb termékeket, amelyek a plazma-hőkezelési technológia kidolgozásától megfelelő népgazdasági eredmény várható. Ezen lehetőségek felsorolásakor nem a teljességre törekszünk, csupán a feltárt, ill. érdeklődésre számotartó területeket kívánjuk összefoglalni.

- Az építőipar által felhasználásra kerülő téglák felületi hőkezelése, keramizálása a betonfelületekhez hasonlóan. E területnek fontosságát hangsúlyozza, hogy az építkezések anyaga kb. 60%-ban jelenleg is téglá;
- Könnyűbeton-típusok felületkezelése. Perlitbeton;
- Polisztirol adalékú betonelemek;
- Kohóhabsalak blokkok felületi keramizálása;
- Mezőgazdasági építmények felületkezelése (nedvesség, időjárás, rágcslók, rovarok elleni védelem);
- Földbe kerülő betonszerkezetek korrózióvédelme;
- Betonszerkezetek fúrása, darabolása;
- Országúti betonegységek felületkezelése. Betonkorlátok, útburkolati jelek plazmával történő hőkezelése. Útburkolati jelek kialakítása; úttestvédelem (téli sózások hatásával szembeni korrózióvédelem);
- Útfelület-érdesítés (repülőter, útkanyar stb.);
- Hídpillérek, gátak talpzatának hőkezelése;
- Ipari helyiségekben, munkatermekben a falfelületek, oszlopok, gáz, gőz és atmoszferikus korrózió elleni védelme;
- Kerámia felületek tisztítása. Korom, kátrány, egyéb szennyeződések leégetése;
- Normálbetonból — díszítőelemek készítése. Kaputelefonblokk, névtábla, postaláda, kerti utak, folytonos vagy elszórt felületkezelt betonlapokkal, egyéb kerti tárgyak plazmakezelése (szökőkút, kapukeret, virágtartó, városi virágágy, szobortalpazat stb.);
- Újabb felületkialakítási lehetőségek a beton megkötése előtt a felületre elhelyezett különféle minőségű, méretű és alakú anyagfélésekkel, (pl. márványpor, téglapor, színes üvegpó, ill. ezek darabjai, stb.);
- Művészi alkotások, egyedi művek plazmatechnikával történő kialakításai (Metro, pályaudvar, lépcsőházakon, előcsarnokokban stb.);
- Felületi bevonatok készítése plazmaszorással (a felület díszítésére, ill. védelmére);
- Bazaltgyapot előállításának lehetősége;
- Nagy hőmérsékletű csatornák kialakítása (olvasztó-, ill. égetőkemencék, perlitduzzasztás stb.);
- Színképelemzés;
- Plazmakémia.

6. Lehetőségek a plazmakémia területén

A plazmatechnika legfiatalabb, de igen nagy lehetőségekkel rendelkező területe a plazmakémia, ahol a plazmaláng vagy a plazmaláng által kialakított igen nagy hőmérsékletű tér a kémiai folyamatok reaktoraként tekinthető. Ebben a kb. 20...25 ezer K^o-os zónában termikus gerjesztési és ionizációs folyamatok igen nagysebességű reakciókat aktíválnak az elektronok, ionok és neutrális részecskék között. A plazmareakciók bonyolultsága és szokatlansága miatt igen nehéz a plazmareaktoroknak a viselkedését előre megállapítani, és ezért szisztematikus tervezésük is nehéz. Ebben a hőmérséklet-tartományban változik a normális kinetika, nem érvényes az Arrhenius-egyenlet, és az atomok kémiai tulajdonságai nem függenek egyforma mértékben a külső elektronhéj bonyolultsági fokától (a plazmagázok külső elektronjai magasabb energiaszintre kerülnek és oxidálódhatnak) [1].

A plazmatérben általánosságban a tömeghatás törvénye alkalmazható. A nagyobb hőmérsékletek az egyensúlyt az endoterm vegyületek képződésének vagy az exoterm típusú vegyületek bomlásának irányába tolják el. A kis nyomás kedvez a nagy elektronhőmérsékletnek, mivel a rekombinációs sebesség csökken. A nagy nyomás bonyolultabb molekulák irányába tolja el az egyensúlyt. A közelítő plazmaegyensúlyi összetételek néhány esetben termodinamikai alapon is számíthatók.

Egy-egy speciális plazmareakció megtervezéséhez igen fontos paraméter a reaktorban kialakítandó hőmérséklet- és nyomásviszonyok, a reagáló anyagok tartózkodási ideje, a plazma és a reagáló anyagok keveredésének sebessége és mértéke, valamint a termék lehűtésének (befagyasztásának) sebessége és mértéke.

A plazmareaktorok a kívánt kémiai reakciók lejátszatásához számos lehetőség-gel rendelkeznek. Lényeges a megfelelő munkagáz megválasztása, amely egyrészt a reaktorban uralkodó atmoszferikus viszonyokat meghatározza (redukáló, oxidáló, ill. semleges atmoszféra), másrészt adott vegyületek szintézisének alapanyagként szerepelhet (pl. nitrogéngáz, fémnitridek előállításához). Fontos szerepe van a plazmalángba adagolt reagensek méretének, minőségének és adagolási sebességének, és tisztázni kell azt is, hogy ezen anyagok a plazmaláng melyik hőmérsékletzónájába kerüljenek betáplálásra. Ezek a szempontok határozzák meg a reagáló részecskéknek a nagy hőmérsékletű térben való tartózkodási idejét, amely a megömlés, a disszociáció és az ionizáció mértékét, valamint a gerjesztett elektronok különböző energiaszintjeinek kialakulását befolyásolja. Lehetőség van arra, is hogy a nagy hőmérsékletű teret különféle — a reakció egyes lépéseitől függő — zónákra osszuk (pl. a plazmaláng megfelelően megválasztott helyén szénpor adagolással redukáló zónát építhetünk ki), ill. többféle alapanyagot igénylő reakciók esetén az egyes reagenseket a reaktor különböző helyein csatlakoztassuk a rendszerhez. A plazmaégő katód anyagának megválasztásával — ha azt fogyóelektródként alkalmazzuk — a kívánt termék egyik komponense lehet magának a katódnak az anyaga is. A reaktor hőmérséklete a villamos teljesítménnyel, választott munkagázzal és a részecskék rekombinálódásakor felszabaduló hővel befolyásolható.

A plazmakémiai reakciók egy leglényegesebb része a lehűtési (befagyasztási) szakasz kialakítása, amely közvetlenül meghatározza a konverzió fokát, és a termék tisztaságát. A reakciók befagyasztása történhet pl. hideg folyadéknak vagy gáznak a befúvatásával (víz, folyékony N₂), hideg felületre való hőátvitellel, a gázok adiabatikus kiterjesztésével, és fluidizált ágyon való áthaladással. Ez a lehűlési zóna tulajdonképpen külön reaktornak fogadható el.

A plazmakémiai reakciók körülményeinek leírása során nem törekedtünk teljességre. A legfontosabb és leglényegesebb szempontok felsorolásával azt kívántuk

elérni, hogy az újszerű és kétségtelenül nagy jövő előtt álló kémia lehetőségeit ismer- tessük.

Befejezésül néhány példával egészítjük ki az elmondottakat, amelyek a világ szá- mos kutatóintézetében, egyetemeken folyó plazmakémiai kísérletek területeit mutat- ják be:

- Nitrogénoxid előállítás (salétromsavgyártás): N_2 plazmába sztöchiometrikus oxigénadagolással [2]—[5];
- Hidrogéncianid, elemeiből szintetizálva, N_2 plazmagázba H_2 gáz bevezetés- sel és fogyó C elektróddal [6];
- Fémnitridek előállítása [7]: N_2 plazmába a megfelelő fémpor adagolása (TiN , Mg_3N_2 , WN , S_4N_4);
- Hidrazin (N_2H_4) előállítása N_2 és H_2 1:2 arányú keverékéből [8];
- Szénvegyületek szintézise pl. $(CN)_2$, acetilén), ill. szénpor vagy metángáz felhasználása fémoxidok karbotermikus redukciójához [9];
- Szénhalogénidek [10], ill. aromás vegyületek előállítása [11], valamint alap- anyagporok tulajdonságainak javítása, „nemesítése”;
- Fémoxidok redukciója [12].

7. Ipari bevezetés

A házgyári homlokzati betonpanelek felületének keramizálására vonatkozó kutatási munkánkat 1974 végén egy üzemelési javaslattal zártuk le. A „B” terv szintig meg- tervezett technológiai berendezés alkalmas az ipari megvalósításra. Kivitelezése ese- tén a kutatási munka kezdetén rögzített kívánalmak teljesíthetők. Ezen üzemelési javaslat alapján az Építési- és Városfejlesztési Minisztérium, az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság és a 43. sz. Állami Építőipari Vállalat finanszírozásával a VKI megkezdte az első telepített plazmaégető berendezés tervezését, gyártását és üzembe helyezését. A nagyjelentőségű kutató-kísérleti munkát a Villamosipari Kutató Inté- zet, a Kandó Kálmán Műszaki Főiskola, a 43. sz. ÁÉV 4. sz. PTE közreműködésével a 43. sz. ÁÉV Házgyárában végzi. Várhatóan 1977. II. félévében sor kerül a kísérleti berendezés üzembehelyezésére.

8. Összefoglalás

A plazmatechnikai és plazmatechnológiai kutatások eredményeként olyan lehetősé- gek állnak a szilikátipar egyes területeinek rendelkezésére, amelyek élőmunka-meg- takarítással járó és nagyüzemi sorozatgyártásra alkalmas újszerű és gazdaságos technológiát biztosítanak, valamint olcsó és nagy mennyiségben rendelkezésre álló alapanyagok felhasználásával minőségileg és esztétikailag magasabb színvonalú ter- mékek előállítását teszik lehetővé.

A házgyári homlokzati panelek hőkezelésével kapcsolatban, hat plazmaégető egyidejű alkalmazása maradéktalanul kielégíti a kutatás kezdetén támasztott köve- telményeket:

- $12\text{ m}^2/15\text{ min}$ hőkezelési teljesítményre képes;
- 20 Ft/m^2 üzemeltetési költséget igényel.

A plazmatechnológia alkalmazására számos további lehetőséget tárt fel a kuta- tási munka vegyipari, fémipari és kohászati vonatkozásban is.

Befejezésül köszönetünket fejezzük ki mindazoknak, akik a kutatási munka elindításánál, vitelénél és realizálásánál segítséget nyújtottak nekünk, elősegítve ezzel egy teljesen újszerű technológia kidolgozását és nagyüzemi megvalósítását.

Irodalom

- [1] *Ibberson, V. J.—Thuring, M. W.*: Plasma Chemical and Process Engineering. Ind. and Eng. Chem. Vol. 61. No. 11 p. 48—61. (1969).
- [2] *Baddour, R. F.—Timmias, R. S.*: The Applications of Plasmas to Chemical Processing. Pergamon Press. New York, N. Y., 1967.
- [3] *Hellund, E. J.*: The Plasma State. Reinhold, New York, N. Y. 1961. p. 2.
- [4] *Kanaan, A. S.—Margrave, J. L.*: Advances in Inorganic Chemistry and Radio Chemistry. Vol. VI. Academic Press. New York, N. Y. 1964.
- [5] *Stokes, C. S.*: Chem. Eng. April 12. 194 (1965).
- [6] *Gosse, A. V.—Stokes, C. S.—Cahill, J. A.—Correa, J. J.*: "Plasma Jet Chemistry". Final Rept., Office of Naval Research (NR 052—429).
- [7] *Stokes, C. S.—Knipe, W. W.*: Ind. Eng. Chem. 52. 287 (1960).
- [8] *Thornton, J. D.—Spedding, P. L.*: Nature, p 1118 (March 18, 1967).
- [9] *Leutner, H. W.—Stokes, C. S.*: Ind. Eng. Chem., 53. 341 (1961).
- [10] *Wolfe, J. K.—Cook, N. C.*: U. S. Patent 2,835,711, May 20, 1958.
- [11] *Kanaan, A. S.—Margrave, J. L.*: Intern. Sci. Technol., No. 8, p 75 (1962).
- [12] *Grosse, A. V.—Leutner, M. W.—Stokes, A. C.*: Res. Inst., Temple Univ, 1st. Ann. Rept., for Office of Naval Res., Contract Nonr 3085 (02) (1961)

Kerámiai anyagú sötétsugárzók emisszióképességének növelése

OLCHVÁRY GÉZÁNÉ

ÖSSZEFOGLALÁS

Számos ipari hőkezelési folyamatnál technológiai és energetikai szempontból is a sugárzás útján történő hőátadás az optimális hőközlési mód. Ez lehetővé teszi, hogy a tárgyaknak szükség szerint csak a felületét melegítsük, ill. hogy a tárgyakat úgy melegítsük, hogy környezetük hőmérséklete lényegesen ne emelkedjék. A sugárzó test sugárzási intenzitásának, emisszióképességének növelésével pedig mód van arra, hogy azonos betáplált teljesítmény mellett a hőtartalom nagyobb része távozzék sugárzás útján és így a hőátvitel formáját a konvekció rovására a sugárzás irányába toljuk el.

Kerámiai anyagú felületi sugárzók esetében az emisszióképesség speciális felületi bevonati rétegekkel növelhető. Kutatásaink során kidolgoztunk olyan bevonati anyagokat, amelyekkel a sugárzóképesség az ideális sugárzó, az abszolút fekete test sugárzóképességét megközelítő érték. Alkalmazásukkal kb. 20%-os sugárzásintenzitás-növelés érhető el, ami a gyakorlatban jelentős energiamegtakarításban realizálódik.

ПОВЫШЕНИЕ ЭМИССИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ ТЕМНОВЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Г. Олчвари

Резюме

С технологической и энергетической точки зрения во многих промышленных теплообработывающих процессах оптимальной является радиационная теплоотдача. Это позволяет по требованию нагревать только поверхности деталей, или нагревать детали без значительного повышения температуры окружающей среды. Повышением радиационной интенсивности — эмиссионной способности излучателя, при одинаковой поданной мощности большая часть тепла передаётся радиацией. Таким образом, передача тепла смещена в направлении радиации за счёт уменьшения конвекции.

В случае применения керамических поверхностных излучателей повышение эмиссионной способности достигается специальным поверхностным слоем. В результате наших исследований разработаны покрывающие вещества, с применением которых радиационная способность приближается к величине, характерной абсолютно чёрному телу. Применением этих веществ достигается увеличение интенсивности излучения около на 20%. Это на практике означает значительную экономию энергии.

ERHÖHTES EMISSIONSVERMÖGEN VON KERAMIK-DUNKELSTRAHLEN

Frau G. Olchváry

Zusammenfassung

Bei zahlreichen thermischen Industrieprozessen bedeutet — auch technologisch und energetisch gesehen — die Wärmeübertragung durch Strahlung die optimale Wärmeabgabemethode. Diese Methode ermöglicht bei Bedarf, nur die Oberfläche der Werkstücke zu erwärmen, oder sie so zu erhitzen, dass sich die Umgebung nicht allzu sehr

erwärmt. Durch Erhöhung der Strahlungsintensität — Emissionsfähigkeit — des Strahlkörpers ist dabei nun aber die Möglichkeit gegeben, dass der grösste Teil des Wärmegehalts bei gleicher Stromzufuhr durch Strahlung abzieht und so die Wärmeabgabe zu Lasten der Konvektion durch Strahlung erfolgt.

Bei Strahlern mit Keramikfläche lässt sich die Emissionsfähigkeit durch spezielle Flächenbeschichtung steigern. Im Laufe unserer Forschungen wurden Beschichtungsstoffe ausgearbeitet, mit denen die Emissionsfähigkeit die Strahlungsfähigkeit des idealen Strahlers, des absoluten Schwarzstrahlers annähernd erreicht. Mit der Anwendung der Beschichtungsstoffe kann eine Erhöhung von 20% in der Strahlungs-Intensität erreicht werden, woraus sich in der Praxis eine nennenswerte Energieersparnis ergibt.

INCREASED RADIATING POWER OF INFRARED RADIANT HEATERS

By Mrs. G. Olchváry

Summary

From viewpoints of both technology and energy the heat transfer by radiation is the optimum way of heat transmission in a number of industrial heat treatment processes. This enables that objects should be heated only along their surfaces, or in a way that, during heating, the temperature of their surroundings does not rise essentially. Also, by increasing radiating power, i.e. emissivity of the radiating body, it can be brought about that, for a capacity input unchanged, a larger rate of heat content is given off, by way of radiation, i.e. the form of heat transmission has been shifted into the direction of radiation at the cost of convection.

Emissivity of surface radiators made of ceramics can be increased by means of surface coating. During reasearch some coating materials have been elaborated, which make emissivity come near to the emissivity of the absolute black body, which is the ideal radiator. By applying these materials some 20% emissivity increase can be reached, meaning a significant energy saving in practice.

1. Általános rész

1.1 Bevezetés

A villamos fűtőkészülékek elterjedésével, valamint az energiaárak növekedésével világszerte nő a jelentősége az ipari fűtési, szárítási folyamatok energetikailag is optimális megoldásának. A hőközlés formájának alkalmas megválasztásával nemcsak a technológiai folyamat minőségét, hanem gazdaságosságát is jelentősen javíthatjuk.

Bármilyen melegítési folyamatról legyen is szó, a hőátvitel vezetéssel, áramlással vagy sugárzással mehet végbe. A melegítési folyamatoknál azonban egyidejűleg a hőátvitel mindhárom fajtája előfordul, egymáshoz való arányukat részben a rendszer hőmérséklete, részben anyagi tulajdonságok határozzák meg [1].

Hővezetés esetén a hőátvitel egymással kontakt kapcsolatban levő két test között, vagy ugyanazon test két pontja között az anyagi részecskék, molekulák helyváltoztatása nélkül megy végbe, tulajdonképpen a molekulák megnövekedett kinetikus energiájukat adják tovább. Áramló közeg jelenlétében ehhez a jelenséghez még a *konvekció* is hozzájárul, vagyis az energiaátvitel a folyadék vagy gáz tömegének mozgása következtében megy végbe. A hőmérséklet emelkedésével előtérbe lép a *sugárzás*, mivel a molekulák vagy atomok a hőmérséklet által előidézett gerjesztés folytán, azzal növekvő arányban sugárzó energiát bocsátanak ki magukból. Ha a konvek-

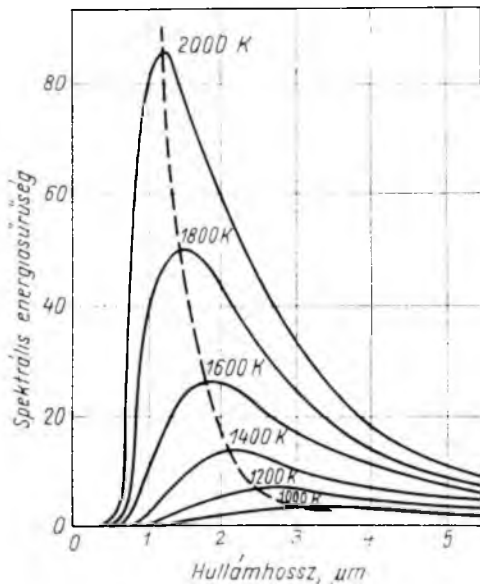
ciót és hővezetést összehasonlítjuk a hősugárzással megállapíthatjuk, hogy míg az előbbieket hajtóereje a hőmérsékletkülönbség, addig az utóbbié a hőmérséklet szintje. Hogy adott hőmérsékleten a hőátviteli formák közül melyik játszik döntő szerepet, azt a hőmérsékleten kívül anyagi és alaki tulajdonságok is befolyásolják.

A gyakorlatban gazdaságossági és technológiai szempontból egyaránt sokszor szükséges, hogy tárgyainknak csak a felületét melegítsük, vagy tárgyakat úgy melegítsünk, hogy környezetük hőmérséklete lényegesen ne emelkedjék. Ilyenkor alkalmazható előnyösen a sugárzásos hőközlés, amely hordozóközeg nélkül juttatja el a hőenergiát a sugárzó testről a hevítendő felületre.

1.2. Az infravörös sugárzás tulajdonságai

A hősugárzás vagy más néven infravörös sugárzás a látható fényhez hasonlóan elektromágneses sugárzás, tehát egyidejűleg hullám- és kvantumtermészetű. Tulajdonságai megegyeznek az egyéb elektromágneses sugárzás tulajdonságaival, eltérés elsősorban hullámhossz-, azaz frekvenciatartományukban (ez a látható fénytől a rádió mikrohullámokig terjed) és az anyagokkal való kölcsönhatásban nyilvánul meg. Az anyagba behatoló sugárzó energia részben abszorbeálódik, növeli a molekulák kinetikus energiáját, azaz hőtartalmát, részben változás nélkül áthalad az anyagon. Abszorpció csak olyan frekvenciájú sugarak esetében megy végbe, amelyeknek frekvenciája megegyezik a besugárzott anyag molekuláinak saját rezgési frekvenciájával. Ez azt jelenti, hogy bármely anyag melegítése esetén, hőtartalmának növelésére a sugárzásnak csak az elnyelő anyagéval megegyező frekvenciájú része fordítódik. Ebből következik, hogy minden sugárzásos hőközlési folyamatnál elengedhetetlenül fontos ismerni a sugárzó test által kisugárzott energia hullámhossz szerinti eloszlását (emissziós spektrumát), valamint a sugárzásnak kitett anyag abszorpciójának hullámhossz szerinti eloszlását (az abszorpciós spektrumát) [5], [6].

Az infravörös sugárzás kvalitatív és kvantitatív elemzésére Planck, Wien, ill. Stephan és Boltzmann állítottak fel alapvető fontosságú matematikai összefüggéseket. Ezek egy hipotetikus testre az ún. abszolút fekete testre mint ideális sugárzóra vonatkoznak, amely minden ráeső energiát elnyel és veszteség nélkül ki is sugároz [2], [3], [4]. A Planck által felállított összefüggés ezen ideális sugárzó sugárzási intenzitásának hullámhossz szerinti eloszlására vonatkozik. Grafikus ábrázolását, az ún. Planck-féle eloszlási görbéket a 18-1. ábrán mutatjuk be. Látható, hogy csökkenő hőmérséklettel csökken a sugárzás intenzitása, egyre laposodnak a görbék, ugyanakkor a görbék maximuma mindinkább a



18-1. ábra. Különböző hőmérsékletű abszolút fekete test sugárzási intenzitásának eloszlása a hullámhossz függvényében

hosszabb hullámok irányába tolódik el. Ezt fejezi ki számszerűen a Wien-féle eltolódási törvény.

Stephan és Boltzmann nevéhez fűződik annak az alapvető összefüggésnek a megállapítása, amely kimondja, hogy az abszolút fekete test által kisugárzott összes energia a sugárzó hőmérsékletének negyedik hatványával arányos:

$$E_t = \sigma T^4$$

ahol σ a Boltzmann-állandó.

A gyakorlatban azonban abszolút fekete testet előállítani nem lehet, ezt csak többé-kevésbé megközelítik az ún. szürke vagy valóságos testek. Ezek az abszolút fekete testnél — azzal azonos hőmérsékleten — minden esetben kisebb energiával sugároznak, amelynek nagysága:

$$E_{sz} = \epsilon \sigma T^4,$$

ahol ϵ arányossági tényező az ún. emisszivitás, amely a valóságos testnek az abszolút fekete testhez viszonyított sugárzóképeségét jelenti, így minden esetben 1-nél kisebb, dimenzió nélküli szám.

1.3 Az emisszióképesség jelentősége, különböző típusú sugárzó testek

Valóságos sugárzó testek esetében az előzők alapján az emisszióképességnek igen jelentős, a kisugárzott energia mértékét meghatározó szerepe van. Növelésével érhető el, hogy a test hőtartalmának minél nagyobb hányada távozzék sugárzás útján és így a hőátvitel formáját a konvekció rovására a sugárzás irányába toljuk el. Az emisszióképesség a hullámhossztól, a hőmérséklettől, valamint alakí és felületi tulajdonságoktól függ. Növekvő hőmérséklettel nő az emisszióképesség is, így növelésének különös jelentősége elsősorban a kisebb hőmérsékletű (350...600 °C) sugárzók esetében van. Ide tartoznak pl. a kerámiai anyagú, infravörös sugárzó testek az ún. sötétsugárzók, amelyeket megkülönböztetünk a nagy, 2000 °C-ot meghaladó hőmérsékletű ún. világos sugárzóktól, valamint az 1000 °C körüli hőmérsékletű ún. közép-hullámú sugárzóktól. A sötétsugárzók jellemző spektruma 2...10 μm közé esik, sugárzási maximumuk 3...5 μm, látható fényt nem, vagy nagyon kis mértékben tartalmaznak, innen tehát a sötétsugárzó elnevezés. Ezzel szemben a világossugárzók spektrumának jelentős része a látható tartományba esik, sugárzási maximumuk 1,3 μm, a középhullámú sugárzóké pedig 2,3...2,5 μm. Mindkét típusú sugárzó evakuált vagy gázzal töltött kvarccsőben izzó, wolfram vagy egyéb fém huzalból készül és a sugárzási tulajdonságukat az izzó fémszál hőmérséklete határozza meg. A kerámiai sugárzók viszont egy erre a célra alkalmas, kerámiai szigetelőanyagba ágyazott ellenálláshuzalból állnak, amelyeknek sugárzó felületét maga a kerámiai anyag képviseli és a sugárzás jellemzőit e felület tulajdonságai határozzák meg.

A sötétsugárzók alkalmazási területe az ipar különböző területein igen számottevő. Előnyösen alkalmazható minden olyan hőkezelési folyamathoz, amelyben a hőmérséklet nem haladja meg a 600...700 °C-t. Leggazdaságosabban azonban az infrasugárzás jellemző tulajdonságai alapján olyan anyagok melegítésére alkalmazható, amelyeknek fő abszorpciós tartománya a 2...10 μm tartományba esik. Ezek elsősorban a különböző műanyagok, lakkok, nedves textíliák, papír stb.

2. Kutatási eredményeink

2.1 Nagy emisszióképességű felületi réteganyagok kidolgozása

Kutatási feladatunkat az előző fejezetben már leírtakra alapoztuk, nevezetesen, hogy a kerámiai sötétsugárzók sugárzási jellemzőit adott hőmérsékleten felületi tulajdonságaik határozzák meg. Munkánk fontosságát tovább növelte az a körülmény, hogy ilyen sugárzók előállítása, — bár az ipar számos területén szükségesek — Magyarországon nem megoldott. Helyettük jelenleg vagy nem a legalkalmasabbat alkalmazzák, vagy import útján szerzik be a kívánt sugárzót.

Célkitűzésünk olyan kerámiai anyagú sötétsugárzók kifejlesztése volt, amelyek sugárzási intenzitása a felület célszerű kialakításával úgy növelhető, hogy sugárzási tulajdonságai megközelítsék az ideális sugárzót, az abszolút fekete testet.

Figyelembe véve azt, hogy a sugárzás csak közvetlenül a felületről megy végbe, olyan felületi bevonatot, réteganyagot dolgoztunk ki, amelyet a kerámia anyagra felvive, annak emissziós tulajdonságait javítja, vagyis azonos betáplált teljesítmény mellett (azonos hőmérsékleten) a sugárzás útján leadott hő mennyisége megnövekszik.

A réteganyagok kidolgozásában két fő szempontunk volt. Az első, hogy emisszióképessége mindjobban megközelítse az abszolút fekete testét, a második pedig, hogy a sugárzó test kerámiai anyagával összeépíthető legyen. A sugárzó bevonatok anyagául számos kísérlet alapján végül olyan oxidok, főleg fénoxidok keverékét találtuk alkalmasnak, amely a sugárzók üzemi hőmérsékletén (max. 700 °C) tartósan megtartják sugárzási tulajdonságaikat, a felületen matt, durvaszemcsés bevonatot képeznek. a sugárzó kerámiai anyagához jól kötődnek, tartós igénybevétel esetén sem válnak el.

A felvitel megoldására két lehetőség kínálkozott. Az első a sajtolás, ez esetben a nyersgyártás során vékony (3...4 mm-es) rétegben a felületre sajtoljuk a sugárzó bevonat anyagát és a kerámiai testtel együtt égetjük ki. A másik lehetőség a máz formájában történő felvitel, ekkor a sugárzó test égetése után a vízzel szuszpendált anyagot valamely mázazási technológiával visszük fel, majd a réteget ismételt égetéssel alakítjuk ki a felületen. Az első eljárás előnye, hogy a sugárzó bevonat kialakítása a nyersgyártással egyidőben történik, külön technológiai lépést vagy lépéseket nem igényel, így gazdaságosabb. Hátránya viszont, hogy csak sajtolással előállított sugárzók esetében alkalmazható, rétegvastagsága a szükségesnél nagyobb, s összetételének a kerámiai test 1200 °C körüli égetési hőmérsékletén is stabilnak kell lennie.

A mázazási technológiával történő felvitel hátránya, hogy csak több technológiai lépésben kivitelezhető (égetés után szórás, majd ismételt égetés), előnye viszont, hogy a gyártási technológiától és formától függetlenül bármilyen kiképzésű sugárzóra felvihető, az összetételtől függően kedvezően alacsony (800...850 °C) beégetési hőmérsékletre is beállítható.

Méréseink alapján hatféle összetételt választottunk ki, a natúr kerámiai felülethez viszonyítva mindegyik jelentős emisszónövekedést mutatott.

2.2 Az emisszióképesség, ill. az emissziós tényező meghatározása

Az emisszióképesség, mint már az előzőkben többször említettük a szürke vagy valóságos sugárzóknak az a tulajdonsága, amely a legnagyobb mértékben befolyásolja a testről sugárzás útján távozó hőmennyiség mértékét. Számszerű kifejezésére az ϵ emissziós tényező szolgál. Ismerete a sugárzó test jellemzése szempontjából igen fontos.

Az emisszióképesség, ill. az emissziós tényező meghatározása igen bonyolult feladat. Jól definiált környezeti körülményeket, pontos, kalibrált optikai rendszert és sugázmérő berendezést igényel.

Méréseink során első lépésben az emisszióképesség meghatározásához a csak tendenciák megállapítására alkalmas felületi hőmérsékletmérés módszerét alkalmaztuk, az emissziós tényező számszerű meghatározására pedig az MTA Műszerügyi Szolgálatának bevonásával, a birtokukban levő AGA gyártmányú Thermovisio elnevezésű műszerrel, közvetett módszerű (mérésen és számításon alapuló) eljárást dolgoztunk ki.

A felületi hőmérsékletméréseket PtRh—Pt hőelemmel végeztük, amelyet a sugárzó test mindig azonos helyére közvetlenül a felületre rögzítettünk. Ha ugyanolyan villamos teljesítmény betáplálása, vagyis azonos felületi terhelés és azonos környezeti viszonyok esetén a sugárzó felület hőmérséklete csökken, az azt jelenti, hogy a sugárzás útján leadott hőmennyiség megnövekedett.

A felületi hőmérséklet mérésének módszere — bár igen egyszerűnek tűnik — számos hibalehetőséget rejt magában és így a mérési eredményeket szigorúan csak mint tendenciákat szabad kezelni. Hibalehetőséget jelentenek a legkörültekintőbben végzett mérések esetén is a következők:

- méretek szórásából adódó eltérő felületnagyságok;
- gyártástechnológiai bizonytalanságokból adódó fűtőszál-elhelyezési különbségek;
- a változó környezeti hőmérséklet;
- a hőelem elhelyezési bizonytalansága;
- a leolvasó műszer mérési pontossága stb.

Minden hibalehetőséget számbavéve és lehetőség szerint kiküszöbölve hatféle sugárzó bevonaton és összehasonlításul a natúr kerámia felületen mért felületi hőmérsékletek értékeit a 18-1. táblázatban foglaltuk össze. A mérések alapján a natúr ke-

18-1. táblázat

Különböző sugárzó felületen mért felületi hőmérsékletértékek

A bevonat jelzése	Villamos teljesítmény, W	Felületi terhelés, W/cm ²	Felületi hőmérséklet, °C
Natúr felület	800	2,0	540...545
Si 0	800	2,0	480...485
Si 1	800	2,0	480...485
FM 1	800	2,0	470...475
FM 2	800	2,0	455...460
FM 3	800	2,0	470...475
FM 4	800	2,0	485...490

rámiai felülethez viszonyítva a legnagyobb emisszióképességgel az FM 2 jelű sugárzó bevonat rendelkezik. Ennél a közel 100 °C-os felületi hőmérséklet-csökkenés — mint később látni fogjuk — az abszolút fekete test emissziós tényezőjét megközelítő értéknek köszönhető.

Az emissziós tényező számszerű meghatározását AGA Thermovisio 680/102 C típusú, svéd gyártmányú műszerrel végeztük. A berendezés alkalmas infravörös sugárzást kibocsátó testek hőmérséklet-eloszlásának és a sugárzó test emissziós tényezőjének meghatározására. A műszer működésére és a számítási módszer ismerteté-

sére most nem térünk ki, csupán táblázatban összefoglaljuk mérési eredményeinket (18-2. táblázat).

Az értékekből egyértelműen megállapítható, hogy a kidolgozott réteganyagok emissziós tényezői és így a sugárzás mértéke a natúr kerámiai felülethez viszonyítva jelentősen növekedtek, az FM 2 jelű bevonatra ε az ideális értéket, $\varepsilon=1$ -et megközelítő érték.

18-2. táblázat

Különböző sugárzó bevonatok ε emissziós tényezői

A bevonat jelzése	Emissziós tényező
Natúr felület	0.75
Si 0	0.89
Si 1	0.93
FM 1	0.97
FM 2	0.99
FM 3	0.93
FM 4	0.93

2.3 A sugárzásintenzitás és a sugárzás hullámhossz szerinti eloszlásának meghatározása

Az előző fejezetben leírtak alapján láttuk, hogy a réteganyagok segítségével az emissziós tényező értéke és így a sugárzás mértéke számottevően növelhető. Egy infra-sugárzó teljes jellemzéséhez azonban az ε számszerű ismeretén túlmenően a sugárzás útján leadott teljesítmény nagyságának, valamint a sugárzás hullámhossz szerinti eloszlásának ismerete is szükséges. Csak ezek alapján választhatók ki az egyes ipari hőkezelő folyamatokhoz valóban legalkalmasabb sugárzótípusok.

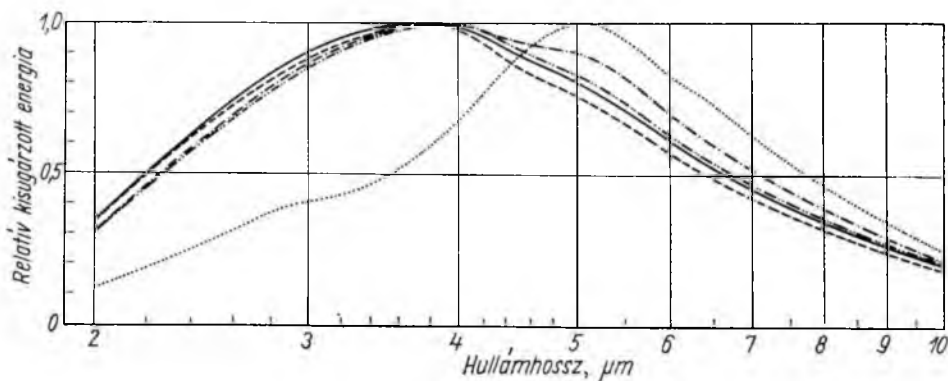
A sugárzási intenzitásra jellemző felületi besugárzott teljesítmény meghatározását az OMH bevonásával E5 típusú, 1 cm² felületű össz-sugárzást mérő termooszloppal végeztük el. A besugárzott teljesítmény jelentése: felületelemre eső sugárzott teljesítmény és a felületelem hányadosa, egysége W cm². Mérésünk során a sugárzást abszorbeáló felületelem a termooszlop 1 cm²-es felülete volt. A mérést két teljesítmény-értékkel, a felületre merőleges irányban, a sugárzó testtől 3 m távolságban végeztük a sugárzó test teljes felületéről. Mérési eredményeinket a 18-3. táblázat tartalmazza. Ezek értékelésével megállapítható, hogy a sugárzó bevonattal rendelkező fűtőtestek sugárzott teljesítménye azonos fűtőtömeg mellett a natúr kerámiai felülethez viszonyítva jelentősen növekedett. A növekedés mértéke az FM 2 és FM 3 jelű bevonatok esetén a legnagyobb, 16...18%. Ez az érték reflektáló háttér alkalmazásával kb. 30%-ra növelhető. Ennek a növekedésnek gazdasági jelentőségét nem kell hangsúlyozni, hiszen nyilvánvaló, hogy a sugárzásos hőátvitelen alapuló ipari hőkezelési folyamatokban a sugárzott teljesítmény ilyen növekedése vagy energiatakarékosságban, vagy a technológiai folyamat lerövidítése révén a termelési érték növekedésében realizálódhat.

A sugárzott teljesítmény növekedésével járó előnyök akkor hasznosíthatók a legnagyobb mértékben, ha ismerjük és figyelembe vesszük a sugárzás hullámhossz szerinti eloszlását. Mivel a hőkezelné kívánt anyag hőtartalmának növelésére a sugárzásnak csak az a része fordítódik, amelynek hullámhossz-tartománya megegyezik az anyag abszorpciós tartományával, a spektrumok ismeretében kell a legalkalmasabb sugárzótípust kiválasztani. Ezek figyelembevételével tartottuk fontosnak az egyes réteganyagok sugárzási spektrumának vizsgálatát.

Felületi besugárzott teljesítményértékek különböző sugárzó bevonatok esetén

A bevonat jelzése	Fűtőtelijsítmény, W	Felületi besugárzott teljesítmény $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Natúr felület	500	439,7
	800	755,7
FM 1	500	470,2
	800	822,0
FM 2	500	502,3
	800	885,5
FM 3	500	503,8
	800	890,1
FM 4	500	433,6
	800	761,8
FM 2 + reflektáló bevonat	500	574,8
	800	996,2

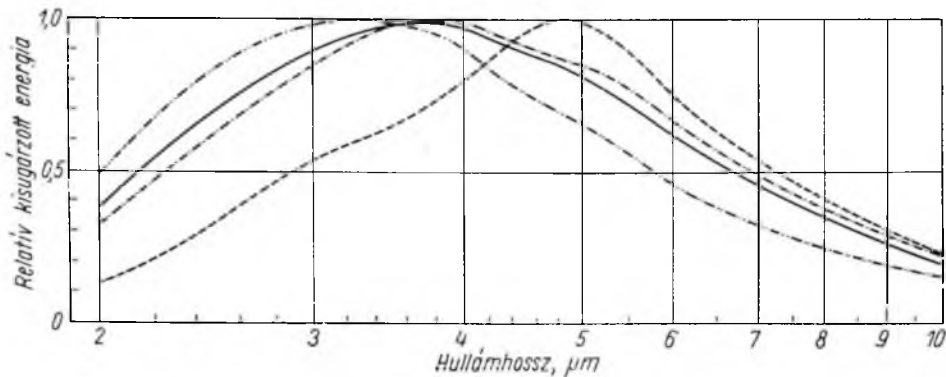
A méréseket szintén az OMH bevonásával végeztük a sugárzó test 10 mm átmérőjű felületén 2...10 μm -es tartományban. A monokromátor és érzékelőrendszer kalibrálása után a különböző felületek sugárzási adataiból számítással határoztuk meg a kisugárzott energia relatív spektrális eloszlását. A sugárzó testek felületi terhelése 2,0 W/cm^2 volt. A 18-2. és 18-3. ábrán bemutatjuk az eloszlási görbéket. Lát-



18-2. ábra. Kisugárzott energia spektrális eloszlása különböző sugárzó bevonatok esetén

- natúr kerámia felület
- FM 2
- FM 3
- · - · - Si 0
- Si 1

ható, hogy a spektrumban a sugárzó bevonatok hatására a maximum helye a rövidebb hullámhosszak felé tolódik el, ami megegyezik a megnövekedett besugárzott teljesítmény adataival. Ha a görbe alatti területeket pl. két kiválasztott emissziós spektrum esetében meghatározzuk, (a 18-2. ábrán a natúr felület görbéje és FM 2-es bevo-



18-3. ábra. Kisugárzott energia spektrális eloszlása különböző sugárzó bevonatok esetén

- FM 1
- - - - - FM 4
- fényes máz
- · - · - FM 2 + reflektáló háttér

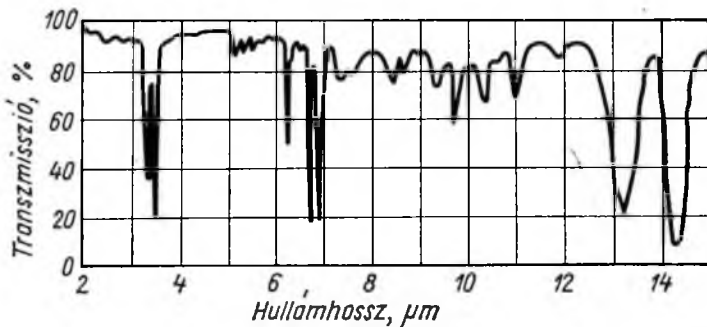
nat görbéje), megállapíthatjuk, hogy az FM 2 jelű görbe alatti terület kb. 20%-kal nagyobb, mint az 1 natúr felület görbéje alatti. Mivel az eloszlási görbe alatti terület a kisugárzott energia nagyságával arányos, e mérés alapján is kimondhatjuk, hogy a sugárzó bevonatok jelentősen növelik a sugárzás mértékét.

2.4 Sötétsugárzók ipari alkalmazási területei

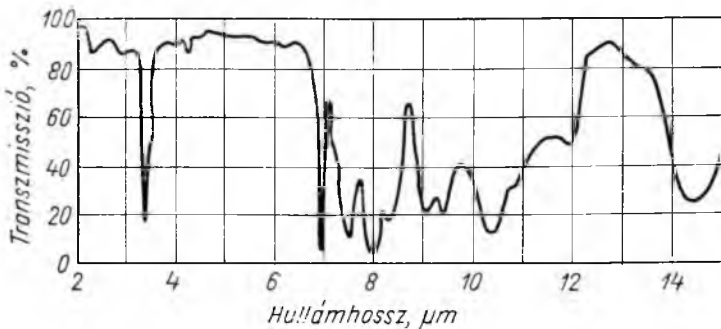
Befejezésül röviden két gyakorlati példán keresztül bemutatjuk a sötétsugárzók alkalmazásának előnyeit. Egyúttal ismételten kihangsúlyozzuk azt is, hogy milyen fontos a sugárzó emissziós spektrumának és a besugárzott anyag abszorpciós spektrumának ismerete, továbbá a leggazdaságosabb melegítési eljáráshoz e kettő egymáshoz illesztése.

A sötétsugárzókat legelterjedtebben a műanyagipar alkalmazza, a különböző műanyagok formázás előtti előmelegítésére, lágyítására, műanyagdiszperziók beégetésére stb.

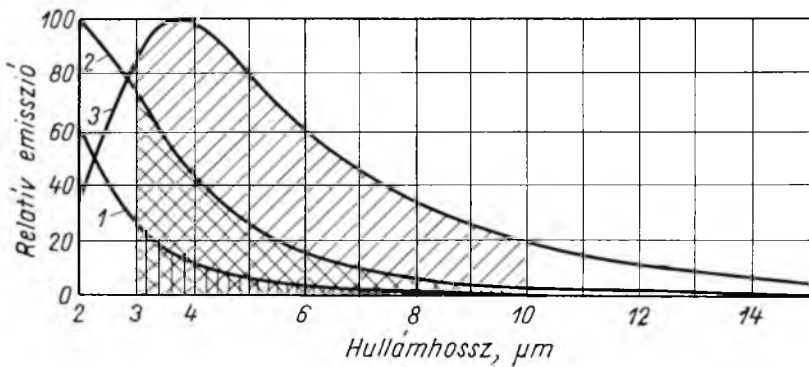
A 18-4., 18-5. ábrán példaként különböző műanyagok abszorpciós görbéjét mutatjuk be. Az ordinátán a transzmisszió értékei szerepelnek, az abszorpció tehát



18-4. ábra. Polystyrol EB abszorpciós spektruma



18-5. ábra. PVC abszorpciós spektruma

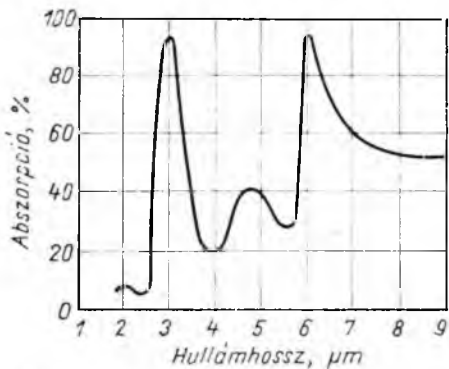


18-6. ábra. Különböző hőmérsékletű sugárzótestek emissziós spektruma

- 1 2000 °C-os sugárzó;
- 2 1100 °C-os sugárzó;
- 3 600 °C-os sugárzó

értelemszerűen ott maximális, ahol a transzmisszió a legkisebb értékét mutatja. Mindegyik esetben látható, hogy az anyagok fő abszorpciós tartománya a 3...10 μm-es hullámhossztartományba esik.

Összehasonlításként vizsgáljuk meg három különböző hőmérsékleten izzó infra-



18-7. ábra. Viz abszorpciós spektruma

sugárzó emissziós spektrumát ugyanebben a hullámhossztartományban. A 18-6. ábrán az egyes görbék által határolt területek a különböző hőmérsékletű sugárzók által kisugárzott összenergiát jelölik. A területek meghatározásával megállapítható, hogy a 2000 °C-os világosságugárzó esetén (1 görbe) az összes kisugárzott energia 18%-a, az 1130 °C-os sugárzó esetén (2 görbe) 44%-a, míg a sötétsugárzó esetén (3 görbe) a 72%-a esik a 3...10 μm-es tartományba. A számszerű adatokból nyilvánvaló, hogy pl. műanyagok esetén — amelyeknek abszorpciós tartománya legtöbbször ezzel az értékkel megegyezik —

a sötétsugárzók alkalmazása biztosítja a leggazdaságosabb hevítést. Hasonló a helyzet a különböző szárítási folyamatok esetében, amikor a cél a víz eltávolítása vékony felületi rétegből (pl. textil, papíryanagok szárítása). A víz abszorpció tartománya ugyanis szintén megegyezik a sötétsugárzók sugárzási tartományával (18-7. ábra).

3. Összefoglalás

Kutatási eredményeink alapján megállapíthatjuk, hogy kerámiai anyagú sötétsugárzóink sugárzóképesége a kidolgozott speciális bevonati réteganyagokkal jelentősen növelhető, a sugárzó felületek sugárzástechnikai jellemzőinek ismeretével pedig elősegíthető, hogy kiválasztásuk tudatosan, a hevíteni kívánt anyag jellemzőinek megfelelően történjék. Ezáltal biztosítható, hogy a hőkezelési folyamat technológiai és gazdasági szempontból egyaránt optimális legyen.

Irodalom

- [1] *Faltin, H.*: Műszaki hőtan. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970.
- [2] *Smith, R. H.*: The Detection and Measurement of Infrared Radiation. 2. kiadás. Oxford, Clarendon Press, 1968.
- [3] *Berchert, R.*: Infrarottechnik.
- [4] *Bommer, P.*: Heizung und Trocknung mit Infrarotstrahler. Elektrizitätsverwertung 1966. 41. p. 143—158.
- [5] *Mazur, M.*: Einfluss der Strahlentemperatur in der Infrarotlaktrocknung. Elektrowärme 1962. 20. 5. p. 217—221.
- [6] *Walter, A.*: Keramische Infrarotstrahler in der Kunststoffindustrie. Elektrowärme International, 27. 1969. 11 p. 437—440.

19.

Keramikus vezérlőellenállás túlfeszültséglevezetőkhöz

DR. BOGOLY ISTVÁN—GYIMÓTHY KÁLMÁNNÉ

ÖSSZEFOGLALÁS

A szelephatású túlfeszültséglevezetők egyik lényeges alkotóeleme a potenciálvezérlő ellenállás. 30 kV és afeletti hálózati feszültségre szolgáló levezető biztonságos működése szinte elképzelhetetlen megfelelő „vezérlés” nélkül.

A feszültség egyenletes elosztására alkalmazott potenciálosztó elemeknek napjainkig számos változata terjedt el. Szerzők ebben a dolgozatban a nemlineáris vezetőképességű vezérlőellenállások vizsgálatai során nyert újabb tapasztalataikról számolnak be. Ismertetik azokat a főbb eredményeket, amelyeket a VKI-ban kidolgozott, keramikus szilíciumkarbid alapanyagú vezérlőellenállások kifejlesztése során értek el.

КЕРАМИЧЕСКИЙ УПРАВЛЯЮЩИЙ РЕЗИСТОР ДЛЯ РАЗРЯДНИКОВ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Д-р. И. Богой—К. Димоти

Резюме

Один из важных составных элементов разрядников от перенапряжений, работающих по вентильному эффекту есть резистор, управляющий потенциалом. Обеспечить надёжную работу разрядников на напряжения 30 кв и выше почти невозможно без соответствующего «управления».

До нашего времени распространено много вариантов делителей потенциалов для равномерного распределения напряжения. Авторы в этой работе излагают новейшие опыты по испытанию управляющих резисторов с нелинейной проводимостью. Излагают важнейшие результаты, достигнуты при разработке в НИИ Электрической промышленности керамических управляющих резисторов из карбида кремния.

KERAMISCHE NICHTLINEARE STEUERWIDERSTÄNDE FÜR ÜBERSPANNUNGSABLEITER

Dr. I. Bogoly—Frau K. Gyimóthy

Zusammenfassung

Eine wesentliche Komponente der Überspannungsableiter ist der Steuerwiderstand. Das zuverlässige Funktionieren eines für 30 kV Netzspannung und darüber dienender Ableiter ist fast unvorstellbar ohne entsprechende Potential-„Steuerung“. Zahlreiche Abarten der Potentialverteilungselemente zur gleichmässigen Spannungsverteilung sind heutzutage bekannt. Die Verfasser berichten in ihrer Abhandlung über ihre neuesten Erfahrungen bei den Prüfungen an den nichtlinearen Steuerwiderständen. Es werden die wichtigsten Ergebnisse dargelegt, die bei der Entwicklung der im VKI ausgearbeiteten keramischen Siliziumkarbid-Steuerwiderstände erzielt wurden.

CERAMIC NON-LINEAR GRADING RESISTOR FOR LIGHTING ARRESTERS

By Dr. I. Bogoly—Mrs. K. Gyimóthy

Summary

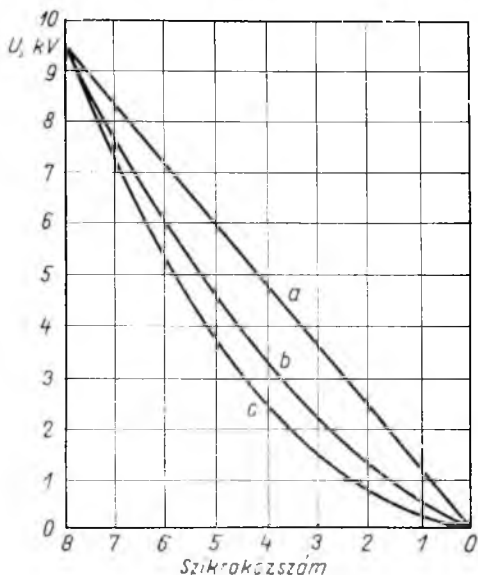
The non-linear grading resistor is one of the essential elements of lighting arresters. Reliable operation of arresters used for system voltage of 30 kV and above is practically unimaginable without grading resistors.

In our days a number of variants of potential dividing elements applied for purposes of an even voltage distribution has become known. In this paper account is given of recent experience gained during experiments with non-linear resistors. Main results in developing non-linear resistors, having ceramic silicon carbide for (starting) material, obtained at the Institute (VKI), are described.

1. Bevezetés

A hálózati túlfeszültségvezető szerkezeti felépítése olyan lánchoz hasonló, amelyben az egyes láncszemeket korong alakú ellenállások és szikraközök alkotják. Ezek váltakozva ismétlődnek egyenként vagy meghatározott csoportokban. Az ellenállások és szikraközök egy vagy több tagból álló, légmentesen zárt kivitelű, bordázott, porcelán házban nyernek elhelyezést.

A vezetőt a hálózat és a föld közé iktatják. Kb. 12 kV-ig gyakori a vezetékre függesztett kivitel, nagyobb feszültségen viszont tartószerkezetre vagy betonlapra helyezik el a vezetőket. Ha a vezető magassága bizonyos határon túl növekszik, a sarkaira kapcsolt üzemi feszültség mellett a szikraközökön megoszló potenciál a

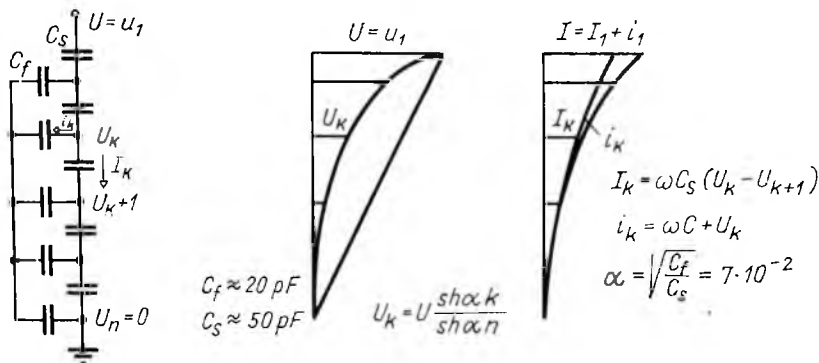


19-1. ábra. A vezető szikraközsein megoszló potenciál a lineáristól (a) eltér, és a vezérlőáram mértéke szerint változik (c vezérlőáram nincs; b a vezérlőáram 40 μ A)

lineáristól eltér és a 19-1. ábrán feltüntetett belógási görbékhez hasonlóan változhat. Ez azért van, mert a vezető szikraközének földhöz mért kapacitása más és más, s az itt fellépő járulékos kapacitív áram okozza a potenciáeloszlás lineáristól való eltérését (19-2. ábra).

Mivel a vezető ellenállások (blokkok) a kapacitív áram egyenletesebbé tételében nem játszhatnak szerepet (nyugalmi állapotban a hálózati feszültségnek tízed százalékát is alig viselik), a szikraközökkel párhuzamosan kapcsolt potenciálosztók nyújtják a megoldást (19-3. ábra). E célra a feszültségtől függő nemlineáris ellenállások bizonyultak legmegfelelőbbnek. (Speciális esetekben kapacitív osztókkal is kombinálják a rendszert. Ilyen megoldásokkal 330 kV és afeletti hálózatra szolgáló vezetőknél gyakran lehet találkozni.)

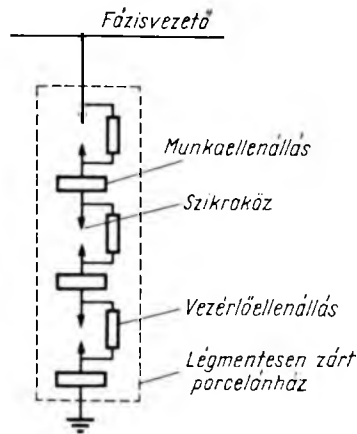
A feszültségtől függő, tömör kivitelű potenciálosztókon vagy vezérlőellenállásokon az üzemi feszültség esetén



19-2. ábra. A levezető mentén megoszló potenciált vezérlőellenállás nélkül a szikraközök C_s önkapacitása és azok földhöz mért C_f kapacitása határozza meg [8]

átfolyó aránylag kicsiny, 0,5 mA alatti áram már elegendő a „belógás” nagymértékű csökkentésére. Túlfeszültség esetén a vezérlőáram késedelem nélkül (10^{-6} s-on belül) megnő (19-4. ábra), s a megnövekedett vezérlőáram még inkább elősegíti a szikraközökre jutó feszültség egyenletesebb elosztását. Ezáltal lehetővé válik a levezető határozott értéken való megszólalása és a kívánt szelephatás biztosítása. Működés után (a túlfeszültség levezetését követően) a vezérlőellenállás rezisztenciája késedelem nélkül eredeti szintre áll vissza. (Lineáris ellenállás e célra alkalmatlan lenne, mivel a vezérlőáram vagy az üzemi feszültségen, vagy pedig megszólaláskor nem bizonyulna elegendőnek.)

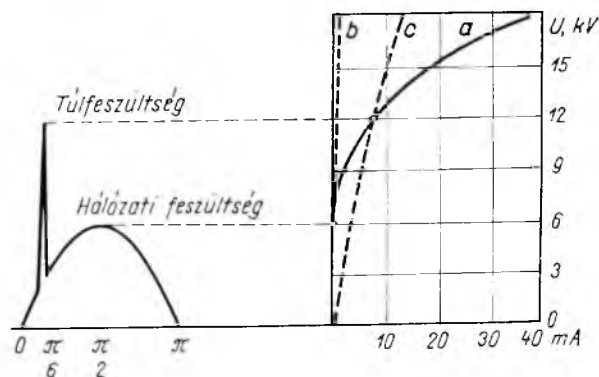
A Villamosipari Kutató Intézetben korábban kidolgoztak olyan 5 és 10 kA-es vezérlőellenállásokat [15], amelyek jól alkalmazhatók a magyar gyártmányú GTL típusú levezetőkhöz. Ezek az ellenállások granulált szilíciumkarbid (SiC) felhasználásával készülnek, s e célra kidolgozott szemcsés üveggel (kb. 700°C -on), nagy nyomással sajtolják formára. A gyártmányt a laboratóriumi és hálózati próbák mind villamos, mind termikus szempontból pozitívan értékelték [6], [12], azonban az eltelt közel két évtized során felmerült az igény egy egyszerűbb technológiai eljárás kidolgozására. Az új módszer a szemcsékötési rendszerben és az ehhez szükséges magasabb zsugorítási hőmérsékletben tér el az előzőtől.



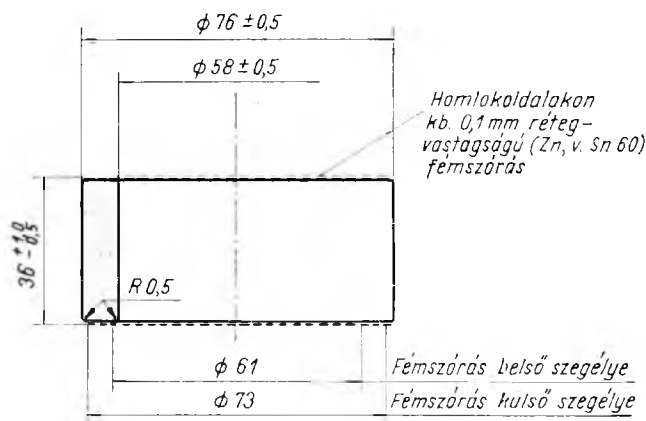
19-3. ábra. Vezérlőellenállásokkal szerelt levezető elrendezési vázlata

2. Előírt főbb követelmények

A hazai gyártmányú GTL-10 típusú levezető adott szerkezeti elrendezése [11] egyértelműen meghatározta a potenciálosztó ellenállás kiviteli alakját (19-5. ábra). Megállapítható, hogy nemcsak villamos szerepet szántak a gyűrű alakú ellenállás-testnek, hanem építőelem feladatot is. (A gyűrűn belül helyezik el a mágneseket és



19-4. ábra. Nemlineáris (a) és lineáris (b és c) vezérlőellenállás jelleggörbéinek összehasonlítása a levezető üzemi, ill. működési tartományjaiban



19-5. ábra. GTL—10 típusú vezérlőellenállás

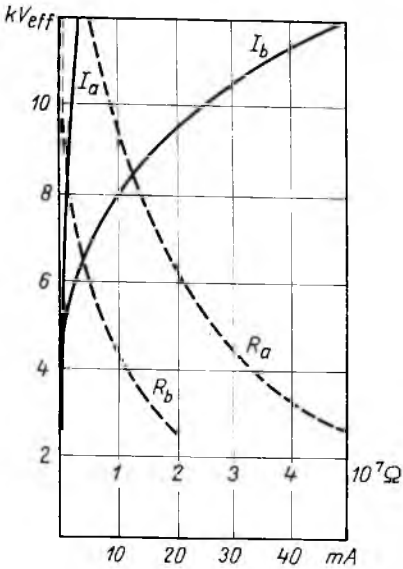
tányérszikraközöket, ugyanakkor a fémzórát homlokléfelületek a levezető-ellenállással a csatlakozást is biztosítják.)

A vezérlőellenállás villamos paraméterei:

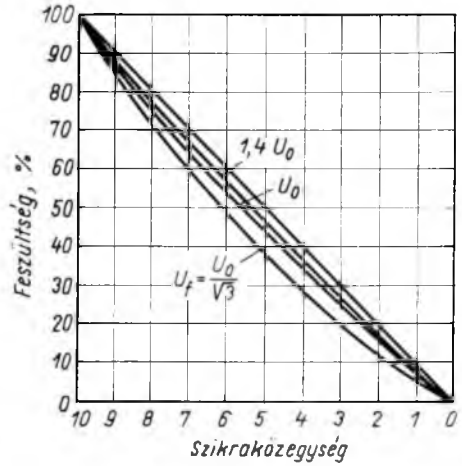
Feszültség, kV_{err}	Áram, mA
2,5	0,01...0,2
4,0	max. 0,5
6,0	max. 2,5
12,0	3...50

A feszültség-áram jelleggörbe szórásai sávját és mért rezisztenciáját a 19-6. ábrán tüntettük fel. Ilyen vezérlőellenállásokkal épített, 40,5 kV-os levezető mentén eloszló potenciált több levezetőn mértük. Mint a 19-7. ábrán látható, a belógás mértéke csökken, ha a levezető sarkaira kapcsolt feszültség növekszik.

A vezérlőellenállásokkal szemben támasztott hálózati követelményekkel már korábban foglalkoztak [6], [16], s többek között rávilágítottak az értékállósági kér-

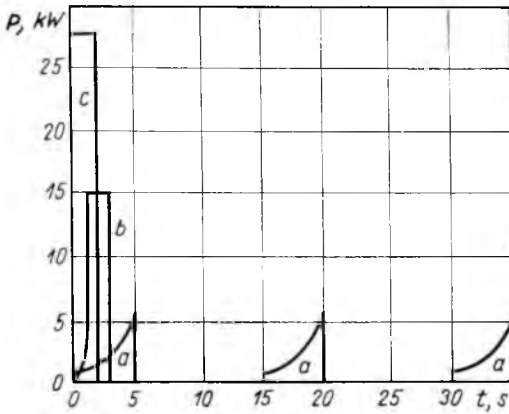


19-6. ábra. GTL—10 típusú vezérlőellenállás $u=f_1(i)$ és $u=f_2(R)$ jelleggörbéi



19-7. ábra. GTL—10 típusú 40,5 kV-os leveztő szikraközéin mért potenciáeloszlás

$U_0 = 40,5$ kV mellett $i_0 = 0,67$ mA,
 $U_f = 23,4$ kV mellett $i_f = 0,15$ mA,
 $1,4 U_0 = 56,7$ kV mellett $i_{1,4 U_0} = 2,04$ mA



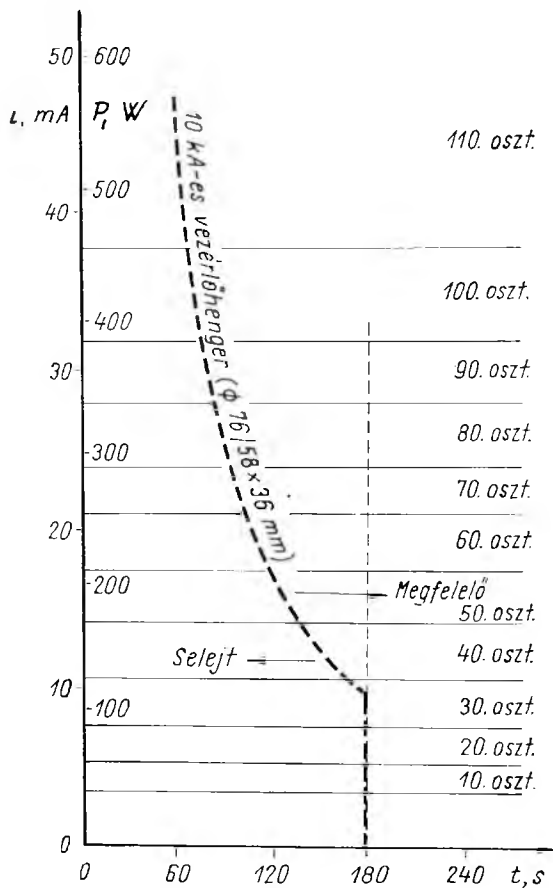
19-8. ábra. GTL—10 típusú 120 kV-os leveztő vezérlőellenállásainak fellépő termikus igénybevételek összehasonlítása

désekre is. Ebből a szempontból külön figyelmet érdemel a termikus igénybevehetőségre vonatkozó kívánalmak részletesebb vizsgálata.

A 19-8. ábrán 120 kV-os leveztő vezérlőellenállásainak termikus igénybevételeire vonatkozó adatokat hasonlítottunk össze:

- a) a levezető megszóllaltatása hálózati feszültséggel,
- b) GTL típusú vezérlőellenállások osztályozása során fellépő igénybevétel,
- c) GTL típusú vezérlőellenállások villamos formálására fordított igénybevétel.

Mivel a levezető 50 Hz-es megszóllaltatására többszöri ismétlést írnak elő [10], [13], érthető, hogy a 19-8. ábra szerinti *b* és *c* igénybevételt önmagában nem volt szabad elfogadni, ezért a szűrőpróbaszerű termikus vizsgálatokhoz a 19-9. ábra szerinti előírás járult [15]. Ez az intézkedés olyan biztonságot jelent, amely alkalmassá tette a vezérlőellenállást szélső igénybevételek kielégítésére is.



19-9. ábra. GTL—10 típusú potenciálvezérlő ellenállás termikus határgörbéje ($U_{próba} = 12 \text{ kV}_{eff}, 50 \text{ Hz}$)

3. A kutatás rövid áttekintése

A vezérlőellenállást a levezetőblokkok előállításánál követett technológiai eljáráshoz hasonlóan kívántuk megvalósítani.

Bár villamos szempontból ellentétes követelményeket kellett kielégíteni (19-1. táblázat), a technológia gerince alkalmazhatónak látszott. Ez pedig tömören a következő: elektrotechnikai szilíciumkarbid, megfelelő kötőanyag és egyéb adalékok

Jellemzők	Levezetőellenállás	Vezérlőellenállás
Térerősség, kV_{eff}/cm Névleges feszültség mellett Működés kezdetén Levezetéskor	— 0,75...1,0 2,5*	1,0...1,1 2,5...3,0 —
Áramsűrűség, A/cm^2 Névleges feszültség mellett Működés kezdetén Levezetéskor Határlevezető áram esetén	— 3,5...4,7* 140...190* 1400...2000*	max. $25 \cdot 10^{-6}$ max. $2 \cdot 10^{-3}$ — —

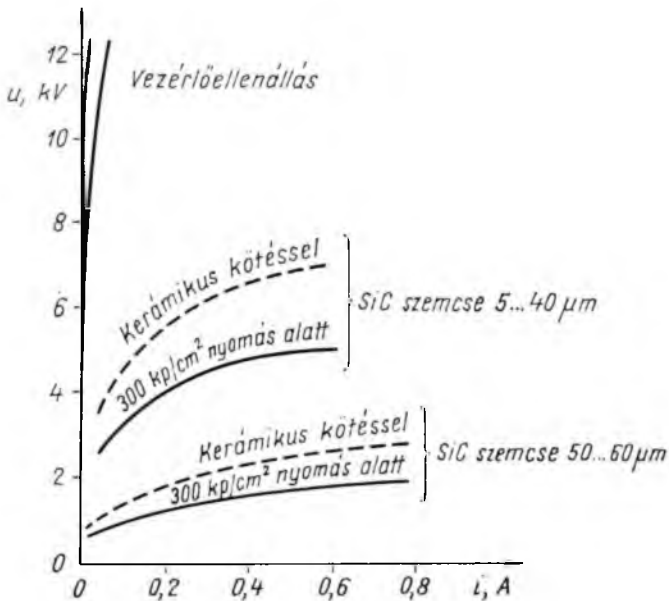
* Csúcsérték

homogén keverékét nagy nyomással formálni, szárítani, előégetni, zsugorítani, majd felületét kezelni, fémes csatlakozókkal ellátni és szükség szerint impregnálni.

Az ellenállástípust meghatározó villamos paraméterek, valamint a termikus szilárdság előírásainak teljesítése egyaránt nehéz feladatnak mutatkozott. A várakozásnak megfelelően számos negatív eredmény elérése után tudtunk csak előbbre jutni.

3.1 Anyagszerkezeti és hőkezelési problémák

Feszültségtől függő ellenállások előállítására a szilíciumkarbid (SiC) vagy karbon-dum régóta ismert [1], [3]. Ehhez kapcsolódó problémánk érzékeltetéséhez a 19-10. ábrán feltüntettük a vezérlőellenállás feszültség—áram jelleggörbéjét és annak geo-



19-10. ábra. GTL—10 típusú vezérlőellenállás „szórási” sávjának összehasonlítása, azonos geometriai méretűre számított, elektrotechnikai szilíciumkarbid mintákon mért $u=f(i)$ jelleggörbékkel

metriai alakjára számított elektrotechnikai SiC tételeinek megfelelő görbéit. Megrajzoltuk azokat a görbéket is, amelyeket kötőanyagba foglalt, bezsugorított formákon lehet mérni [5].

A 19-10. ábrán feltüntetett számadatok alapján könnyen megállapítható, hogy 300 kp/m² nyomás alatt tartott SiC kristályok kontaktusain, kb. 0,1 A mellett 1,7...2,0 V feszültség mérhető. Kötött állapotban ez az érték kb. 30%-kal nagyobb. Egyszerű számítással azt is megállapítottuk, hogy 5...10 μm méretű SiC kristályok esetén feladatunk lényegesen egyszerűbben teljesíthető [3]. Ezt az állapotot őrlés útján próbáltuk elérni.

Kísérleteink során sikerült a kívánt szemcsefrakciót jól megközelíteni (az őrlést komplex anyaghalmazon alkalmaztuk), azonban az így elért eredmények sem hozták meg a teljes sikert. Zavarok az alábbiakból adódtak:

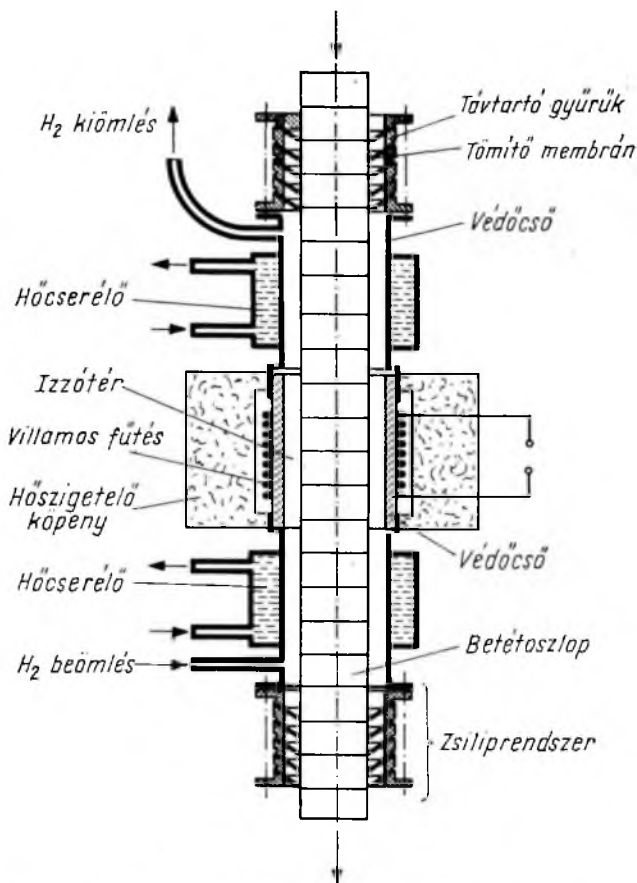
- Porcelán őrlőmalom alkalmazása esetén 25...35 súly% porcelánnal dúsult a kísérleti anyag, a porcelánfelvétel pedig alkalmatlaná tette az ellenállástesteket zsugorításra (alacsony lágyulási pont, nagy belső feszültségek keletkezése, inhomogén SiC-oxidáció).
- Vas őrlőmalom alkalmazása esetén intenzív Fe és Fe₂O₃ dúsulás következett be. Mivel megfelelő savazó berendezéssel nem rendelkezünk, a szennyezett anyag kiegészése során a SiC heves oxidációját észleltük.
- Porcelán őrlődob és tengeri flint kavics alkalmazása esetén a porcelán hatását részben sikerült ellensúlyozni, azonban a tengeri flint kavics őrlési vesztesége a porcelánét is felülmúlta. (A rendelkezésre álló flint kavics inhomogén volta miatt törmelék elkülönítési nehézségek merültek fel, ezért a további kísérleteket beszüntettük.)
- Normál folyami flint kavics alkalmazása esetén közel 50%-os súlygyarapodást észleltünk az őrleményben, s ez továbbra is zsugorítási nehézséget okozott.
- A SiC oxidációjának csökkentésére és a vezetőképesség javítására nagy tisztaságú, szemcsés grafitot alkalmaztunk. A grafit elsősorban a vezérlőellenállás formálási térerősségénél mutatott negatív hatást. (Égetés során CO₂ gázki-törési vonulatok képződtek, s ezek a helyek a felületi kúszószilárdságot nagymértékben lerontották. Ugyanakkor a grafit hamutartalma instabillá tette a villamos vezetést.)
- A kötőanyag alkálitartalmának növelésekor villamos vezetőképesség lényeges növekedése mutatkozott (a SiC kristályokat borító réteg oldását jelezte), azonban az előírt nagyobb villamos térerősség tartományában termikus át-ütéseket észleltünk. Hasonló jelenséget okozott a kén szennyezés is.

A negatív komponensek nagyrészt kiküszöböltük, így lehetővé vált, hogy a kemenceatmoszférának az előégetett vezérlőellenállásokra gyakorolt hatását részletesebben vizsgáljuk.

3.2 A kemenceatmoszféra hatása

Az ellenállástesteket 1200...1400 °C hőmérsékleten égettük. Ilyen célra szolgáló, függőleges elrendezésű kemence elvi felépítését a 19-11. ábra, hőszelvényét a 19-12. ábra mutatja. Az *A* hőszelvényű kemence semleges vagy redukáló gázzal öblíthető (N₂, Ar, H₂, CO₂), a *B* jelű pedig nyitottan, vagy zártan üzemeltethető.

A SiC szemcsék kötésére SiO₂—Al₂O₃ és SiO₂—Al₂O₃—MgO rendszerű szilikátokat alkalmaztunk. Bár a kísérő szennyezések nagymértékű ingadozást hoztak létre, ezek hatását — szerteágazó voltak miatt — itt nem kívánjuk részletezni.

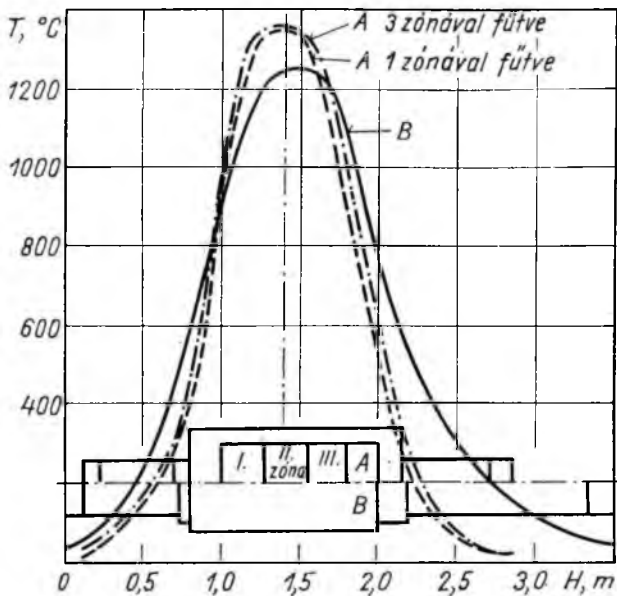


19-11. ábra. Függőleges elrendezésű csőkemence elvi felépítése

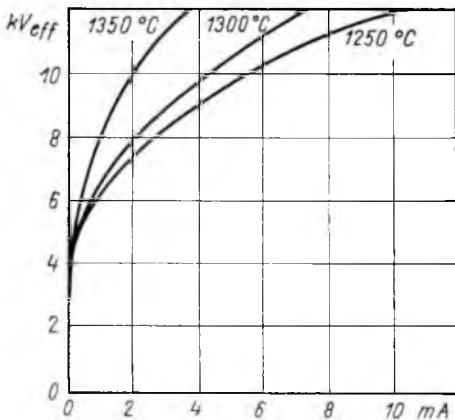
Levegőn az ellenállástest feszültség—áram jelleggörbéje a jelölt hőmérsékleten a 19-13. ábra szerint változott. Növekvő hőmérséklet hatására a SiC oxidációját, s ennek következtében a fajlagos vezetőképesség csökkenését észleltük. A tapasztalt jelenség egyezik más körülmények között vizsgált, ill. nyert eredményekkel [7], [9], [17]—[19].

1250 °C hőmérsékletű égetés után az ellenállástest relatív porozitása kb. 23%, míg 1350 °C-nál 10...12%. Számos ismétlés azt bizonyította, hogy a kívánt eredmények eléréséhez gondosan osztályozott, megfelelő tisztaságú és villamos vezetőképességű SiC őrlményre, ill. kötőanyagra van szükség.

Levegőáramú égetés során jól megfigyelhettük az ellenállástest keresztmetszetének egyenlőtlen oxidációját is (19-14. ábra). Az oxidáció behatolási mélysége ott nagyobb volt, ahol a tömörítő présnyomás kisebb mértékben érvényesülhetett. Ha pl. a hőkezelt minta Fe_2O_3 tartalma növekedett (őrlelésből maradt szennyezés), a belső mezőkben kb. 1340 °C hőmérsékleten olvadácsatornák képződtek. Mivel a csatornák vezetőképessége jobb, mint az ellenállástest oxidált tartományaié, villamos mérésük alkalmával belső átívelések következtek be (19-14. ábra).

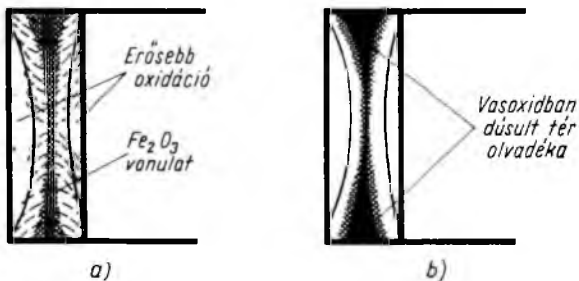


19-12. ábra. Égetőkemencék hőszelvénye.
(A gázzal öblíthető kivitel, B nyitott kivitel)



19-13. ábra. $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—MgO}$ komponensekből álló porkeverékbe ágyazott szilíciumkarbid $u=f(i)$ jelleggörbéjének változása az oxidáció miatt, a hőmérséklet függvényében

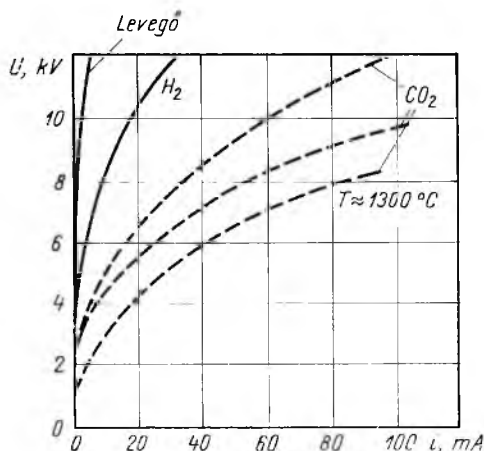
CO_2 gáz alkalmazása során egyértelmű eredményekhez nem sikerült jutni. Ezt elsősorban a felhasznált műszen és elektrografit kísérő szennyezéseinek tulajdonítjuk. A különböző módon nyert CO_2 gáz jelenlétében az ellenállástest vezetőképessége általában megnövekedett, azonban a villamos jelleggörbe megfelelő értéken tartása nem volt lehetséges (19-15. ábra). A kérdés tisztázása még behatóbb vizsgálatot igényel.



19-14. ábra. Levegőn égetett SiC ellenállástest Fe szennyeződése tovább oxidálódik (bal oldali metszet) és kb. 1340 °C hőmérsékleten megömlik (jobb oldali metszet)

Száraz H₂ gáz felhasználása során homogén anyagszerkezet adódott, s az ellenállástest feszültség—áram jelleggörbéje aránylag kis szórás tartományban terült el (19-15. ábra). A H₂ gáz — mint más kísérleteknél is tapasztaltuk — előnyösen alkalmazható a nemkívánatos szennyezések redukálására és gőzeik transzportálására. Az aránylag rövid hőzónájú kemence esetében alaposabb felületi tisztítást igényelt a kiegészített ellenállástest akkor, amikor a kemence betétanyagának haladási sebességét megnöveltük. Nagyobb tisztaságú anyagok és eszközök alkalmazásakor viszont minden esetben kielégítő villamos és termikus eredményekhez jutottunk.

Nitrogén áramú égetés során nyert minták nemlineáris vezetőképessége — a levegőn égetett anyag vezetőképességéhez mérten — megnövekedett, azonban a hidrogén által biztosított redukciós hatás természetesen nem következett be. Ez a kísérlet világosan rámutatott a SiC felületén és kötőanyagában jelenlevő, különböző fémoxid és egyéb szennyezésekre, amelyek nagy része nemcsak a nemlinearitást, hanem a termikus szilárdságot is csökkenti.



19-15. ábra. Szilíciumkarbid ellenállástest $u=f(i)$ jelleggörbéinek változása az égetőkemencében levő gázatmoszféra hatására

3.3 A felületi kúszószilárdság és termikus szilárdság ellenőrzése

A vezérlőellenállás 19-9. ábra szerinti termikus határgörbéje igen szigorú előírásnak tűnik, ha összehasonlítjuk a 19-8. ábra adataival. A 19-8. ábra olyan 120 kV-os hálózati levezetőre vonatkozik, amelyben 25 db GTL tip. vezérlőellenállás van. (A szerelés előtti *b* igénybevétel esetén egy-egy vezérlőelemre átlag 600 W; *c* igénybevétel esetén pedig kb. 1100 W teljesítmény jut. Mindkét esetben az igénybevétel ideje 2...3 s.) A levezető 50 Hz-es feszültséggel történő megszólaltatásának pillanatában viszont (*a* igénybevétel) kb. 240 W számítható egy-egy ellenállástestre. Ez az igénybevétel legalább ötször ismétlődik.

Ha meggondoljuk, hogy a vezető típusmérése során nemcsak 50 Hz-es hálózati feszültségű megszólaltatásokat idéznek elő, hanem különböző lökőhullámú megszólaltatásokat is, érthetőbbé válik a 19-9. ábra szerinti meggondolás. Egy-egy vezetőre, annak típusmérése során 100...200 alkalommal is bocsátanak mérőhullámot (ezek jelentős részénél meg sem szólal a vezető). Gondoljunk a 100%-os 1/50 μ s lökőhullámú mérésre; a hullámhomlokon történő, valamint az előírt háromféle hosszúhullámú megszólaltatásokra, ezek pozitív és negatív polaritású ismétléseire, valamint az 50 és 100%-os megszólalási értékek közelítő módszerére. Ezeknél a mérésnél (ha megszólalás nem következik be) a vezérlőellenállás tölti be a vezetőellenállás szerepét, hiszen a lökésgerjesztő mérőhullámában felhalmozott energiát le kell vezetnie. Az ilyen igénybevételek viszont nem hanyagolhatók el és tüstént felmerül a vezérlőellenállás termikus szilárdsága mellett a kritikus térerősségnek, valamint a felületi kúszoszilárdságnak a kérdése.

A GTL tip. vezetőellenállások kutatása során kimutattuk [5], hogy minden szilíciumkarbid alapanyagú ellenállásnak van egy kritikus térerőssége, amelynek túllépése esetén az ellenállástestben levő SiC kristályok borító rétegének, valamint az alkalmazott kötőanyagának a fokozatos átütésével kell számolni. A kritikus térerősség függ az anyagszerkezettől, ill. az igénybevétel módjától. Esetünkben, pl. a vezető hosszúhullámú megszólaltatásakor, igen tekintélyes térerősség léphet fel az ellenállástestben (3,5...4,0 kV_{csúcs}/cm), azonban ez az érték még nem lépi túl azt a térerősséget sem, amit a vezérlőellenállás „osztályozása” során idézünk elő. A biztonság növelése érdekében mégis szükségesnek látszott egy előzetes „szűrőpróbát” bevezetni (19-8. ábra, c igénybevétel), s ez a vezérlőellenállás 50 Hz-es hálózati feszültséggel való „formálása”.

A formálópróba felületileg kellően tisztított, fémszort és paraffinban impregnált ellenállástesteket bocsátanak. Ezeket egyenként 14...15 kV_{eff} hálózati feszültségre kapcsolják, 2...3 s időtartamra. A formálófeszültségen — a vezérlőellenállás áramértékétől függően — a megolvadó paraffin jelzi a homogén anyagszerkezetet, ill. az esetleges hibahelyeket. Ilyenkor a hibás ellenállástestek átütnek, vagy felületükön átívelnek. (Az alkalmazott formálás kritikus térerősség alatti igénybevételt okoz, ily módon nem kell számolni a SiC kristályokat borító réteg átütésének megindulásával.) Az 50 Hz-es hálózati feszültségű formálást más Varistor jellegű ellenállástípusoknál is alkalmaztuk, s ez lehetővé tette a gyártott sorozat megfelelő minőségén való tartását [14].

A 19-9. ábra szerinti termikus próba (amit szűrőpróbaként alkalmaznak, meghatározott számú ellenálláson) lényegében a rezisztencia állandóságának laboratóriumi ellenőrzésére szolgál. Az előírt időtartam alatt az ellenállástest felmelegszik, lokális szennyezés esetén idő előtt átüt vagy felületén átível. Hőelvezetés figyelembevétele nélkül a betáplált, ill. felhalmozott energiára a következő egyenlet ad tájékoztatást:

$$0,24UIt = mc\Delta T, \quad (1)$$

ahol U az ellenállás sarkain fellépő feszültség, V
 I az ellenálláson átfolyó áram, A
 t az igénybevétel ideje, s
 m az ellenállás tömege, g
 c az ellenállás fajlagos hőkapacitása, kal/g°C
 ΔT az ellenállás hőmérsékletének növekedése, °C.

A vezérlőellenállásra jellemző fajlagos hőkapacitás $c=0,18$, tömege 130 g. Mivel a próbafeszültség állandó ($U=12$ kV_{eff}), az (1) képlet behelyettesítése és átren-

dezése után az ellenállás hőmérsékletének növekedésére felírható:

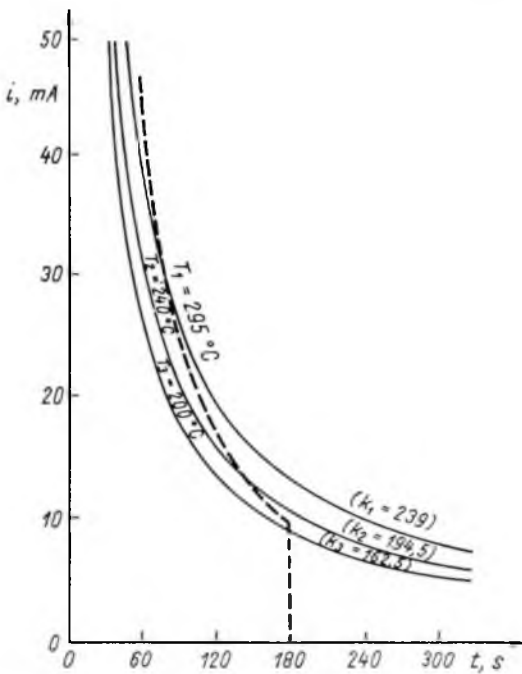
$$\Delta T = 123,07It \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

Ha $I=40 \text{ mA}$ és $t=60 \text{ s}$, akkor $\Delta T=295 \text{ } ^\circ\text{C}$. Mivel a csatlakozó elektródok a hőelvezetésben részt vesznek, a jelölt időtartam végén a vezérlőellenállás átlagos hőmérséklete ennél kisebb (kb. $260 \text{ } ^\circ\text{C}$). Ezen igénybevétel után viszont az impregnálóanyag (paraffin) az ellenállástest belsejében (a SiC kristályok érintkezési helyeinek környezetében) már lényegesen nagyobb hőmérsékletet ér el.

Az (1) képlet $I=f(t)$ hiperbolák megszerkesztésére is felhasználható, a következők szerint:

$$It = \frac{mc \Delta T}{0,24U} = \text{állandó}. \quad (3)$$

A termikusan közel azonos igénybevételt jelentő $It=k_1$ nivógörbéi a 19-16. ábra szerint változnak.



19-16. ábra. GTL—10 típusú vezérlőellenállás $i=f(t)$ jelleggörbéik összehasonlítása a 19-9. ábra szerinti termikus határgörbével

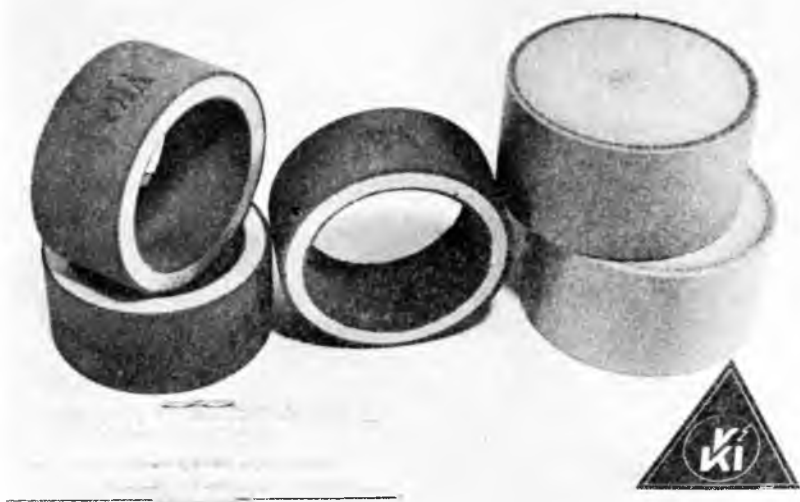
Mivel számításunk a hőelvezetést mellőzi, a hosszabb időtartamú próbáknál kedvezőbb mérési eredményekhez lehet jutni. A 19-16. ábrán berajzoltuk a 19-9. ábrán feltüntetett termikus határgörbét is, a próba során várható hőmérséklet alakulásának szemléltetésére.

Bár a 19-9. ábra szerinti próba lényegesen meghaladja a levezető típusmérése során alkalmazott valamennyi igénybevételt, nem szabad szem elől téveszteni, hogy a la-

boratóriumi mérés más, mint a hálózat próbája. Utóbbi esetben 10—15 éves szolgálatról van szó, s a vezérlőellenállások mindvégig üzemi feszültségen vannak. A vezérlőellenállás rejtett hibája viszont kihat annak értékállóságára, amely követelmény a szelephatású túlfeszültségvezetők élettartama szempontjából elsőrendűen fontos.

4. Összefoglalás

Korszerű technológiai eljárást dolgoztunk ki olyan vezérlő (potenciálosztó) ellenállás előállítására, amely alkalmas az IEC ajánlásoknak is megfelelő „nehézüzemű” túlfeszültségvezetők igénybevételi viszonyainak kielégítésére (19-17. ábra). A tömör kivitelű ellenállástest nagy termikus szilárdságát és megfelelő értékállóságát kb. 1300 °C hőmérsékletű égetéssel biztosítottuk, s ezáltal lehetővé tettük egy korábbi munkai igényesebb és a levegő relatív nedvességtartalmára érzékenyebb gyártmány mellőzését.



19-17. ábra. GTL—10 vezérlő- és vezetõellenállások

Porkohászati eljárásunk kiküszöbölte azokat a hibákat is, amelyeket hasonló gyártmányoknál tapasztaltunk (pl. oxidációs hajlam, helyi melegek, impregnáló sók „kiizzadása”). A vezérlőellenállás nemlineáris vezetőképessége lehetővé teszi más kiegészítő elemek (pl. kapacitív osztók) mellőzését, nagyobb feszültségű vezetők esetén is. A kidolgozott anyag alkalmas más méretű és alakú feszültségtől függő rezisztenciájú testek előállítására különféle vezetőkörhöz vagy hasonló nagyfeszültségű ellenállásokat igénylő villamos berendezésekhez és készülékekhez.

Irodalom

- [1] *Bogoly I.*: Túlfeszültségvédelmi célokra szolgáló szilíciumkarbid alapanyagú ellenállások és azok gyártásával kapcsolatos kérdések. Mérnöki Továbbképző Intézet, 3654. Budapest, 1958.
- [2] *Bogoly I.*: Nemlineáris ellenállások túlfeszültségvezetőkhez. Elektrotechnika, 54 (1961) 67.
- [3] *Bogoly I.*: Szilíciumkarbid nemlineáris ellenállásokon, nagyáramú impulzusok hatására fellépő igénybevételek vizsgálata és az ebből levonható következtetések az anyagszerkezet kialakítására vonatkozóan. Kandidátusi disszertáció. Budapest, 1968.
- [4] *Bogoly I.*—*Hernádi R.*—*Lőcsei B.*—*Lukács J.*—*Martin R.*: Eljárás SiC alapanyagú villamos túlfeszültségvezető ellenállás előállítására és berendezés az ellenállás zsugorítására. 157.455. sz. magyar szabadalmi leírás (1969).
- [5] *Bogoly I.*: A vezető nemlineáris vezetőképessége és négyszöghullámállósága közötti kapcsolat vizsgálata. Elektrotechnika, 63 (1970) 113.
- [6] *Bogoly I.*—*Takáts L.*: Szelephatású túlfeszültségvezetők ellenőrzése hálózaton és laboratóriumban. Villamosság, 22. (1974) 185.
- [7] *Braun A.*—*Busch G.*: Über den Mechanismus Spannungsabhängiger Wiederstände. Helv. Phys. Acta, 1942. 15 kötet. 571.
- [8] *Csernátóny Hoffer A.*—*Horváth T.*: Nagyfeszültségű technika. Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
- [9] *Dietzel A.*—*Jagodzinski H.*—*Scholze H.*: Untersuchungen an technischem Siliziumkarbid. Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen, 1959.
- [10] *IEC Recommendation*: Lightning arresters. Publication 99—1. 1970. Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale. Genève, Suisse.
- [11] *Lukács J.*—*Bogoly I.*—*Horváth F.*—*Nagy G.*—*Szabó L.*: Túlfeszültségvezető. 151, 351 sz. magyar szabadalmi leírás (1961).
- [12] *Lukács J.*—*Bogoly I.*—*Horváth F.*: Hazai túlfeszültségvezetők vizsgálata a KEMA laboratóriumában. Elektrotechnika, 56 (1963) 147.
- [13] MSZ 9249—72. Túlfeszültségvezető Magyar Szabványügyi Hivatal, 1973. okt. 1. (621.316.933).
- [14] *VKI Műszaki dokumentáció telefoni átvivőberendezések túlfeszültségvédelmére szolgáló Varristorjellegű ellenállások gyártására.* 3—14.08.1—1016/BHG Budapest, 1960.
- [15] *VKI Műszaki dokumentáció GTL 3—220 kV-os típusú és 10 kA-es hálózati túlfeszültségvezető készülékekhez alkalmazott potenciálvezérlő hengerek gyártására.* Budapest, 1961.
- [16] *VKI Zárójelentés GTL típusú levezetők vezérlőáramával kapcsolatos vizsgálatokról 5.31.1777/II—MVMT Budapest, 1974.*
- [17] *Volkenau, V. A.*—*Pruzsinyina-Granovszkaja, V. I.*: Sztarennie karborunda pri mnogokratnoj nagruzke impulsnymi tokami. Vesztnyik Elektropromislenosztvi, 1960. 4. sz. 59.
- [18] *Voronyin, N. I.*—*Kuznyecova, V. L.*—*Breszker, R. I.*: Szluzsba elektronagreuátyelej iz karbida-kremija v razlicsnih szredah. Ogneupory, 1965. 30. kötet. 22.
- [19] *Wiebke G.*: Die Oxydation von Siliziumkarbid Ber. DKG. 1960. 37. kötet. 219.

VILLAMOS KÉSZÜLÉKEK

20.

Kisfeszültségű kontaktorok megbízhatóságának növelése az érintkezőanyagok megfelelő párosításával

DR. NÉVERI ISTVÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

A kisfeszültségű kontaktorok megbízhatósága mindenekelőtt a villamos érintkezők élettartamának növelésével fokozható. A szerző ismerteti az érintkezők iverózióját befolyásoló tényezők szerepét és az erősáramú villamos ív hatására bekövetkező érintkezőanyag-vándorlás mechanizmusát. Bizonyítást nyer, hogy az ív hatására felszabaduló fémgőzök kondenzációja nagymértékben fokozható az érintkezőanyagok megfelelő párosításával.

Az anyagvándorlás vizsgálatára radioizotópos és elektronmikroszkópos vizsgálati módszereket alkalmaztunk. Az Ag, AgNi és AgCdO érintkezők „aszimmetrikus” elrendezésével lényeges élettartamnövelést értünk el, amit modellberendezésben és kisfeszültségű kontaktorokban végzett vizsgálatok eredményeivel támasztunk alá.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СООТВЕТСТВУЮЩЕГО СПАРЕНИЯ КОНТАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д-р. И. Нэвери

Резюме

Повышение надёжности переключающих аппаратов обеспечивается, в первую очередь, повышением долговечности контактов. Автор излагает роль факторов, воздействующих на дуговую эрозию контактов и механизм перемещения контактной массы из-за действия сильноточной дуги. Доказывает, что конденсация металлических пар, освободившихся под действием дуги, увеличивается в большой степени при соответствующим спарении контактных материалов.

Испытания перемещения материала проведены методами радиоизотопного и электронмикроскопного измерений. С «асимметрическим» расположением контактов из Ag, AgNi и AgCdO срок службы значительно увеличивается — это доказано результатам измерений, проведённых в модельной установке в контакторах низкого напряжения.

ZUVERLÄSSIGKEITSSTEIGERUNG VON SCHÜTZEN DURCH ENTSPRECHENDE KONTAKTPAARUNG

Dr. I. Néveri

Zusammenfassung

Die Zuverlässigkeitserhöhung der Schaltgeräte kann vor allem durch verlängerte Lebensdauer der elektrischen Kontakte erreicht werden. Der Verfasser beschreibt die Rolle der Faktoren, die die Bogenerosion der Kontakte beeinflussen sowie den Mechanismus der durch den Starkstromlichtbogen entstehenden Kontaktstoffwanderung. Er steht fest, dass die Kondensation der durch den Bogen freiwerdenden

Metalldämpfe durch geeignete Paarung der Kontaktstoffe stark gesteigert werden kann.

Die Untersuchungen der Materialwanderung wurden mit radioisotopischen und elektronmikroskopischen Prüfmethode durchgeführt. Durch „asymmetrische“ Anordnung der Ag, AgNi- und AgCdO-Kontakte kann eine nennenswerte Erhöhung der Lebensdauer erreicht werden, die durch die Ergebnisse der Untersuchungen an Modellanlagen und an Niederspannungs-Schützen unterstützt werden. Schliesslich werden die zur Erhöhung der elektrischen Lebensdauer der Niederspannungs-Schaltgeräte geeigneten Ausführungen erörtert.

INCREASED RELIABILITY OF LOW-VOLTAGE SWITCHES BY CONTACT PAIRED SUITABLY

By Dr. I. Néveri

Summary

Reliability of switches can be increased mainly by prolonging the life of electrical contacts. The paper describes the role of factors influencing the arc erosion of contacts and also the mechanism of material migration caused by heavy-current arc. It is shown that condensation of metal vapour, released under the arc effect, can be highly increased by proper pairing of contact materials.

Migration of materials was studied by using radioisotopic and electron microscopic methods. Through "asymmetric" arrangement of Ag, AgNi and AgCdO contacts we can increase the endurance which was confirmed by test results obtained in model equipment and low-voltage contactors. Solutions suitable for increasing electric life of low-voltage switches are described.

1. Bevezetés

A kontaktor a legfontosabb kiefeszültségű kapcsolástechnikai elem. Leggyakoribb fajtája a mágneskapcsoló, amelyben elektromágnes végzi az érintkezők zárását, vagyis a bekapcsolást, az érintkezők szétválasztása pedig az elektromágnes kikapcsolásakor önműködően történik. A kontaktor alkalmas fogyasztók távműködtetésére (ki- és bekapcsolásra), valamint zárt állapotban a zavarmentes energiaellátás biztosítására. Túlterhelés ellen védő elemmel ellátva automatikus túlterhelésvédelemre is alkalmas, pl. motorvédő kapcsolóként használható.

Az automatizálás gyors ütemű fejlődése, az ipari és háztartási villamos gépekkel szemben támasztott mennyiségi és minőségi igények ugrásszerű növekedése, a kontaktorok jelentőségét nagymértékben fokozta. A megbízhatósági követelmények, az igen nagy kapcsolási gyakoriság miatt, valamint amiatt, hogy folyamatos üzem közben a gyakori karbantartás megengedhetetlen, ma már olyan mágneskapcsolókat kell gyártani, amelyek többmillió kapcsolat után sem szorulnak felülvizsgálatra, ill. alkatrészcsere-re. Az igényeket a különféle félvezető kapcsolók általában kielégítik, de egyszerűsége és viszonylagos olcsósága folytán még hosszú ideig a mágneskapcsoló marad a motorok kapcsolásának és védelmének, az erősáramú automatikának, valamint a kiefeszültségű energiaelosztásnak az egyik alapkészüléke.

A műszaki igények növekedése megköveteli a kontaktorok állandó fejlesztését. A különféle üzemmódban működő, igen sok kapcsolást megbízhatóan végrehajtó készülék legkényesebb eleme az érintkezőrendszer. Sok készülékgyár még ma is csak úgy tudja garantálni a fogyasztók által kívánt 5...10 millió kapcsolást, ha bi-

zonyos kapcsolási szám után előírja az érintkezőcserét. A cél természetesen az egyenszilárdságú kontaktor kialakítása, amelyben a villamos ív által igénybe vett érintkezők a kapcsolók mechanikus részeivel azonos élettartamúak. A karbantartási ciklusidők növelése, az alkatrészcserek szükségességének megszüntetése különösen nagy jelentőségű a folyamatos és automatikus gyártási folyamatok esetében, ezért foglalkoznak világszerte egyre nagyobb intenzitással az érintkezőjelenségek kutatásával. A kontaktorfejlesztés legfontosabb előfeltétele a megfelelő érintkezőanyag és érintkezőrendszer kiválasztása.

2. Az érintkezők közötti anyagvándorlás

A kontaktorok érintkezőinek élettartama, vagyis az íverózióval szembeni ellenállóképessége függ a kapcsolandó áramkör jellemzőitől (áram, feszültség, teljesítménytényező), a kapcsolókészülék paramétereitől (nyitási távolság, kapcsolási sebesség, az alkalmazott ívöltő rendszer, stb.), valamint az érintkezők anyagától és alakjától. Az üzemi feltételek ismeretében, a rendelkezésre álló kutatási eredmények alapján jól megközelíthetők az optimális kapcsolási paraméterek. Az érintkezők anyagára és alakjára vonatkozóan is sok vizsgálati adat áll rendelkezésre. A sokféle paraméter együttes hatásának elemzése azonban még ma is alapos megfontolásra készíti a készüléktervezőket és külön mérlegelendő, hogy a különféle érintkezőanyagok közül egy adott esetben melyik a legkedvezőbb összetétel. A kisfeszültségű kontaktorok szokásos érintkezőanyaga ma a színezüst, a különféle százalékos összetételű AgCdO és az AgNi. Az érintkezőkre vonatkozó kutatási eredmények jó összefoglalása található az [1]-ben, ahol a szerző 410 szakcikk alapján ad a témakörrel áttekintést. A [2] és [3] részletesen elemzi az áramerősségnek, a kapcsolási sebességnek, az ívöltő rendszernek, valamint az érintkezők méretének és anyagának hatását a kisfeszültségű váltakozóáramú kontaktorok villamos élettartamára.

Az érintkezők élettartamának további növelésére nyílik lehetőség, ha az ív hőhatására megolvadt és elgőzölgött fém egy részét az ív elválása után vissza tudjuk nyerni. Ha ugyanis a fémgőzök az érintkezők felületén kondenzálódva ott jól megkötődnek, hasznos érintkezőanyagként vehetnek részt a további kapcsolásokban. A szakirodalom az ilyenfajta fémvisszanyerést „takarékh hatás”-nak, máshol „durva anyagvándorlás”-nak nevezi, ellentétben a kisáramú (gyengeáramú) érintkezők között létrejövő „finom anyagvándorlás”-sal vagy „híderózió”-val [4], [5], [6].

A *finom anyagvándorlás* a gyengeáramú érintkezők kikapcsolási folyamata közben kialakuló fémhíd hatására következik be. Az érintkezők szétválásának pillanatában az érintkezési hely fokozatosan csökken és igen nagy áramsűrűség alakul ki. Az érintkezők további elválása során a nagy áramsűrűség hatására megolvadt fém széthúzódik, fémhíd keletkezik, majd az olvadt fémhíd elszakad. Az elszakadás helye függ az érintkezők anyagától és a fémhídon belüli hőeloszlástól. Az aszimmetrikus hőeloszlás miatt a megolvadt fémhíd általában nem középen, hanem valamelyik elektródhoz közelebb szakad el. Több száz kapcsolat után a katódon csúcsképződés, az anódon pedig kráter keletkezik, vagyis a katódon anyagnövekedés, az anódon anyagcsökkenés mérhető. A híderózió tehát az anódról a katód irányába mutató finom anyagvándorlást eredményez. A gyengeáramú érintkezők megbízható működését az anyagvándorlás gátolja, az egyenetlen érintkezőfelületek ugyanis bizonytalanra teszik az áramvezetést, sőt esetenként a nyitott érintkezők között galvanikus kapcsolat is felléphet.

Durva anyagvándorlásról általában erősáramú készülékek érintkezői között létrejövő, 15 V-nál nagyobb ívfeszültségű, ún. hosszú ívek keletkezésekor beszélhetünk.

Ilyenkor az ívtalppontok hőhatása következtében elgőzölgő fém az ívoszlopban a katódból az anód irányába vándorol. Váltakozóáramú kontaktorok esetében állandóan változik az anód és a katód, ill. egyforma valószínűséggel lesz az egyik érintkező anód, a másik katód. Az anyagvándorlás iránya tehát hol a mozgó-, hol az állóérintkező felé mutat.

A durva anyagvándorlásnak egy másik fajtája az ív elalvása után lép fel, amikor az ív hatására elgőzölgött fém egy része az érintkezők felületére rakódik. Az anyagvándorlásnak ez a formája nemesfém alapú érintkezők esetében növeli az érintkezők élettartamát, hiszen az érintkezők felületére csapódott fémgőzök jól kötődnek az alapanyaghoz és nem rontják az érintkezők áramvezetési tulajdonságait.

Az érintkezőanyagok minőségének javításával és a kapcsolási paraméterek optimalizálásával együtt feladatunk tehát a durva anyagvándorlás adta lehetőségek minél jobb kihasználása, hogy ezáltal tovább növelhessük a kontaktorok érintkezőinek élettartamát. Megállapítást nyert, hogy a takarékhatas, vagyis az elgőzölgött érintkezőfémek visszanyerése az érintkezőanyagok helyes megválasztásával és a kapcsolási sebesség optimális beállításával nagymértékben fokozható [7]. 100 A névleges áramerősségű kontaktor esetében pl. ugyanolyan kapcsolási paraméterek mellett az elgőzölgött érintkezőfémekből 15...20%-kal több nyerhető vissza ezüstkadmium-oxid esetén, mint színezüst érintkezők alkalmazásakor.

Tovább növelhető a takarékhatas, ha a kontaktorok mozgóérintkezőit és állóérintkezőit más-más fémből készítjük, vagyis az érintkezőket a fémgőzök kondenzációja szempontjából előnyösen párosítjuk. Ebben az esetben az érintkezők polaritásától függetlenül be tudjuk állítani az anyagvándorlás irányát. Ahhoz azonban, hogy a legkedvezőbb megoldást meghatározzuk, az elméleti megfontolásokon túlmenően olyan vizsgálati módszereket kell alkalmaznunk, amelyek egyértelműen kimutatják az átvándorolt érintkezőanyag minőségét és mennyiségét.

3. Mérési módszerek az anyagvándorlás meghatározására

Az erősáramú készülékek érintkezőinek anyagfogyását általában súlyméréssel szokták regisztrálni. Megfelelő számú kapcsolat után analitikai mérlegen mérik a súlycsökkenést és értékelik az anyagfogyás alakulását a kapcsolási szám függvényében. Ez a mérési mód azonban nem ad képet arról, hogy az érintkezők között történt-e anyagvándorlás, ill. milyen mennyiségű fémgőz kondenzálódott az érintkezők felületén.

A Magyar Tudományos Akadémia Izotóp Intézetével együttműködve *radioizotópos vizsgálati módszert* vezetünk be az anyagvándorlás mértékének meghatározására [8]. Az érintkezőpár egyik érintkezőjét felaktiváltuk, a másik érintkező pedig inaktív maradt. Bizonyos számú kapcsolat után ilyen módszerrel meghatározható, hogy az aktív érintkezőről milyen mennyiségű anyag vándorolt át az inaktív érintkezőre. A radioaktív nyomjelzést neutronaktiválással végeztük. Ezüstérintkezők esetén Ag 110 m, ezüstkadmiumoxid érintkezőnél Ag 110 m és Cd 115, ezüstnikkel érintkezőnél pedig Ag 110 m és Ni 65, valamint a nikkelből keletkező Co 58 jelű izotópokat használtunk.

Az aktív érintkező fogyását, ill. az inaktív érintkezőre átrakódott aktív érintkező mennyiségét úgy határoztuk meg, hogy a megfelelő izotópból készült ismert tömegű minta (monitor) γ -spektrumát hasonlítottuk a vizsgálandó és ismeretlen tömegű érintkező izotóp γ -spektrumához. A kettő közötti arány megadta, hogy a keresett anyag tömege a monitor tömegének hányadrésze. Mind az aktív, mind az

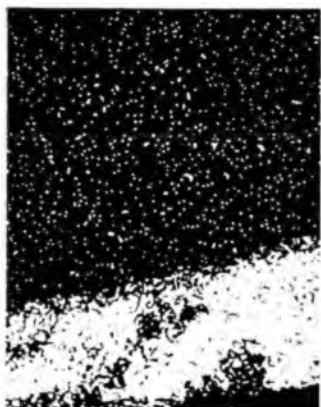
inaktív érintkező súlyát is megmértük a vizsgálat előtt és után és ezzel a módszerrel ellenőriztük a kétféle vizsgálati módszer közötti különbséget. Ez az ellenőrzés nyilvánvalóan csak a súlycsökkenésre vonatkozhatott, hiszen az átrakódott anyag mennyiségének meghatározására csak az izotópos módszert alkalmazhattuk. Mindenesetre megnyugtató, hogy az anyagfogyás vonatkozásában a kétféle vizsgálat között 10%-nál kisebb volt az eltérés, ami az igen sok paraméter által befolyásolt vizsgálat jellegét tekintve igen jónak mondható. Az izotópos vizsgálat eredményeit tekintettük mérvadónak, mivel ez a vizsgálati módszer elvileg is lényegesen nagyobb pontosságú.

A többkomponensű érintkezőanyagok vizsgálatakor nemcsak az eltávozott, ill. átvándorolt anyag mennyiségét határoztuk meg, hanem módunk volt az inaktív érintkezőre átrakódott aktív érintkezőanyag összetételének meghatározására is. Kimutathattuk tehát, hogy az átvándorolt többkomponensű érintkezőanyag komponenseinek százalékos aránya hogyan változott az eredeti összetételhez képest.

Az aktív érintkezőről az inaktív érintkezőre átvándorolt anyag további sorsának regisztrálására, bizonyos számú kapcsolás után, a rendszerből kivettük az aktív érintkezőt és helyére új inaktív érintkezőt tettünk. Így a felületén aktív érintkezőanyagot tartalmazó eredetileg inaktív érintkezővel egy új inaktív érintkező került szembe. Azt tapasztaltuk, hogy bizonyos kapcsolási szám után ezen második inaktív érintkező is megjelentek aktív anyagrézecskek. Ezzel bizonyítottuk, hogy az anyagrézecskek a kapcsolások során oda-vissza vándorolnak. A vizsgálati módszer tehát alkalmas az anyagfogyás mértékének meghatározására, az anyagvándorlás mennyiségének kimutatására, az átvándorolt anyagok összetételének meghatározására és az egész anyagvándorlási folyamat követésére.

A radioizotópos vizsgálati módszerrel kapott eredmények végleges elfogadása előtt további ellenőrzésképpen a Vasipari Kutató Intézet segítségével *elektron-mikroszondás analízist* alkalmaztunk [9]. A vizsgált érintkezők érintkezési felületére mérőleges keresztmetszeti csiszolatokat készítettünk és elektronmikroszkóppal vizsgáltuk a felületre rakódott fémrészecskék elhelyezkedését. Ez a módszer különösen akkor alkalmazható, ha különféle érintkezőfémeket párosítunk. Ilyenkor a mikroszkópi felvétel kimutatja, hogy az egyik fajta érintkezőanyagból ténylegesen rakódott-e át fém a másik érintkezőre. A felvételből kiértékelhető az átrakódott anyag eloszlása, összetétele és minőségi képe is. A 20-1. ábrán látható, hogy színezüst és 20%-os nikkelt tartalmazó ezüstnikkel érintkezőpárosítás esetén az eredetileg színezüst érintkező felületéhez közel hogyan helyezkednek el a nikkelszemcsék, különféle kapcsolási szám után. A fehér pontok jelölik a nikkelt jelenlétét és eloszlását. Megállapítható, hogy a kapcsolási szám növekedésével az ezüstérintkező felületén növekszik a nikkelt koncentráció, az ezüstnikkel érintkezőről készült mikroszondás felvétel pedig bizonyítja, hogy az eredetileg viszonylag nagyméretű nikkeltrezecskekből álló érintkező, az érintkezési felület közelében finomszemcsés ezüstnikkel érintkezővé válik. Bizonyos kapcsolási szám után az ezüstérintkezők felületéről megindult az anyag visszavándorlása, mégpedig elsősorban a nikkelt visszavándorlása. A kapcsolások következtében mindkét érintkező felülete, az eredetileg 20%-os nikkelt tartalmazó AgNi érintkezőnél kedvezőbb összetételű (nagyobb Ni-koncentrációjú), finomszemcsés ezüstnikkellé vált.

A súlymérés, a radioizotópos és az elektronmikroszondás vizsgálati módszerek bizonyították az eredeti elgondolás helyességét és lehetővé tették a kapott eredmények alapján a gyakorlat számára használható következtetések levonását. Meg lehetett határozni a különféle készülékekben alkalmazandó legkedvezőbb megoldást és kimutattuk azt is, hogy esetünkben az anyagvándorlás irányát nem az érintkezők polaritása, hanem az alkalmazott érintkezőanyagok minősége határozza meg.



Ag



Ag érintkezők felületére átvándorolt finomszemcsés Ni-réteg

Együttdolgozó érintkezőfelületek

Együttdolgozó érintkezőfelületek



Az AgNi érintkező felületén kialakult finomszemcsés Ni-réteg

A Ni szemcsék mérete és eloszlása a 80/20%-os AgNi érintkezőanyagban

a)



b)

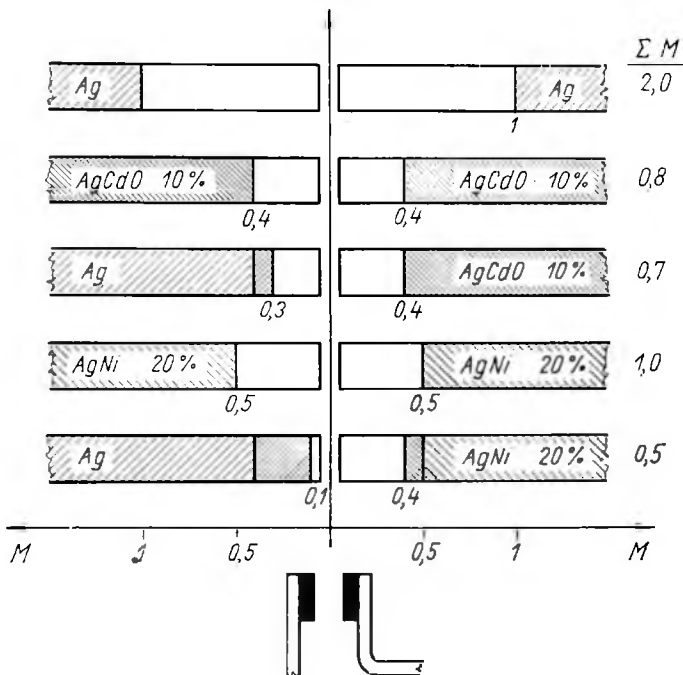
20-1. ábra. Ag és AgNi érintkezőkről készült mikroszondás analízis a Ni részecskék kimutatására (röntgenfelvételek)

Az áramkör adatai: 380/220 V, 100 A, $\cos \varphi = 0,35$; 300-szoros nagyítás
a) 20 ezer kapcsolás után; b) 100 ezer kapcsolás után

4. Az érintkezőanyagok megfelelő párosítása

A megfelelő mérési módszerek birtokában szisztematikusan vizsgáltuk, hogy milyen érintkezőelrendezés esetén tudjuk befolyásolni az erősáramú ív hatására létrejövő fémgőzök kondenzációjának helyét és mértékét. Megállapítottuk, hogy ha színfémet megfelelő többalkotós fémötvözzel vagy fémkompozícióval állítunk párba — vagyis két különféle érintkezőanyagot használunk egy érintkezőrendszeren belül — akkor helyes megválasztás esetén a kondenzáció mértéke két-háromszorosára fokozható, más szóval az érintkező élettartama ugyanilyen mértékben növelhető.

A különféle érintkezőanyagok párosításakor az érintkezők fizikai tulajdonságait (párolgási hő, gőznyomás, hővezető képesség stb.), a kapcsolási paramétereket és az alkalmazott ivoltási módot kell tekintetbe vennünk.



20-2. ábra. Az érintkezők anyagfogyása különféle érintkezőanyagok párosítása esetén. A vizsgálatok speciális érintkezőanyag-vizsgáló berendezésben folytak 380/220 V feszültségen, $\cos \varphi = 0,35$ teljesítménytényezőjű áramkörben, 40 és 200 A között változtatott különféle áramerősségen

A színezüst, a különféle összetételű és gyártástechnológiájú ezüstkadmiumoxid és az ezüstnikkel érintkezőkkel végzett igen nagyszámú vizsgálatunk összefoglaló értékelése a 20-2. ábrán látható. Az anyagfogyásokat a szimmetrikusan párosított ezüst-ezüst érintkezőkkel kapott anyagfogyáshoz, mint egységhez viszonyítottuk. A legkedvezőbb eredményt az ezüst-ezüstnikkel érintkezőanyagok párosításával értük el, amikor a két érintkező összes anyagfogyása (ΣM) a színezüst érintkezőkhöz képest negyedére, a szimmetrikus ezüstnikkel érintkezőelrendezéshez képest pedig

felére csökkent. Külön érdekessége ennek a megoldásnak, hogy a kapcsolások következtében a színezüst érintkező alig fogyott, mivel felületére viszonylag nagymennyiségű ezüstníckel érintkező rakódott és az ezüstníckel érintkező felületére is visszarakódott az elgőzölgött érintkezőfém egy része. Az ábrán külön feltüntettük a radioizotópos vizsgálattal kimutatott, kondenzálódott fém mennyiségét. A 20-1. ábra tanúsága szerint az eredeti, viszonylag durvább szemcsés, 20% nikkelt tartalmazó ezüstníckel érintkezőből mind az ezüst, mind az ezüstníckel érintkező felületén nikkelen dús, finomszemcsés ezüstníckel réteg alakult ki, ami így az ív eróziós hatásának jobban ellenáll, mint a gyárilag előállított eredeti AgNi érintkezőanyag. A fémek kondenzációjából következő takarékhatas tudatos kihasználásával tehát elérhető, hogy maga az ívelési folyamat gondoskodjék a jó minőségű érintkezőfelület kialakításáról.

Vizsgálati tapasztalataink alapján, figyelemmel a fémek fizikai paramétereire, konkrét esetekben meghatározható az érintkezők legmegfelelőbb párosítása és a durva anyagvándorlás iránya és mértéke ismereteink alapján előre kalkulálható.

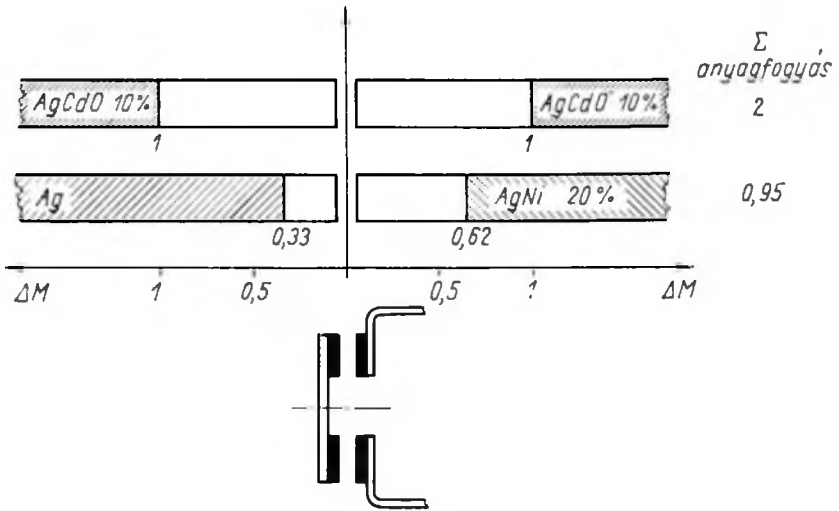
Az ezüst—ezüstkadmiumoxid és az ezüst—ezüstníckel érintkezőanyagpárra természetesen ellenőriztük az érintkezési ellenállás alakulását és az érintkezők hegedésállóságát is. Megállapítottuk, hogy néhány tízezer kapcsolat után, vagyis amikor az anyagvándorlás hatására kialakuló érintkező felületek összetétele már beállt egy állandó értékre, az érintkezési ellenállás megegyezik a szimmetrikus elrendezésű többalkotós érintkezőfémek esetén kapott értékkel, vagyis a szimmetrikus ezüstkadmiumoxid, ill. a szimmetrikus ezüstníckel érintkezők érintkezési ellenállásával. A hegedésállósági vizsgálatok kielégítették a hazai és IEC szabványokban előírt követelményeket: az élettartam-vizsgálatok során hegedés nem történt.

5. Váltakozóáramú kontaktorral végzett vizsgálatok

Az előző fejezetben ismertetett vizsgálatokat a Villamosipari Kutató Intézet érintkezőanyag-vizsgáló berendezésében hajtottuk végre. Ebben a berendezésben pontosan és reprodukálhatóan be tudtuk állítani a különféle áramkörü és kapcsolási paramétereket. Az elért eredmények gyakorlati hasznosíthatósága érdekében azonban sorozatban gyártott kontaktorokba épített érintkezőelrendezésekkel is ellenőriznünk kellett eredményeinket. Azt tapasztaltuk, hogy a megfelelő érintkezőpárosítással a kontaktorok villamos élettartama kb. azonos mértékben növelhető, mint ahogy azt a modellvizsgálatok mutatták. Különös gonddal kell azonban ellenőrizni a kontaktorok kapcsolási paramétereit, valamint az alkalmazott ívöltési módot és ennek ismeretében kell a legkedvezőbb megoldást meghatározni.

A 20-3. ábrán 100 A névleges áramerősségű kontaktorral végzett vizsgálatok eredményei láthatók. A kontaktor gyárilag 90/10%-os összetételű ezüstkadmiumoxid érintkezőkkel volt ellátva. Az eredeti érintkezőelrendezéssel kapott anyagfogyás értékét egységnek véve, az ezüst—ezüstníckel párosítással az élettartam kétszeresére volt növelhető. Ez az eredmény jól egyezik a 20-2. ábrán látható adatokkal. A vizsgálat tehát azt mutatja, hogy az ezüstkadmiumoxid érintkezőknél olcsóbb színezüst és ezüstníckel érintkező alkalmazásával, a kontaktor élettartama jelentősen növelhető. Gyártástechnológiai szempontból is előnyösebb az új megoldás, mivel mind a színezüst, mind a porkohászati úton készült ezüstníckel érintkező felerősítése sokkal egyszerűbb, mint a nehezen forrasztható ezüstkadmiumoxid érintkezőké.

A kontaktorokkal végzett további vizsgálataink felhívták a figyelmet arra, hogy különféle érintkezőanyagok párosításával csak akkor érhetünk el kedvező eredményt,

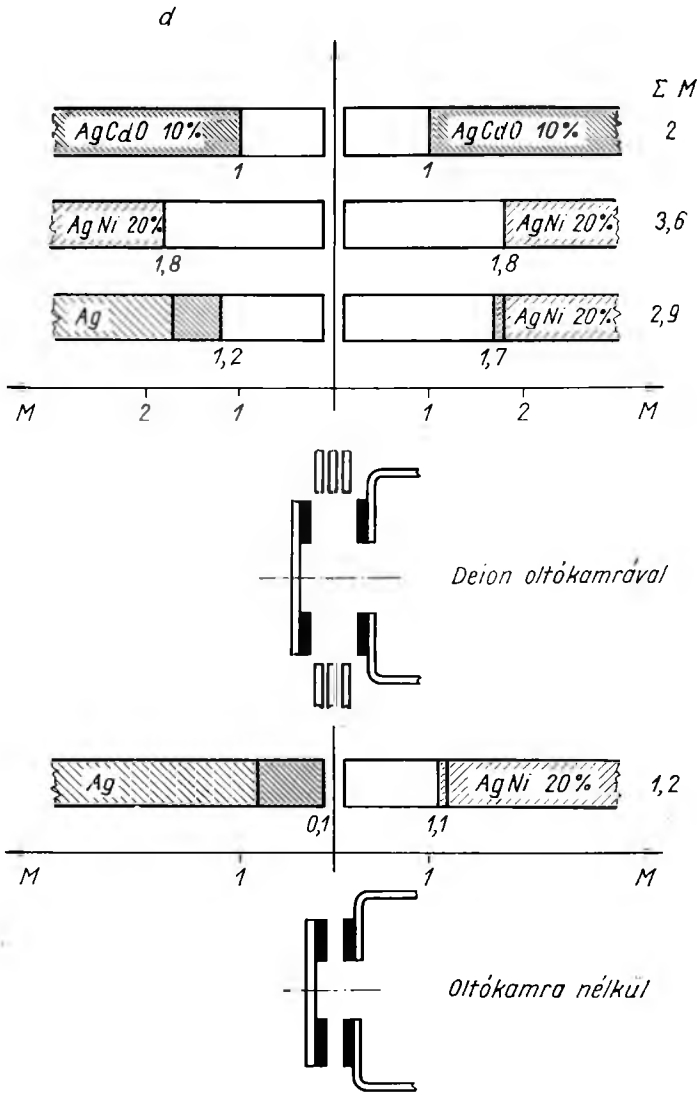


20-3. ábra. 100 A névleges áramerősségű kontaktor élettartam-vizsgálatának eredményei, AC₃ üzemmódban végrehajtott 5 · 10⁵ kapcsolás után

ha figyelembe vesszük a kontaktorok egyéni sajátosságait. Korszerű kontaktorok kialakításakor ugyanis — éppen a villamos élettartam növelése érdekében — arra törekednek a készüléktervezők, hogy az érintkezők között keletkező villamos ív hőigénybevételének minél kisebb része terhelje az érintkezőket. Ennek érdekében a deionlemez oltókamrákat úgy készítik, hogy a vas oltólemezek ne csak a készülék kapcsolóképességének megfelelő áramerősség megszakításakor, hanem már a névleges áramerősség tartományában is vegyenek részt az ívoltásban. A villamos ív tehát a kisebb áramerősségek kapcsolásakor is behatol az oltólemezek közé. Ezáltal rövidül az ívidő és az ívigénybevétel egy részét a deionlemez veszik át. A takarékhátás szempontjából azonban ez a megoldás kedvezőtlen, mivel az oltólemezek között lévő ívben levő fémgözk és megolvadt fémcseppek az ív elalvása után nem tudnak visszajutni az érintkezők felületére, hanem az oltólemezekre rakódnak. A takarékhátást különlegesen kihasználó, a különféle érintkezőanyagok párosításából adódó előnyök nagyrésze ebben az esetben nem érvényesül.

A 20-4. ábrán olyan, 40 A-es kontaktorral végzett vizsgálatok eredményei láthatók, amelynek oltókamráiban levő vas deionlemezek közé már a névleges 40 A kikapcsolásakor is bejut a villamos ív. Ebben az esetben ezüstníkkel érintkezők alkalmazásával a kontaktor élettartama lényegesen csökken az eredetileg ezüstkadmium-oxid érintkezőkkel ellátott kontaktorhoz képest. Ez egyezik korábbi vizsgálati tapasztalatainkkal, miszerint 25 A felett a jó minőségű AgCdO érintkező lényegesen kedvezőbb élettartamú, mint az AgNi. Az aszimmetrikus ezüst—ezüstníkkel párosítás valamit javított ugyan a helyzetet, de még mindig kedvezőtlenebb eredményt kaptunk az eredeti megoldáshoz képest. Az ábra alsó részén az a vizsgálati eredmény látható, amelyet az oltókamra eltávolítása után kaptunk, aszimmetrikus érintkező-elrendezés esetén. A vizsgálatok eredményei világosan mutatják, hogy a más szempontból jól méretezett oltókamra, a takarékhátás szempontjából kedvezőtlen hatású.

Megállapítható, hogy ha úgy méretezzük a deion oltókamrát, hogy csak a kapcsolóképességre előírt viszonylag nagy áramok kapcsolásakor fejtsse ki ívoltó hatását és az élettartam-vizsgálatra előírt áramtartományban szabadon érvényesülhessen a



20-4. ábra. 40 A névleges áramerősségű kontaktor élettartam-vizsgálatának eredményei, AC₃ üzemmódban végrehajtott 5·10⁵ kapcsolás után

fémgőzök kondenzálódása, az érintkezőanyagok egyszerű cseréjével, meglévő kontaktorok villamos élettartama közel kétszeresére fokozható. Optimalizációs számításnak kell eldöntenie, hogy adott esetben melyik eljárás a kedvező.

A mérlegeléskor azt is figyelembe kell venni, hogy a megfelelően párosított érintkezőkkel tetszés szerint megválasztható, hogy melyik érintkezőanyag fogyása legyen kisebb. A vizsgálati eredmények világosan mutatják, hogy az anyagfogyást, ezüst—ezüstnikkel érintkezőanyag párosítás esetén, lényegében az ezüstnikkel biztosítja. Úgy vehetjük, hogy az ezüstnikkel érintkező tömege határozza meg az érintke-

zők élettartamát. Kontaktorok esetében gyakran igen előnyös, ha a mozgó érintkezőket kisebb tömegűre választhatjuk, ezáltal könnyebb a működtetőmágnes feladata és egyszerűbben lehet pattogásmentes kapcsolást megvalósítani. Nem jelent viszont problémát, hogy az állóérintkezőket nagyobb tömegűre készítsük. Az aszimmetrikus érintkezőelrendezés tehát jó lehetőséget biztosít a készüléktervezőknek kis tömegű mozgóérintkező alkalmazására és a nagyobb tömegű állóérintkezők révén a villamos élettartam további fokozására.

6. Következtetések

Kimutattuk, hogy az érintkezők megfelelő párosításával növelhető az érintkezők élettartama. Az anyagfogyás közel felére csökkenthető, ha az ezüstkadmiumoxidnál olcsóbb ezüst—ezüstnikkel párosítást alkalmazunk. Ezzel a megoldással az érintkezők felerősítési technológiája is egyszerűsíthető.

Aszimmetrikus érintkezőpárosítás alkalmazásakor különös gondot kell fordítani a kontaktorok érintkezőinek kikapcsolási sebességére. A kondenzációs hatás fokozható a kikapcsolási sebesség csökkentésével.

A deionlemez oltókamra ronthatja a takarékhatast, ha az oltólemezek a névleges áram kapcsolásakor is részt vesznek az ivóltásban. Az oltókamra megfelelő méretezésével elérhető, hogy a kondenzációs hatás fokozása mellett a készülék kapcsolóképessége ne romoljék.

Új kontaktorok tervezésekor jól kihasználható az a lehetőség, hogy az érintkezők előírt élettartamához szükséges fémtömeg az egyik, célszerűen az álló érintkezőre koncentrálható.

A legkedvezőbb anyagpárosítás kiválasztásakor az érintkezőfémek fizikai paraméterein túlmenően tekintetbe kell venni a kapcsolandó áramkört és a kapcsolókészülék paramétereit is. Célszerű kísérleti kontaktorral radioizotópos vizsgálatokat végezni a kívánt hatás elérésének regisztrálására. Új, többkomponensű érintkezőkompozíció használatakor a legmegfelelőbb anyagokat részletes kísérletsorozat alapján lehet kiválasztani.

Irodalom

- [1] *Guyétand, A.*: Contribution à l'étude des contacts électriques séparables. *Revue Général de l'Électr.* Tome 83, No. 2 (1974) p. 102—124.
- [2] *Néveri István*: A kisfeszültségű kontaktorok villamos élettartamát befolyásoló paraméterek helyes megválasztása. *VKI Közlemények* 4. Budapest 1973. 249-258. old.
- [3] *Polgár Tibor*: Az iválpont mozgásának hatása az érintkezők villamos élettartamára. *VKI Közlemények* 4. Bp. 1973. 271—280. old.
- [4] *Holm, R.*: *Electric Contacts Handbook*. Springer-Verlag, Berlin (1958).
- [5] *Llewellyn, Jones, F.*: *The Physics of Electrical Contacts*. Oxford at the Clarendon Press (1957).
- [6] *Franken, H.*: *Kontaktorok és kontaktorvezérlések*. Műszaki Kiadó, Bp. (1971).
- [7] *Néveri István*: Optimum Selection of the Parameters Influencing the Endurance of Contacts. *Electrical Contacts* (1972.) Chicago, Illinois (1972). 367—378 old.
- [8] *Farkas T.-né—Hirling J.*: Erősáramú érintkezők anyagfogyásának vizsgálata radioizotópos módszerrel. *Izotóp-technika* 5. sz. Bp. (1972) 267—275 old.
- [9] *Solymár G. M.—Kocsó I.*: Investigation into the Surface Structure of Ag—AgNi Type Contact Pairs of Scanning Electron Microscopy and Electron Microprobe Analysis *Contact Electriques*, Paris (1974).

Vas deionlemezekkel keltett ívmozgás hatása az érintkezők igénybevételére

DR. POLGÁR TIBOR

ÖSSZEFOGLALÁS

A kapcsolókészülékek megbízható üzemvitele szempontjából elsőrendű fontosságú az érintkezők villamos élettartama, ezért az élettartam növelése napjainkban is a készülék-kutatások súlyponti kérdése.

A dolgozat az érintkezők termikus igénybevételének újabb csökkentési lehetőségére hívja fel a figyelmet, mégpedig a megfelelően méretezett, ferromágneses anyagú deionlemezek alkalmazása révén. A termikus igénybevétel csökkentése — az érintkezők anyagától függően — számottevően megnövelheti villamos élettartamukat.

ДЕЙСТВИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ДУГИ, ВЫЗВАННОГО ДЕИОННОЙ ПЛАСТИНОЙ НА НАГРУЗКУ КОНТАКТОВ

Д-р. Т. Полгар

Резюме

Для надёжной эксплуатации переключающих аппаратов первостепенно важным фактору является электрическая долговечность контактов. Поэтому повышение срока службы и в настоящее время является основным вопросом разработки аппаратов.

В статье с применением деионных ферромагнитных пластин соответственных размеров излагается новая возможность уменьшения термической нагрузки контактов. Уменьшение термической нагрузки — в зависимости от материала контактов — может значительно увеличивать электрическую долговечность контактов.

DER EINFLUSS DER FERROMAGNETISCHEN LÖSCHBLECHE AUF DIE KONTAKTBEANSPRUCHUNG

Dr. T. Polgár

Zusammenfassung

Für den zuverlässigen Betrieb der Schaltgeräte ist die Grösse der elektrischen Lebensdauer der Kontakte von ausschlaggebender Bedeutung. Deshalb ist die Erhöhung der Lebensdauer nach wie vor eine Schwerpunktfrage der Geräteforscher.

Die Abhandlung macht auf eine weitere Verminderungsmöglichkeit der thermischen Beanspruchung der Kontakte aufmerksam und zwar durch Anwendung entsprechend bemessener ferromagnetischen Deion-Bleche. Die reduzierte thermische Beanspruchung kann — abhängig vom Kontaktstoff — die elektrische Lebensdauer der Kontaktstücke erheblich verlängern.

THE EFFECT OF DEION PLATES MADE OF IRON ON THE STRESS OF CONTACTS

By Dr. T. Polgár

Summary

The endurance of contacts is of outstanding importance concerning the reliable operation of switchgears. For this reason the increased life of apparatuses has been an essential problem of research up to now.

The paper draws attention to another possibility of reducing thermal stress of the contacts, which is possible by applying adequately dimensioned deion plates. Reduced thermal stress, depending on the contact materials, can increase significantly the endurance of contacts.

1. Bevezetés

A villamos ív mozgatójának különböző hatásait elemző vizsgálatok mintegy 20 év óta változatlanul a kapcsolókészülék-kutatások homlokterében állnak. Ezt az indokolja, hogy az érintkezőkkel működő, üzemszerűen villamos ívvel kapcsoló készülékek felhasználási volumene napjainkban is egyre nő, és ezzel egyidejűleg az irántuk támasztott műszaki követelmények — mint pl. kapcsolási biztonság, villamos élettartam — állandóan fokozódnak.

Az ívmozgatóval összefüggő kutatások kezdetben elsősorban az alapvető fizikai folyamatok tisztázására irányultak. Az e célból kidolgozott modellvizsgálatok segítségével meghatározták az ív megindulási feltételeit és mozgási sebességét befolyásoló legfontosabb tényezőket [1]...[5], [7]. Ezeknek az ismereteknek a birtokában mindinkább előtérbe került a közvetlen gyakorlati célokat szolgáló összefüggések keresése, részint az ívhatás hatékonyságának fokozására, részint az érintkező élettartamának növelésére.

Már a modell-elektrodokkal végzett ívmozgató kísérletek során is számos hasznos, gyakorlati orientációjú, de főleg kvalitatív jellegű megállapítást lehetett tenni az elektrodok termikus igénybevételének alakulására, amint ez az [1]...[7], [11], [12] forrásmunkákból is kitűnik. A [8], [9], [10] munkák szerzői már kapcsoló-érintkezőket alkalmaztak kísérleteikhez. Az érintkezők között keletkező villamos ívet külső transzverzális mágnesrel létrehozott elektromágneses erőhatással mozgatták oly módon, hogy az ívtalppontok lefuthattak az érintkezőpogácsákról, ezáltal lehetőség nyílt különféle érintkezőanyagok íveróziójának mennyiségi összehasonlítására is.

Az idézett kutatási eredmények elemzéséből egyértelműen megállapítható, hogy a villamos ívre ható erő és az érintkező eróziójának nagysága összefügg egymással. Ha az ívet mozgató erő egy meghatározott küszöbértéknél kisebb, az ív az érintkezőkön állva marad, megnő azok termikus igénybevétele és ezáltal anyagfogyása. Túl nagy ívfűvés esetén az erőhatás az ív által megolvasztott fémrészeszkéket is magával ragadja, ami ugyancsak az érintkezőerózió megnövekedéséhez vezet. Szükség van tehát az ívre ható mozgatóerő és az érintkező eróziójának nagysága között levő olyan korrelációk kutatására, amelyek alapján meghatározható, hogy egy adott készülékfajta esetében meddig célszerű az ívre ható mozgatóerőt növelni az optimális villamos élettartam eléréséhez.

Ilyen vizsgálatok elvégzésének olyan készülékek esetében van jelentősége, amelyeknek villamos élettartama iránt különösen nagy követelményeket állítunk. Jellemzően ilyen készülékek a kifeszültségű, váltakozóáramú kontaktorok, amelyek-

nek egyes üzemmódokban nem ritkán $10^6 \dots 10^7$ kapcsolási játék nagyságrendű az élettartamigénye.

A váltakozóáramú kontaktorok jelentős hányada deionlemez ívöltőszerkezettel működik. A deionlemezek általában vasból készülnek, hogy a ferromágneses fém és a villamos ív között fellépő vonzóerőt az ívmozgatás céljára is kihasználják. A szokásos konstrukciójú váltakozóáramú kontaktorok leggyakoribb működési tartományában (kb. 6 A...630 A közötti névleges áramerősség) ugyanis a deionlemezekkel keltett erőhatás lényegesen felülmúlja az áramutak erőhatását. Jó közelítéssel feltételezhető, hogy ilyen készülékekben az ívmozgatást a deionlemezek erőhatása okozza.

A deionlemezekkel keltett erőhatás és az érintkezőerőzió nagysága közötti összefüggés vizsgálatának egyik alapfeltétele az, hogy a deionlemezek és az áramvezető villamos ív között ébredő erőhatás nagyságát kielégítő pontossággal meg tudjuk határozni. Ehhez a [13] és [14] munkákban publikált eredmények nyújtanak megfelelő alapot.

Az ismertetésre kerülő, a váltakozóáramú kontaktorok üzemi viszonyait megközelítő feltételek mellett végrehajtott vizsgálatok felvetik a váltakozóáramú ívre ható vonzóerő definíciójának kérdését is. Ezt a kérdést a következőkben kissé részletesebben is megvizsgáljuk.

2. Egyenértékű vonzóerő, egyenértékű mágneses fűvás

A váltakozóáramú villamos ív és a vas deionlemezek között ébredő vonzóerő nagysága az egymást követő kapcsolások során véletlenszerűen változik, mivel

- az áramerősség pillanatértéke, és ehhez képest
- az érintkezők szétválásának kezdete,
- az érintkezők nyitási távolsága (ill. az ívhosszúság) nagysága és végül
- az ív keletkezési helye az érintkezőkön (a deionlemezekről mért távolsága)

minden egyes kikapcsolás alkalmával más és más. A vonzóerő időfüggése — szinuszos áramerősséget feltételezve — az

$$F(t) = f_m \cdot a(t) \cdot \sin^2(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

összefüggéssel jellemezhető, amelyben f_m az áramvezető hosszegységére eső vonzóerő maximális értékét, az $a(t)$ függvény az ívhosszúság (az érintkezők nyitási távolsága) időbeni változását, φ az érintkezők szétválásának pillanatához tartozó áram fázisszögét jelenti. A viszonyokat a 21-1. ábra szemlélteti abban az esetben, ha az érintkezők v nyitási sebessége állandó, tehát az érintkezők nyitási távolsága

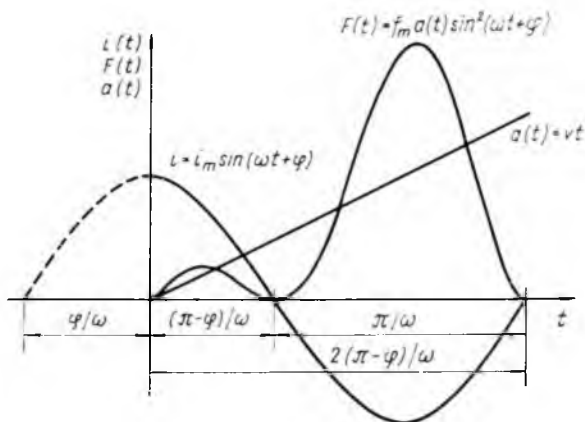
$$a(t) = vt \quad (2)$$

összefüggés szerint változik.

A 21-1. ábrából is kitűnik, hogy a vonzóerő statisztikus ingadozása igen nagy és jellege is tetemes eltéréseket mutat, ezért feltétlenül indokolt a vonzóerő nagyságát egyértelműen definiálni. Erre szolgál a deionlemezek egyenértékű vonzóerejének vagy az egyenértékű mágneses fűvásnak a meghatározása.

Az *egyenértékű vonzóerőt* arra az esetre definiáljuk, ha az érintkezők elválási sebessége, vagyis az ívhossz növekedési sebessége állandó. Ilyenkor — mint a 21-1. ábrán is látható — a vonzóerő az idő, a kikapcsolási szög, továbbá az ív keletkezési helyének függvényében ingadozik. Ugyanakkor az ív újragyulladás valószínűsége is változó, nagymértékben függ a kapcsolókészülék üzemi módjától. Pl. váltakozó-

áramú kontaktorok AC₃ üzemmódú villamos élettartam-vizsgálatai alkalmával az ív nagy valószínűséggel már az első áramnulla-átmenetnél kialszik, viszont AC₄ üzemmódú működés esetén jelentős újragyulladás valószínűséget kell feltételezni. Célszerű tehát az egyenértékű vonzóerőt az íváram egyes félpériódusaira vonatkoztatva megadni, az (1) és (2) összefüggésekből az idő és a kapcsolási szög mentén az érintkezők



21-1. ábra. A deionlemezekkel keltett vonzóerő változásának jellege az idő függvényében, állandó érintkezőnyitási sebesség és szinuszos íváram esetén

geometriai középpontjára kiszámított integrál-közéértékek alapján. Az első és a második erőhullámra vonatkozó számítás elvégzése az

$$F_{k1} = 0,3 \frac{vf_m}{\omega}, \quad (3a)$$

$$F_{k2} = \frac{\pi}{2} \frac{vf_m}{\omega} \quad (3b)$$

egyenértékű vonzóerőket eredményezi.

A deionlemezek egyenértékű mágneses fúvása tetszőleges lefolyású érintkező-elválási sebességre értelmezhető, mivel az ívtengely mentén ébredő, az ív mozgását előidéző mágneses indukció nagysága független az ívhosszúságtól. Definíciószerűen a deionlemezek egyenértékű mágneses fúvásának az érintkezők geometriai középpontjában ébredő mágneses indukció B_m csúcstértékét nevezzük. Egyidejűleg rögzíteni kell az érintkezők elválási sebességének jellemzőit. (Az érintkezőanyag-fogyás ugyanis függ az érintkezők elválási sebességétől is!)

A különböző alakú deionlemezekkel keltett mágneses indukció nagysága a [13] és [14]-ben foglaltak alapján kellő pontossággal meghatározható.

3. A villamos élettartam vizsgálatai

A vizsgálatok célja az volt, hogy meghatározzuk a kapcsolóérintkezők anyagfogyásának változását a vas deionlemezekkel keltett mágneses fúvás függvényében és az eredményekből következtessünk az adott áramerősséghez tartozó legkedvezőbb villamos élettartamot biztosító mágneses fúvás nagyságára.

Ennek érdekében a 21-2. ábrán vázolt, egy érintkezőpárból és ehhez kapcsolódó deionlemez-csomagból álló kapcsolómodellt alakítottunk ki, amely méreteiben és működési paramétereiben egy 100 A névleges áramerősségű, váltakozóáramú kontaktor ivóvíz szerkezetének tényleges elrendezését jól megközelíti. A négy különböző alakú és méretű (az ábrán $D_1 \dots D_4$ -gyel jelölt) deionlemez-csomag segítségével azonos áramerősség esetén négyféle, ismert nagyságú, egyenértékű mágneses fúvás állítható elő az érintkezők mentén. Az érintkezők működtetését a [15]-ben közelebbről ismertetett kapcsolómechanizmussal végeztük, amelyben egyidejűleg hat érintkezőpár vizsgálatára van lehetőség.

A 21-2. ábrából az is kitűnik, hogy az állóérintkező és az I deionlemez azonos potenciálra van hozva, tehát az érintkezőn keletkező ivaltalpon pont elhagyhatja az érintkezőpogácsa felületét és átléphet az I deionlemezre. Ez a lehetőség a mozgó érintkezőpogácsán nincs meg.

A vizsgálati paraméterek a következők voltak:

- a villamos élettartam vizsgálatainak üzemmódja: az MSZ 4835 szerinti AC₃ ki-kapcsolási feltételek;
- névleges vizsgálati feszültség: $65 V_{eff}$;
- névleges vizsgálati áramerősség: $100 A_{eff}$;
- névleges teljesítménytényező: 0,35;
- érintkezőátmérő: 10 mm;
- az érintkezők alakja: állóérintkező (Áé): sík, mozgóérintkező (Mé): sík;
- az érintkezők közti nyomóerő: 12 N;
- az érintkezők nyitási sebessége: 0,5 m/s;
- max. érintkezőnyitási távolság: 10 mm;
- kapcsolási gyakoriság: 1800 h;
- egy mérésorozat alkalmazásával elvégzett kapcsolások száma: 50 000;
- egyidejűleg azonos paraméterekkel vizsgált érintkezőpárok száma: hat;
- a villamos élettartam vizsgálataihoz alkalmazott egyenértékű mágneses fúvások nagysága:

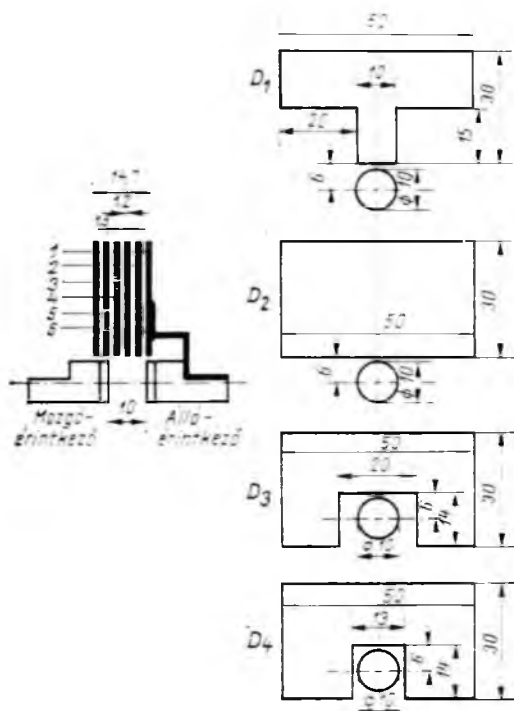
0 T, továbbá

a D_1 deionlemez-csomaggal: $10 \cdot 10^{-4}$ T,

a D_2 deionlemez-csomaggal: $20 \cdot 10^{-4}$ T,

a D_3 deionlemez-csomaggal: $40 \cdot 10^{-4}$ T,

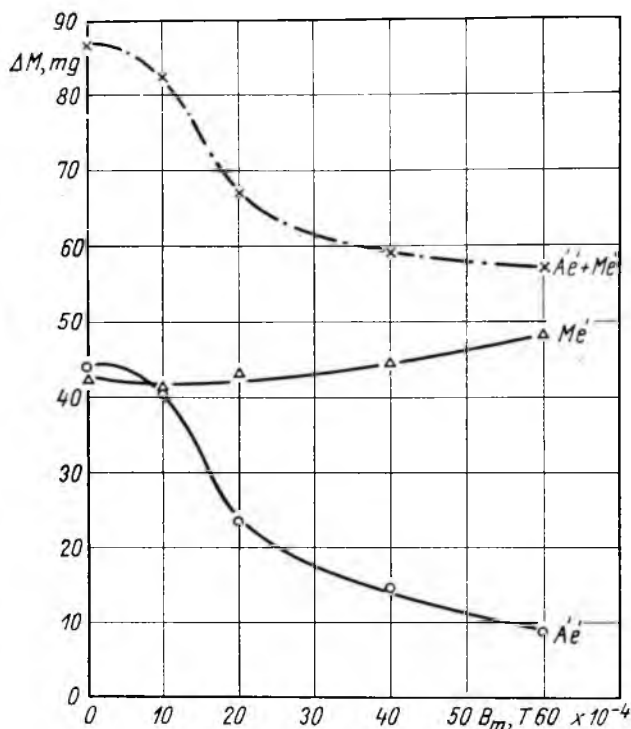
a D_4 deionlemez-csomaggal: $60 \cdot 10^{-4}$ T.



21-2. ábra. Az ivóvíz szerkezet modellezése és a különböző nagyságú vonzóerőt biztosító vas deionlemez méretei

A mérés technikai részletek érdekében [14]-re utalunk.

A vizsgálatok során regisztráltuk külön-külön az álló és mozgó érintkezőpogácsák tömegcsökkenését, továbbá az állóérintkezőről az I deionlemezre bekövetkező ívtpont-átlépés gyakoriságát.

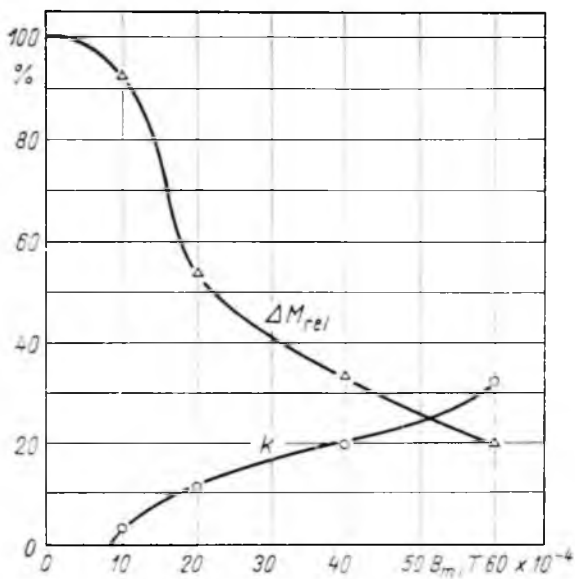


21-3. ábra. Színezüst érintkezők átlagos anyagfogyásának változása az egyenértékű mágneses fűvés függvényében 50 000 kapcsolási játék után

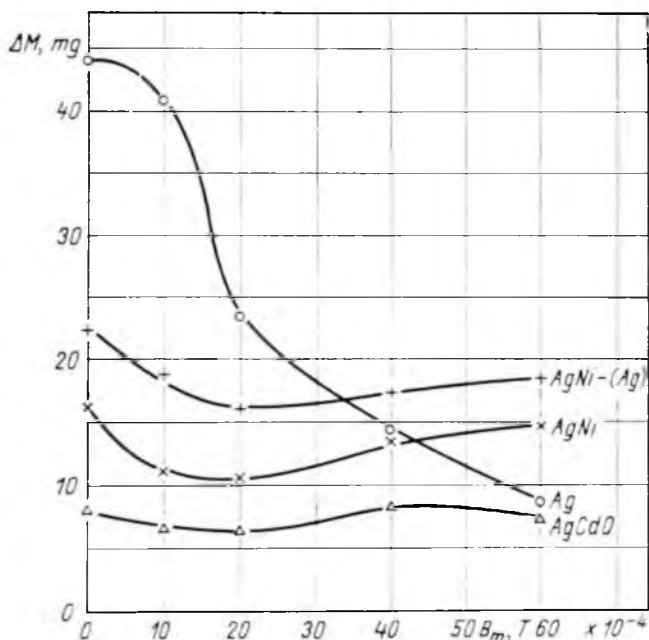
A_e : állóérintkező átlagos anyagfogyása;
 M_e : mozgóérintkező átlagos anyagfogyása

A 21-3. ábrán a színezüst érintkezőkkel végrehajtott élettartam-vizsgálati eredményeket mutatjuk be. Az ábrán feltüntettük külön a mozgóérintkezők, külön az állóérintkezők, továbbá az érintkezőpárok 50 000 kapcsolási játék utáni, átlagos tömegcsökkenését a deionlemez egyenértékű mágneses fűvése függvényében. Szembetűnő, hogy mialatt a mozgóérintkező eróziója, amelyről az ívtpont nem tud eltávolozni, gyakorlatilag változatlan marad, az állóérintkező a mágneses fűvés által előidézett ívmozgatózás következtében jelentősen csökken. A vizsgált esetben az állóérintkező anyagfogyása átlagosan 80%-kal kisebb lett, amikor az egyenértékű mágneses fűvést $60 \cdot 10^{-4}$ T-ra növeltük.

Azt a tényt, hogy színezüst érintkezők esetében az állóérintkezők anyagfogyásának csökkenését valóban az ívtpont-átlépési gyakoriság megnövekedése okozza, jól szemléltetik a 21-4. ábrán közölt mérési eredmények. Az ábrából kitűnik, hogy az ívtpontok kb. $10 \cdot 10^{-4}$ T egyenértékű mágneses fűvés elérésekor kezdik elhagyni



21-4. ábra. Szinezüst érintkezőpár állóérintkezőjének relatív anyagfogyása (ΔM_{rel}) és az ívtalppontatlépés k %-os gyakorisága az egyenértékű mágneses fűvés függvényében



21-5. ábra. AgNi 80 20%, AgCdO 90 10% és Ag—AgNi 80 20% összetételű érintkezőpárok állóérintkezőinek átlagos anyagfogyása az egyenértékű mágneses fűvés függvényében. Az ábrán összehasonlításként ismételtük az Ag-ra vonatkozó mérési eredményeket is

az érintkezőfelületet. Ha a mágneses fúvás ezt a küszöbértéket nem éri el, az ívtalppontok az ív kialakulásáig az érintkezőn maradnak, tehát az érintkező termikus igénybevétele — és ezáltal anyagfogyása — gyakorlatilag változatlan. Az ívre ható mozgóerő növelésével egyre nagyobb a valószínűsége annak, hogy ún. gyors ívtalppontmozgás ($v > 3 \dots 4$ m/s) jön létre, ami egyfelől az ívtalppont átlépési gyakoriság növekedésében, másfelől az érintkezőerózió jelentős csökkenésében nyilvánul meg.

A színezüst érintkezőkre fennálló viszonyok más összetételű érintkezőanyagokra nem általánosíthatók. Erre utal a 21-5. ábra, amely ezüstnikkel és ezüstkadmiumoxid érintkezőanyagokra vonatkozó élettartam-vizsgálati eredményeket is szemléltet. Látható, hogy ezeknek az érintkezőanyagoknak az átlagos anyagfogyása a vizsgált tartományban gyakorlatilag független a mágneses fúvás nagyságától. Kézenfekvő lenne a homogén színezüst és az inhomogén AgCdO és AgNi érintkezők eróziós tulajdonságai között mutatkozó különbséget a [8], [9], [10] munkák nyomán az inhomogén fémekre feltételezett, ún. stabilizációs effektussal magyarázni. (Az idézett szerzők stabilizációs effektusnak nevezik azt a feltételezést, hogy a többalkotós — inhomogén — érintkezőfémeken az ívet az alacsonyabb olvadáspontú fémösszetevőből képződő gőzburok veszi körül, amely akadályozza az ívtalppont elmozdulását, vagyis az ív viszonylagosan stabilizálódik.) E jelenség valóban azt eredményezhetné, hogy a kísérleteink során alkalmazott, viszonylag kis mágneses fúvásokra az inhomogén anyagú érintkezők eróziója „érzéketlen”. Ennek az elméletnek azonban ellentmond, hogy ezüstkadmiumoxid és ezüstnikkel érintkezőkre vonatkozóan hasonló nagyságú ívtalppontátlépési gyakoriságot regisztráltunk, mint a színezüst érintkezőkre. A tapasztalt anomáliákat tehát más fizikai okokra kell visszavezetni, amelyek kiderítése még további kutatómunkát igényel.

4. Összefoglalás és következtetések

Az ismertetett kutatási eredmények újabb szempontokat tárnak fel a deionlemez ívöltő szerkezetek méretezéséhez. Kimutattuk, hogy kontaktorok ívöltő szerkezeteiben a vas deionlemezekkel keltett mágneses fúvás elősegíti az érintkezők között kialakuló villamos ív talppontjainak elmozdítását, ezáltal — megfelelő konstrukciós kivitel (ívvezető szarvak vagy az állóérintkezővel azonos potenciálra hozott deionlemez) esetén — lehetővé teszi az ívtalppontok eltávolítását az érintkezőpogácsák felületéről. Ennek következtében az érintkezők termikus igénybevétele tetemesen csökkenthető, ami színezüst érintkezők alkalmazásakor jelentős érintkezőanyagfogyás-csökkenéssel jár együtt.

100 A_{eff} vizsgálati áramerősséggig a deionlemezek mágneses fúvása konstrukciós okok miatt még nem növekszik olyan nagyra, amely már az érintkezőanyagfogyásának növekedését okozná, ezért ilyen nagyságrendű készülékek ívöltő szerkezetében az optimális nagyságú mágneses fúvás meghatározásához más tényezőket — mint pl. a deionlemezek termikus igénybevételeinek megnövekedését [14] — is figyelembe kell venni.

Irodalom

- [1] Müller, L.: Wanderungsvorgänge von kurzen Hochstromlichtbögen in eigenerregten Magnetfeld zwischen ruhenden Laufschienen und zwischen sich trennenden Kontaktstücken. Diss. T. H. Braunschweig, 1957.
- [2] Guile, A. E.—Mehta, B. E.: Arc Movement due to the Magnetic Field of Current Flowing in the Electrodes. The Institution of Electrical Engineers Paper No 2413 (1957), 533. old.

- [3] *Gönenc, I.*: Lichtbogenwanderung an runden Stäben ETZ—A, 81. évf. (1960) 132. old.
- [4] *Hesse, D.*: Über den Einfluss des Laufschieneufeldes auf die Ausbildung von Lichtbogenfusspunktspuren. Archiv für Elektrotechnik, 45. évf. (1960) 46. old.
- [5] *Hesse, D.*: Über den Einfluss des Laufschieneufeldes auf die Wanderungsgeschwindigkeit von Lichtbögen. Archiv für Elektrotechnik, 46. évf. (1961) 149. old.
- [6] *Domonkos S.*: Rövid iverk mozgása a deionlemezek közelében. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1966.
- [7] *Burkhard, G.*: Über den Einfluss von Oxidschichten auf die Lichtbogenbewegung im Magnetfeld Elektrie H. 6. (1966) 229. old.
- [8] *Erk, A.,—Schröder, K. H.*: Stabilisierung magnetisch abgelenkter Lichtbogenfusspunkte durch Verbundwerkstoffe. Elektrie H. 4. (1968) 162. old.
- [9] *Schröder, K. H.*: Kontakstückabbrand bei Starkstromschaltgeräten mit und ohne magnetische Lichtbogenbeblasung. ETZ—A 90. évf. (1969) H. 16. 393. old.
- [10] *Lindmayer, M.*: Über die Vorgänge bei der Lichtbogenlöschung in kompakten Löschblechkammern bei Wechselströmen zwischen 2,5 und 8,5 kA. Dissertation T. H. Braunschweig, 1972.
- [11] *Polgár T.*: Az ivtalppont mozgás hatása az érintkezők villamos élettartamára. Villamosipari Kutató Intézet Közleményei 4. Budapest, 1973. 271. old.
- [12] *Burkhard, G.*: Über die Lichtbogenbewegung in der ersten Phase der Kontaktöffnung. Contacts Electricques. Paris, 1974. 319. old.
- [13] *Polgár T.*: Elektrodinamikus erőhatások ferromágneses fémfelületek közelében. Elektrotechnika, 68. évf. (1975) 172. old.
- [14] *Polgár T.*: A deionlemez ivtöltő szerkezetek optimális kialakításának elméleti és gyakorlati kérdései. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1975.
- [15] *Dr. Néveri I.*: Kontaktwerkstoffprüfungen für Niederspannungsschaltgeräte. Elektrie H. 1. 1966. 11. old.

SZIGETELÉSTECHNIKA

Műanyag hosszúrúdszigetelők kifejlesztése 120, 400 és 750 kV feszültségű távvezetékhez

DR. LEYRER RICHÁRD—SZAPLONCZAY PÁL

ÖSSZEFOGLALÁS

A műanyagok szabadtéri alkalmazhatóságát a speciálisan erre a célra kifejlesztett cikloalifás epoxigyanták és a szilikon elasztomerek tették lehetővé.

A cikk az üvegszálerősítésű műgyanta rúdon, az epoxi és szilikon tányérananyagokon elvégzett vizsgálatokkal foglalkozik. Utal a 120, 400 és 750 kV-os hosszúrúdszigetelő méretezése során figyelembe vett szempontokra. Ismerteti az egy darabból elkészített hosszúrúdszigetelők előállításának gazdaságos, gyors technológiai módszerét, valamint a kifejlesztett szigetelőkön elvégzett villamos-, mechanikai-, szennyezés-állósági és gyorsított élettartamvizsgálatok eredményeit. Végül említést tesz a 400 kV-os KGST kooperációs távvezetékbe beépített műanyag hosszúrúdszigetelőkkel szerzett üzemi tapasztalatokról is.

РАЗРАБОТКА ПЛАСТМАССОВЫХ ДЛИННОСТЕРЖНЕВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С НАПРЯЖЕНИЕМ 120, 400 и 750 КВ

Д-р. Р. Лейрер—П. Саплонцаи

Резюме

Применение пластмассовых веществ в открытом воздухе возможно благодаря специально разработанному материалу из циклоалифатических эпоксидных смол и силиконовых эластомеров.

Статья занимается с испытаниями, проведенными на стержне из искусственным смол, укрепленных стекловолокном и на силиконовом диске. Указаны принципы конструкторского расчёта длинностержневых изоляторов на напряжения 120, 400 и 750 кв.

Излагается технология экономного и быстрого производства монолитных длинностержневых изоляторов, и приводятся результаты испытаний электрической, механической, и примесной прочностей и ускоренной испытании на долговечность. В конце работы излагаются опыты эксплуатации пластмассовых длинностержневых изоляторов, смонтированных в линию электропередачи, созданную в рамках СЭВ-а.

ENTWICKLUNG VON GIESSHARZ—LANGSTABILISOLATOREN FÜR 120, 400 UND 750 KV FERNLEITUNGEN

Dr. R. Leyrer—P. Szaplonczay

Zusammenfassung

Die eigens für diesen Zweck entwickelten cykloaliphatischen Epoxydharze und die Silikon-Elastomere haben den Freiluft-Einsatz der Kunststoffe ermöglicht.

Der Aufsatz behandelt die Untersuchungen der glasfaserverstärkten Kunststoffe an Stäben und die der Epoxyd- und Silikonstoffe welche zur Herstellung der

Isolierschirme verwendet wurden. Er weist auf die bei der Konstruktion der 120, 400 und 750 kV Langstabisolatoren berücksichtigten Gesichtspunkte hin.

Im weiteren wird die wirtschaftliche und rasche technologische Fertigungsmethode der aus einem Stück hergestellten Langstabisolatoren geschildert und gibt die Ergebnisse der an den entwickelten Isolatoren durchgeführten Untersuchungen sowie der beschleunigten Lebensdauer-Prüfungen bekannt.

Zum Abschluss werden die Betriebserfahrungen mit den in die 400 kV RGW-Kooperations-Fernleitung eingebauten Kunststoff-Langstabisolatoren erwähnt.

DEVELOPMENT OF RESIN LONG-ROD INSULATORS FOR OUTDOOR USE ON 120, 400 AND 750 kV TRANSMISSION LINES

By R. Leyrer—P. Szaploneczay

Summary

The applicability of synthetic materials outdoors has been made possible by cycloaliphatic epoxy resins and silicon elastomers specially developed for this purpose.

Investigations on fibreglass reinforced synthetic rods, on materials of epoxy and silicon plates are dealt with. Mention is made of criteria for dimensioning long-rod insulators on 120, 400 and 750 kV voltage.

The paper describes a quick and economical technological method for manufacturing long-rod insulators made of a single piece, and lists results of mechanical, electrical, pollution resistance tests and such of accelerated ageing carried out on the new insulators.

Finally service experience obtained with synthetic long-rod insulators installed on 400 kV interconnected transmission lines of the CMEA states.

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedben a nagyfeszültségű villamos készülékek, berendezések és gépek gyártásában, valamint a villamosenergia-átvitel területén világszerte megnőtt a műanyagok szigetelőanyagként való alkalmazása. A műanyagok rohamos elterjedését a hagyományos szigetelőanyagokkal szembeni kedvezőbb tulajdonságai és alkalmazásuk gazdaságossága tették lehetővé.

A műanyag alapú szigetelőanyagok felhasználása elsőként azokon a területeken fejlődött ki, ahol a szigetelés közvetlen atmoszférikus hatásoknak, szabadtéri igénybevételeknek nincs kitéve. Csak a szabadtéri igénybevételnek ellenálló, új műanyagok megjelenése nyitotta meg az utat a szabadtéri, nagyfeszültségű szigetelők kifejlesztésére.

A szabadtéri műanyag szigetelők fejlesztésével számos országban foglalkoznak (pl. Szovjetunió, Lengyelország, Anglia, USA, NSZK, Svájc, Olaszország). A téma jelentőségét jól reprezentálja az is, hogy egyes, addig elsősorban porcelán szigetelőkkel foglalkozó nagyvállalatok (pl. Rosenthal-Isolatoren GmbH) is rátértek műanyag szigetelők fejlesztésére és gyártására.

A hivatkozott országok idevágó fejlesztési eredményeit áttekintve megállapítható egyrészt az, hogy a szabadtéri műanyag szigetelők fejlesztési szintjei a kutatásoktól a bevezetésre irányuló többéves üzemi tartampróbák felé tolódnak el. Üzemesítésük a jövőben várható. Másrészt a legelőremutatóbb fejlődés az üvegszálvázzal erősített rúdszigetelők kidolgozásában mutatkozik, különösen a 220 kV és ennél nagyobb feszültségű szabadvezetékknél. Az üvegszálváz erősítésű műgyanták új látványokat

nyitnak a gazdaságosabb oszlopkonstrukciók kialakítására, sőt a műanyag szigetelő keresztkarok megvalósítására is.

A műanyag szigetelések hazánkban is számos területen növekvő ütemben tért hódítottak. Az alkalmazás során szerzett tapasztalatokat figyelembe véve, valamint a világszerte folyó fejlesztési munka előremutató trendjét felismerve, az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság megbízta a Villamosipari, a Műanyagipari és Villamosenergiaipari Kutató Intézeteket, a 120, 400 és 750 kV-os szabadtéri műanyag szigetelők és támszigetelők kifejlesztésével.*

A megbízott kutatóintézetek az 1972/73-as években kezdték el ezt a fejlesztőmunkát. A kifejlesztett szigetelőtípusok közül a hazai igények felmérése alapján, elsősorban a műanyag hosszúrúdszigetelők kínáltak rövidebb távon is realizálható műszaki—gazdasági előnyöket. A távvezetékek szigetelésére hagyományosan alkalmazott porcelán- és üvegszigetelők ismert hátrányai az átviteli feszültség növelésével fokozottabban előtérbe kerülnek. A porcelán és üvegszigetelőknek mechanikai szilárdságukhoz képest nagy súlyuk és helyigényük van, ugyanakkor törékenyek, sőt az üvegszigetelő a belső mechanikai feszültségek következtében öntörésre is hajlamos.

Az előbbi hátrányok a műanyag hosszúrúdszigetelők esetében nem jelentkeznek, sőt kis súlyuk és egy darabban való előállíthatóságuk az oszlopra szerelést rendkívül megkönnyíti. Éppen e tulajdonságuk folytán a műanyag hosszúrúdszigetelők a feszültség alatti munkavégzés fontos eszközévé is váltak.

Különösen kedvező eredményeket lehet prognosztizálni hazai vonatkozásban az egy hosszban előállítható, nagy mechanikai szilárdságú 400 kV-os műanyag hosszúrúdszigetelő alkalmazásához. A hálózatfejlesztési tervekben ugyanis megállapítható, hogy a villamosenergia-igények kielégítésére a hazai 400 kV-os hálózat jelentős fejlődése várható.

2. Műanyag hosszúrúdszigetelők méretezése

A távvezeteki szigetelő méreteit, ezen belül elsősorban a kúszóút és a szigetelőernyő megválasztását a távvezeték környezete döntően befolyásolja. A műanyag hosszúrúdszigetelő méretezésekor azt tűztük ki célul, hogy a szigetelőt az ún. erősen szennyezett környezetben is alkalmazni lehessen.

A szennyezésállóságra való méretezés a szigetelő kúszóútját és ernyőinek kialakítását határozza meg. Az erősen szennyezett környezetben üzemelő szigetelőtől a nemzetközi tapasztalatok alapján megkívánhatjuk, hogy fajlagos (a hálózat névleges láncolt feszültségére vonatkoztatott) kúszóútja legalább 2,6 cm/kV legyen.

A szigetelőernyők alakját tapasztalati úton lehet kiválasztani, a gyárthatóság követelményeinek egyidejű figyelembevételével. Az eddigi kedvező előkísérleti eredmények alapján a szigetelőket ún. váltott szigetelőernyőkkel terveztük. A nagy ernyő átmérője 135 mm, a kisebbé 95 mm, két szomszédos ernyőpár közötti távolság 65 mm.

A lökő- és kapcsolási hullámú próbafeszültség a szigetelési távolsággal áll közvetlen kapcsolatban. A szennyezésállósági méretezésből adódó ernyőrendszerrel a teljes szigetelési távolság adódik. A villamos tér kedvezőbb kialakítása érdekében alul ívvédő gyűrű alkalmazását terveztük. A mechanikai terhelést jelentő húzóigénybevétel felvételére 25 mm átmérőjű, üvegszállal erősített műanyagrudat terveztünk, amelynél az erőbevezetést temperöntvényből készült fémszerelvények biztosították.

*A kutatómunkában részt vettek: a VEIKI részéről: Bognár Alajos és Paulusz Mihály, a MÜKI részéről: Dr. Kelemen Andorné.

Jellemzők	Feszültség, kV		
	120	400	750
Beépítési hossz, mm	1270	3530	6014
Kúszóút, mm	3540	10 500	17 590
Tányérátmérő, mm	135/96	135/95	135/95
Tányérok száma, db	16/15	50/49	88/87
Törzsátmérő, mm	34	34	34
Súly, kp	10,2	22	36

A villamos és mechanikai szempontok figyelembevételével kialakított 120, 400 és 750 kV-os műanyag hosszúrúdszigetelők főbb jellemzőit 22-1. táblázat szemlélteti.

A szigetelőernyők az üvegszál erősítésű rúdon helyezkednek el, a rudat az ernyőkkel egy egységet képező, megfelelő vastagságú műanyag bevonat védi. A bevonat és az ernyők anyaga időjárási hatásoknak és felületi kisételeknek ellenálló, rugalmas szilikonelasztomer, vagy flexibilizált cikloalifás epoxigyanta. Az üvegszál erősítésű rúd és a bevonat, ill. ernyők közötti átmeneti réteg megfelelő villamos szilárdságát a két anyag tökéletes tapadása, adhéziós kötése biztosítja. A bevonat anyagának rugalmassága és az üvegszálvázis rúdénál nagyobb szakadási nyúlása lehetővé teszi, hogy a rendszer „együtt dolgozik” a fellépő mechanikai és termikus igénybevételek hatására.

A kifejlesztett 120 és 400 kV-os műanyag szigetelők fényképe a 22-1. ábrán látható, az itt bemutatott szigetelők ernyőrendszere cikloalifás epoxigyantából készült.

3. A kiválasztott szigetelőanyagok és vizsgálataik

3.1 Üvegszálás rúd

Az üvegszálás rudak egyirányú, párhuzamos, kb. 10 μ átmérőjű, elemi üvegszálakból képezett rovingból és impregnálógyantából épülnek fel. Az üvegyanyag ún. E-üveg, amelynek alkáli tartalma alacsony, az elemi üvegszálak húzószilárdsága eléri a 3500 N/mm² értéket. Az üvegrovingok összetartására általában térhálósítható epoxi-vagy telítetlen poliészter-gyantákat alkalmaznak.

A gyártó cégek gyártmányismertetői alapján összefoglaltuk és értékeltük az üvegszál erősítésű rudak mechanikai, fizikai és villamos jellemzőit. Ezen túlmenően néhány fontos jellemző meghatározását is elvégeztük. A vizsgálati eredményeket a 22-2. táblázat ismerteti.

A vizsgálati eredmények értékeléséből megállapítható, hogy az epoxi kötőanyagú rudak — elsősorban mechanikai tulajdonságait szempontjából — kedvezőbbnek mutatkoztak.

22-1. ábra.
120 és 400
kV-os
hosszúrúd-
szigetelők

Gyártó cég	Átütési szilárdság, kV/mm	Felületi ellenállás, Ω cm	Húzószilárdság, N/mm ²	Hajlítási szilárdság, N/mm ²	10^6 rugalmassági modulusz N/cm ²	10^{-6} lineáris hőtágulási együttható $1/^\circ\text{C}$	Üvegtartalom súly %	Értékelés
Glastrusion (Ausztria)	6,5...8,0	10^{10} ... 10^{14}	860	1000	3,5	—	73	jó
Krempel (NSZK)	6,9	10^{12}	700	900	3,3	10	76	közepes
Lerc (Franciaország)	8,4...9	—	570...1000	700...1400	4	9	72...75	jó
Stesalit (Svájc)	7...8	10^{12} ... 10^{13}	700...1100	800...1300	3,5	10	76	jó
Reyrolle (Nagybritannia)	8...8,5	10^{12}	1330...1420	—	5	7,5	83	kiváló
Rosenthal – Stemag (NSZK)	7...8	—	1200	750...800	4	8	60	jó

Az általunk készített 120, 400 és 750 kV-os műanyag hosszúrúdszigetelőhöz REYROLLE (Anglia), ill. GLASTRUSION (Ausztria) gyártású rudakat alkalmaztunk.

3.2 Szigetelőernyők anyagai

A tányérananyagokkal szemben támasztott követelmények kielégítésére jelenlegi ismereteink szerint leginkább a következő anyagcsoportok jöhetnek szóba:

- szilikonelasztomerek,
- cikloalifás epoxigyanták,
- politetrafluoretilén (PTEF),
- poliuretán gyanták.

A felsorolt anyagcsoportok közül elsősorban az első kettőnél állnak rendelkezésre megalapozottabb tapasztalatok, részletesebben mi is ezekkel foglalkoztunk.

3.2.1 Szilikon elasztomerek

A szilikon elasztomerek vagy szilikon kaucsukok szigetelőtechnikai szempontból számos kiváló tulajdonsággal rendelkeznek. A kedvező jellemzők nagy része — elsősorban a különböző igénybevételekkel szembeni stabilitás — az ún. fél-szerves szerkezettel függ össze.

A szilikon elasztomerek különösen széles hőmérséklettartományban alkalmazhatók. Mechanikai és villamos tulajdonságaik $-60^\circ\text{C} \dots +250^\circ\text{C}$ -ig alig változnak, rugalmasságukat kis hőmérsékleten is megtartják.

A szilikonok általában hidrofób tulajdonságúak. A lecsapódó nedvesség a felületükön nem alkot összefüggő filmet, hanem cseppek formájában leperreg. Ózon- és ultrabolyvasugárzásállók, a legtöbb korróziós és légköri hatásnak ellenállnak.

Kísérleteinkhez a szilikon elasztomerek közül a feldolgozástechnológiai-
lag előnyös, ún. hidegen keményedő típusokat választottuk ki. A kísérleteinkbe bevont anyagok gyártói a BAYER (NSZK), Wacker-Chemie (NSZK), VEB Chemiewerk Nünchritz (NDK), és a hazai Finomvegyszer Szövetkezet voltak.

3.22 Cikloalifás epoxigyanták

A cikloalifás epoxigyanták a klasszikus, dián bázisú epoxigyantákhoz képest lényegesen módosított szerkezeti felépítésűek. Ismeretes, hogy a dián bázisú gyanták — az elektrotechnikában felhasznált számos előnyös tulajdonságaik mellett — szabadterén nem alkalmazhatók, mivel az ultraibolya sugárzással és a felületi kislülésekkel szembeni stabilitásuk nem kielégítő.

A szabadterésre alkalmas cikloalifás epoxigyanták közül — a konkrét alkalmazás követelményeinek megfelelően — a flexibilis változatokból kell az anyagot kiválasztani. A flexibilitás biztosítására korábban lágyító adalékanyagokat, újabban speciális hálósítókat alkalmaznak, de megjelentek a rugalmas gyanták is. A rugalmasság és hajlékonyság biztosítása általában problémákat okoz, mivel nehéz olyan megoldást találni, amely nem megy más tulajdonságok (pl. vízfelvétel, villamos tulajdonságok) rovására.

Az eddigi vizsgálatok során háromféle flexibilis cikloalifás epoxigyanta-rendszerrel foglalkoztunk, ezek gyártói CIBA-GEIGY (Svájc), BAYER AG (NSZK) és SHELL (Anglia). Részletes kísérleti tapasztalatok jelenleg csak az első két gyanta-rendszerrel állnak rendelkezésre.

4. A kiválasztott anyagok stabilitásának, élettartamának vizsgálata

Az általunk alkalmazott műanyagokról még nem állnak rendelkezésre tartamkísérleti tapasztalatok, ezért célszerű volt gyorsított vizsgálatot kifejleszteni, ill. lefolytatni. Az alkalmazott szilikon elasztomer és cikloalifás epoxigyanta anyagok stabilitásának tanulmányozására és összehasonlítására az alábbi vizsgálatokat végeztük el:

- a) Mechanikai és villamos tulajdonságok változásának vizsgálata tartós hőigénybevétel hatására;
- b) Termooxistabilitás vizsgálata;
- c) Fotooxistabilitás vizsgálata;
- d) Hőstabilitás mérése derivatográfiai módszerrel;
- e) A villamos tulajdonságok nedves-meleg hatására bekövetkező változásainak vizsgálata;
- f) Természetes öregítés hatásának vizsgálata kitéti állomáson (Badacsonyban);
- g) Folyamatos felületi kislüléssel szembeni ellenállóképesség vizsgálata (Tracking-vizsgálat).

A felsorolt vizsgálatok egy része hosszú időtartamú, különösen a természetes öregítés hatásának vizsgálata tart sokáig. A vizsgálati eredmények részletes ismeretése túllépné e beszámoló kereteit, ezért csak a vizsgálati eredményekből levonható legfontosabb következtetéseket adjuk meg. A vizsgálatok általában a szilikon elasztomerek nagyobb stabilitását mutatják. A cikloalifás epoxigyanta rendszerek jellemzői erősebben változtak.

A villamos erózióállóság, mint az egyik legkritikusabb jellemző, a valóságban fellépő igénybevétel tartományába esik. Érdekes módon a Bayer gyár speciális cikloalifás gyantája mutatkozott e vizsgálat folyamán a legjobbnak. A szilikon elasztomerek villamos erózióállósága nagyjából egyenlő, a Ciba-Geigy elasztikus cikloalifás gyantája bizonyult a legérzékenyebbnek a villamos erózióra. Ezzel szemben más tulajdonságaiban kedvezőbb. Így végső soron a szigetelők anyagát csak kompromisszumok árán lehetséges kiválasztani.

5. Epoxi és szilikon ernyőanyagú hosszúrúdszigetelők kísérleti gyártástechnológiája

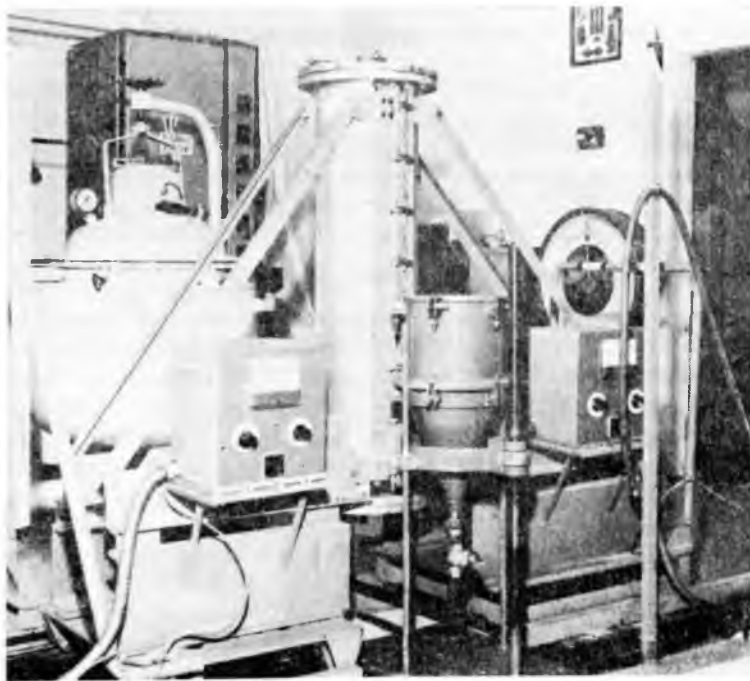
5.1 A technológia kiválasztásának szempontjai

A váltott ernyőkből felépülő 120, 400 és 750 kV-os hosszúrúdszigetelők kísérleti gyártástechnológiájánál alkalmazott koncepció lényege a következő volt:

- nagyfeszültségű szigetelő vákuum nélküli öntése;
- az öntőgyanta-kompozíció túlnyomás segítségével történő bevezetése az öntőszerszám alsó részén;
- a villamos fűtés közvetlen beépítése az öntőszerszámba;
- az öntőgyanta-kompozíció utánnomás segítségével történő térhálósítása fűtött szerszámban;
- a meglehetősen nehéz öntőberendezés munkaszinten (padlószinten) tartása és az aránylag könnyű műanyagszigetelő vertikális mozgatása.

5.2 Műanyagszigetelők gyártástechnológiája

A kifejlesztett szigetelőkhöz háromféle technológiát dolgoztunk ki, ezeket eredményesen próbáltuk ki a 120, 400 és 750 kV-os, műanyag hosszúrúdszigetelő előállításánál. Az általunk kifejlesztett technológia a cikloalifás és a szilikon elasztomer ernyőrendszerű szigetelők előállítására egyaránt alkalmas. A kísérleti gyártástechnológia egyes részletei a 22-2. és 22-3. ábrákon láthatók, amelyeken a nyomószelés öntőberendezés öntésre kész állapotban, valamint a 120 kV-os műanyag hosszúrúdszigetelő kiemelése az öntőformából figyelhető meg.



22-2. ábra. Hosszúrúdszigetelő öntésére szolgáló berendezés



22-3. ábra. A 120 kV-os hosszúrúdszigetelő kiöntése; a kész öntvény kiemelése az öntőszerszámból

6. Laboratóriumi élettartam-vizsgálatok

A szabadtéri műanyag szigetelőkre ható, különböző igénybevételek közül a legveszélyesebbnek a szigetelő felületére rakódott szennyeződés hatására létrejövő, felületi kislülés tekinthető. Ennek az igénybevételnek az utánzására gyorsított laboratóriumi vizsgálati módszert dolgoztunk ki. A vizsgálatot próbatestenen és 120 kV-os szigetelőkön végeztük el.

6.1 Villamos erózióállósági vizsgálat próbatestenen

A vizsgálatok céljaira, feldolgozástechnológiai kutatásaink alapján rúd alakú próbatesteket készítettünk. A rudak 400 mm kúszóúttal és 20 mm átmérővel készültek.

A szigetelőanyag modelleket a felületükre porlasztással felvitt elektrolittal szennyeztük. Ennek jellemzői a következők voltak:

elektrolit rezisztivitása (fajlagos ellenállása):	2000 Ω cm;
intenzitása	0,6 mm/min.

A próbatestekre 13,87 kV értékű, ipari frekvenciájú feszültséget kapcsoltunk és azt állandóan a próbatestenen tartottuk. A modellekre így 0,346 kV/cm átlagos villamos igénybevétel hatott, amely az üzemben valóságban fellépő villamos igénybevétel tartományába esik.

A folyamatos felületi kislüléseknek a műanyagok típusától, az esetenként alkalmazott térhálósítótól, a szervesetlen töltőanyag és a kötőanyag kapcsolatától és valószínűleg a gyártás technológiájától függően eltérő módon álltak ellen. A mérési eredményeket a 22-3. táblázat tartalmazza. A közölt adatokból megállapítható az is,

Műanyagok villamos erózióállósága

A műanyag típusa	A próbatest térbeli elhelyezése	Elektródokat összekötő villamos erózió bekövetkezéséig eltelt idő, h	Viszonylagos szórás, %
Szilorka HV—1 szilikon elasztomer	vízszintes függőleges	370 1150	10,4 19,0
Silopren K 1000 szilikon elasztomer	vízszintes függőleges	813 1015	3,8 20,1
RTV M 426 szilikon elasztomer	vízszintes függőleges	330 1010	5,3 25,4
VF 3507 szilikon elasztomer	vízszintes	926	5,7

hogy a vízszintes állapotban elhelyezett, rúd alakú műanyag próbatestek villamos erózióállósága szignifikánsan kisebb, a függőlegesen elhelyezett próbatestek erózióállóságánál. A vízszintes elrendezés hatására pl. a Szilorka HV—1 szilikon elasztomer villamos erózió állósága 67,8%-kal, a Silopren K 1000 szilikon elasztomeré 20%-kal, az RTV M 426 szilikon elasztomeré 67,4%-kal csökkent.

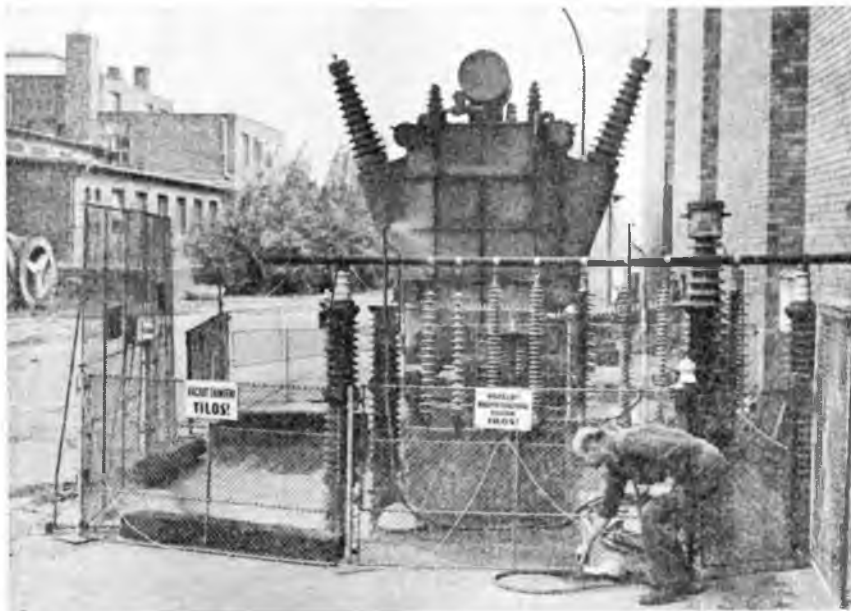
A villamos erózióállóság ilyen mértékű csökkenését az okozza, hogy a folyékony szennyezőréteg a rúd alsó részén gyűlik össze. Ennek következtében a felületi kislülések is nagy gyakorisággal a rúd alsó felületén alakulnak ki, és ezt a részt roncsolják el. Ezzel szemben a függőlegesen elhelyezett próbatesteken a villamos kislülések a próbatest egész palástján, kitüntetett irány nélkül, véletlenszerűen lépnek fel.

6.2 Laboratóriumi villamos erózióállósági vizsgálat 120 kV-os szigetelőkön

Ez a módszer ugyancsak roncsolásos vizsgálat, a vizsgált műanyag szigetelőre egyidejűleg ható villamos, időjárás és felületi szennyeződésből eredő igénybevételeket a szigetelő roncsolásáig alkalmaztuk. Az üzemben fellépő szennyezés utánpótlása a műanyag szigetelő felületére porlasztással felvitt elektrolit réteggel történt, amelynek jellemzői az előbbiekhöz hasonlóak voltak (1. 6.1 pont). A porlasztott elektrolittal a szigetelő felületét állandóan nedvesítettük.

A vizsgálatokat függőleges helyzetű 120 kV-os műanyag hosszúrúdszigetelőkön végeztük, a szigetelőn tartott állandó vizsgálati feszültség a 120 kV-os hálózaton fellépő $120/\sqrt{3}=69,2$ kV volt. A szabadtéri vizsgálóállomás fényképe a 22-4. ábrán látható. A vizsgált szigetelők az állandó villamos igénybevétel és folyamatos nedvesítés mellett a természetes klimatikus igénybevételeknek, azaz a napsugárzás, eső, hó, jég, köd, hideg, meleg hatásának is ki voltak téve. Feltételezve, hogy a vizsgálatokhoz folyamatosan alkalmazott 2000 Ω cm rezisztivitású fajlagos ellenállású, elektrolitos jellegű szennyezés a hálózaton évi 500 órás időtartamig lép fel, a vizsgálati eredmények alapján a váltott ernyős szilikon és cikloalifás epoxigyanta anyagú szigetelők élettartama két-három évtizedre valószínűsíthető.

Itt említjük meg, hogy az azonos körülmények között, egyidejűleg vizsgált külföldi gyártású (Rosenthal) 120 kV-os műanyag hosszúrúdszigetelő közepes élettartama mintegy 30%-kal kisebbre adódott.



22-4. ábra. A 120 kV-os hosszúrúdszigetelők szabadtéri vizsgálata a VEIKI vizsgálóállomásán

7. Villamos és mechanikai vizsgálatok a 400 kV-os hosszúrúdszigetelőkön

Mint az előzőekben már jeleztük, a hazai villamosenergia-átvitel távlati terveiben a 400 kV-os gerinchálózat kiépítése szerepel, ezért kutatásunk elsősorban a 400 kV-os hosszúrúdszigetelők kifejlesztésére irányult. Itt kívánjuk megjegyezni, hogy az általunk kifejlesztett 750 kV-os hosszúrúdszigetelő egyenlőre nagyfeszültségű munkaeszközként kerül alkalmazásba, vizsgálata jelenleg még folyamatban van. A következőkben ezért a 400 kV-os hosszúrúdszigetelő villamos és mechanikai szilárdsági vizsgálatával kapcsolatos tapasztalatainkat közöljük:

7.1 Villamos szilárdsági vizsgálatok

A feszültségvizsgálatokat függőleges helyzetű ívvédő szerelvényvel ellátott hosszúrúdszigetelőkön végeztük el. A munka során a következő vizsgálatokra került sor:

- lökőfeszültség vizsgálata,
- ipari frekvenciájú esőtetett vizsgálat,
- kapcsolási hullámú vizsgálatok esőtetett állapotban,
- szennyezésállósági vizsgálat.

A 400 kV-os műanyag szigetelőkön elvégzett villamos szilárdsági vizsgálatok eredményeit a 22-4. táblázatban foglaljuk össze. A vizsgálatról készült fénykép (22-5. ábra) a 400 kV-os szilikon elasztomer hosszúrúdszigetelő átívelését esőtetett állapotban 1475 kV csúcsertékű kapcsolási feszültség alkalmazásakor mutatja.

22-4. táblázat

400 kV-os műanyag hosszúrúdszigetelőkön elvégzett villamos szilárdsági (lökőfeszültség-, ipari frekvenciájú esőztetett és kapcsolási hullámú) vizsgálatok eredményei

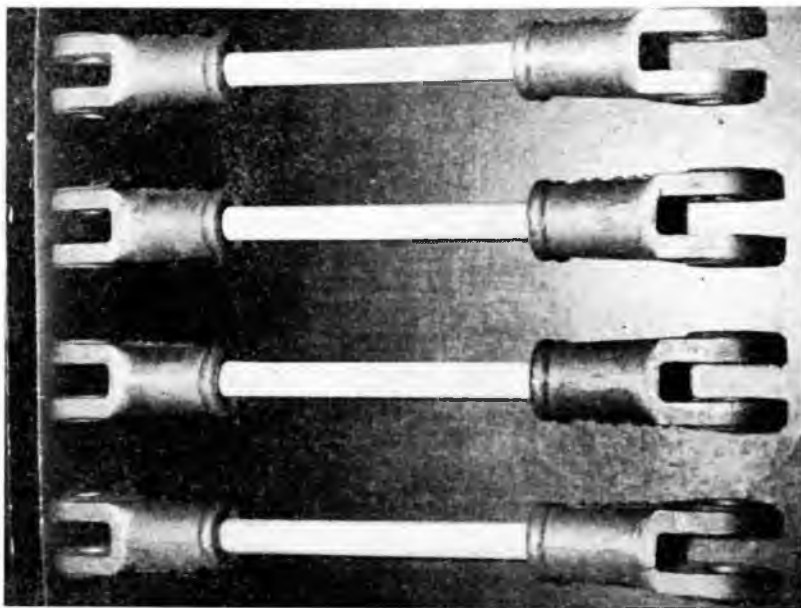
Műanyag hosszúrúdszigetelő típusa	Vizsgálat	Polaritás	50%-os átívelési feszültség csúcserőteke, kV	Viszonylagos szórás, %	Átívelési feszültség eff. értékének sz. középértéke kV
Szilikon elasztomer szigetelő	lökőfeszültség	pozitív negatív	1710 2000	4,0 4,5	—
	ipari frekvenciájú, esőztetett	—	—	—	—
	kapcsolási hullámú	pozitív negatív	1475 1640	8,1 9,4	—
Flexibilis cikloalifás epoxigyanta szigetelő	lökőfeszültség	pozitív negatív	1700 2000	4,4 4,7	—
	ipari frekvenciájú esőztetett	—	—	—	950
	kapcsolási hullámú	pozitív negatív	1400 1600	6,2 6,0	—



22-5. ábra. A 400 kV-os hosszúrúdszigetelő villamos vizsgálata a VEIKI-ben

7.2 Húzó-törőerő vizsgálatok

A húzószilárdság ellenőrzésére a szigetelők anyagául ténylegesen alkalmazott ISOBRA jelű, gyártó cég Glastrusion (Ausztria) 25 mm átmérőjű műanyagrudból és a szigetelőkhöz kifejlesztett temperöntvényből készült fémszerelvényekből álló modelleken a húzó-törőerő vizsgálatát végeztük el. A 7 db próbatárgyakon meghatá-



22-6. ábra. Fémszerelvényekkel ellátott üvegszálvasas rúd próbatestek a mechanikai szilárdság meghatározására

rozott húzó-törőerő értékeket matematikai-statisztikai módszerekkel értékeltük. A próbatárgyakat mutatja a 22-6. ábra. A kiértékelés főbb eredményei:

A húzó-törőerő számtani középértéke:	274 000 N
A húzó-törőerő szórása:	13 400 N
A húzó-törőerő viszonylagos szórása:	4,9%
A kis törési valószínűséghez (0,14%) tartozó húzó-törőerő:	233 800 N

A 400 kV-os hálózaton jelenleg alkalmazott kettős porcelán szigetelőlánc megfelelő értékeivel összehasonlítva megállapítható, hogy a műanyag hosszúrúdszigetelőnél a kis törési valószínűséghez tartozó húzó-törőerő mintegy 15%-kal nagyobb. A műanyag hosszúrúdszigetelő mechanikai szilárdsági szempontból a 400 kV-os szabadvezetéken fellépő igénybevételre megfelel.

8. 120 és 400 kV-os műanyag szigetelők üzemi vizsgálatai

8.1 120 kV-os szabadvezetékre épített műanyag hosszúrúdszigetelők

Az üzemi vizsgálatok célja az, hogy a szabadtéri műanyag szigetelők szélesebb körű hazai bevezetése előtt valóságos körülmények között is tapasztalatokat gyűjtsünk a szigetelők viselkedéséről. Az előző pontban részletezett gyorsított élettartam-vizsgálatokból bizonyos következtetések levonhatók, azonban e vizsgálatok csak közelítően képesek a tényleges üzemi viszonyok modellezésére. Az üzemi vizsgálatok fontosságát a téma utáni többoldalú külföldi érdeklődés is aláhúzza. A téma szellemi eredményeinek értékesítéséhez vagy a műanyag szigetelő mint gyártmány piacon való értékesítéséhez a pozitív eredményű hazai üzemi referencia elengedhetetlenül szükséges.

Az üzemi vizsgálatokat 120 és 400 kV-os műanyag hosszúrúdszigetelőkön kezdtük el. A műanyag hosszúrúdszigetelők megbízhatóságának és élettartamának meghatározására az Országos Villamos Távvezeték Vállalat 54 műanyag hosszúrúdszigetelőt épített a Miskolc I.—Nyugat-Borsod 120 kV-os szabadvezetékére. Ez a szabadvezeték a Lenin Kohászati Művek és a Miskolci Üveggyár közelében, erősen szennyezett környezetben halad. A szabadvezeték kétrendszerű. Egyik rendszerének szigetelése kettős műanyag szigetelőlánc, a másiké KS—5 jelű, kettős két-sapkás szigetelőlánc. A kettős műanyag szigetelőlánc alsó ívvédő gyűrűk, felső részén felvágott ívvédő gyűrűk helyezkednek el. A 22-7. ábra a Miskolc I.—Nyugat-Borsod 120 kV-os távvezeték tartóoszlopára felszerelt műanyag hosszúrúdszigetelőket mutatja.

Az OVIT által kijelölt 120 kV-os távvezeték három tartó-, három sarokfeszítő és egy portáloszlopra a hosszúrúdszigetelőket 1976 novemberében építették be. A cikk megírásáig eltelt idő alatt semmiféle rendellenesség vagy meghibásodás nem volt tapasztalható.

8.2 400 kV-os szabadvezetékre épített műanyag hosszúrúdszigetelők

A távlati felhasználási igényeket és a várható gazdaságosságot is figyelembe véve a 400 kV-os műanyag szigetelők lehető leggyorsabb beépítését tartottuk fontosnak, és ennek előkészítését már 1975-ben elkezdtük az OVIT Vállalattal együttműködve. A Magyar Villamos Művek Tröszt a kísérleti 400 kV-os műanyag szigetelők beépítésére a Göd—Léva KGST kooperációs 400 kV-os távvezeték magyar szakaszát jelölte ki. A 24 db szigetelő felszerelésére 1976. január 17-én került sor, ugyanis ezen



22-7. ábra. A 120 kV-os hosszúrúdszigetelők felszerelése



22-8. ábra. A 400 kV-os hosszúrúdszigetelők szerelése a Göd—I.éva távvezetésekre

a napon biztosította a KGST egyesített energiarendszer központi teherelosztója a távvezeték magyar, ill. csehszlovák oldalról történő kikapcsolását.

A szigetelők beépítése a távvezeték feszültségmentes állapotába történt. Ezen túlmenően lehetőség van a műanyag szigetelők feszültség alatti beszerelésére az OVIT által kifejlesztett munkavégzési módszerrel is. A 22-8. ábrán látható a két szélső fázisban már műanyag szigetelőkkel ellátott 400 kV-os távvezetéki oszlop. Meg kell jegyezni, hogy a teljes munka 8 órán belül megtörtént, noha a műanyag szigetelők szállítása és szerelése nagy gondosságot kíván.

Az azóta — tehát kereken egy év óta — eltelt időszakban, noha az 1976-os rendkívül száraz, forró nyarat 1976 végén hideg, havas tél követte, nem tapasztaltunk a szigetelőkön károsodást. Véleményünk szerint azonban az eltelt, durván egy év még nem elegendő arra, hogy a szigetelők teljes megbízhatóságára vonatkozó kijelentést megtegyük, ezért kísérleti üzemeltetésüket még legalább 2 évig szükségesnek tartjuk.

Befejezésül néhány szót kívánunk ejteni a műanyag szigetelők gazdaságosságáról. Felméréseink azt mutatják, hogy a 400 kV-os szigetelő alkalmazása gazdaságos. Előkalkulációink szerint az egy darabból álló, 400 kV-os, műanyag hosszúrúdszigetelő ára a mechanikai és villamos szempontból egyenértékűnek tekinthető $3 \times 2 \times \text{HR 75/17}$ porcelánszigetelőkből összeállított, kettős tartólánc áránál kisebb lesz. A gazdaságosságot még növeli az a tény, hogy a 400 kV-os műanyag szigetelő rövidebb, ami az oszlop építési költségét csökkentheti.

23.

Кábelszerelvényekhez alkalmazható tömítő-ragasztó kifejlesztése

DR. FAZEKAS GÁBORNÉ

ÖSSZEFOGLALÁS

Kábelélagazások, szabadtéri végelzárók szereléséhez hőre zsugorodó, térhálós poli-etilén idomdarabokat alkalmaznak. Az idomdarabok belsejében tömítő-ragasztó bevonatot kell kiképezni. A hőre lágyuló tulajdonságú ragasztóanyagok közül az olvadék ragasztókat találtuk a legmegfelelőbbnek erre a célra.

Kétféle tömítő-ragasztót állítottunk elő, amelyek a flexibilitást biztosító termoplasztikus komponensükben térnek el egymástól. A poliizobutilén alapú ragasztót ott ajánljuk, ahol a mechanikai igénybevétel kicsi. A termoplasztikus kaucsuk alapú ragasztó nagyobb mechanikai igénybevétel esetén is megfelel. A ragasztó felhordására célkészüléket valósítottunk meg.

A tapadóerő meghatározására olyan vizsgálóberendezést alkalmaztunk, amellyel a csavarónyomaték meghatározásán keresztül lehet értékelni az egyes keverékek alkalmazhatóságát.

A tömítő-ragasztó villamos jellemzőit a szabványok szerint mértük.

РАЗРАБОТКА УПЛОТНЯЮЩИХ КЛЕЙЕВ ДЛЯ СКЛЕИВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Д-р. Г. Фазекаш

Резюме

Для сборки кабельных ответвлений и наконечников в открытом пространстве применяются фасонные детали из трёхмерного полиэтилена, усаживающихся при обжиге. Внутреннюю поверхность этих фасонных деталей следует покрыть уплотняющим клеем.

Самым подходящим из термопластических клеев оказались расплавленные клеи.

Разработанные нами два вида уплотняющих клеев отличаются друг от друга термопластическим компонентом, обеспечивающим их гибкость. Клей на основе полиизобутилена предназначен при небольших, а клей на основе термопластического каучука — при больших механических нагрузках. Для нанесения клея разработано специальное оборудование.

Для определения силы адгезии определяются специально разработанным оборудованием крутящий момент, с помощью которого оценивается применимость различных смесей.

Электрические свойства уплотняющего клея измерены по соответствующим стандартам.

ENTWICKLUNG VON ABDICHTUNGS- UND KLEBESTOFFEN FÜR KABELVERSCHLUSSGARNITUREN

Frau Dr. G. Fazekas

Zusammenfassung

Bei Kabelabzweigungen und Kabelendverschlüssen verwendet man bei der Montage wärmeschrumpfende vernetzte Polyäthylen-Formstücke, in deren Innern eine Dichtungs-Klebeschicht gebildet werden muss. Unter den thermoplastischen Klebstoffen fand man die holt-melt-Klebstoffe am zweckdienlichsten.

Es wurden zweierlei Dichtungs-Kleber hergestellt, die in ihren thermoplastischen Flexibilitätskomponenten voneinander abweichen. Wir empfehlen den Polyisobuthylen-Kleber da, wo die mechanische Beanspruchung gering ist. Der thermoplastische Kautschukkleber ist auch bei grösseren mechanischen Beanspruchungen geeignet. Zum Auftragen des Klebstoffes verwandten wir eine Einzweckvorrichtung.

Zur Bestimmung der Adhäsionskraft (Klebekraft) entwickelten wir eine Prüfanlage, mit welcher über das Drehmoment auch die Anwendbarkeit der einzelnen Mischungen bewertet werden kann. Wir haben die elektrischen Parameter des Dichtungs-Klebers nach den einschlägigen Normen gemessen.

DEVELOPMENT OF SEALING AND BONDING MATERIALS FOR USE ON CABLE FITTINGS

By Dr. Mrs. G. Fazekas

Summary

In assembling cable branches, outdoor sealing ends the application of thermoshrinking, cross-linked polyethylene pieces is usual. Inside the pieces a sealing and bonding coating must be made. Of bonding materials having thermoshrinking properties the melt bonds have been found to be the most suitable for this purpose.

Two types of sealing bonds have been produced, being different in respect of their thermoplastic components providing flexibility. The polyisobutylene-base bond is recommended in cases where mechanical stress is low.

The bond with thermoplastic caoutchouc base is suitable also for larger mechanical stresses. A special device has been realized, by which the bond can be applied.

Adhesive strength has been determined by means of a test set which uses the determination of torsional moment and enables the evaluation of each mixture. Electrical characteristics of these sealing bonds have been measured according to relative standards.

1. Bevezetés

Kábelipari gyártmányok (kábelek, vezetékek, szigetelt huzalok) szerelésében jellegzetes technológiai eljárás a hőre zsugorodó térhálós polietilén idomdarabok felhasználása. Pl. háromeresű kábelek végelzáróinak készítésére, záróspakák, esőterelő tányérok felszerelésére jól bevált ez a módszer. Az alkalmazást a térhálós polietilén nagymértékű és reverzibilis tágulós-zsugorodó képessége teszi lehetővé.

Az idomdarabok belsejében tömítő-ragasztó bevonatot kell kiképezni. A tömítő-ragasztó szerepe többérettű:

- kitölti a kábel egyenetlenségeiből adódó szabad teret;
- elősegíti a levegő kizárását;
- megakadályozza, hogy hajszálcsovek keletkezzenek a kábel és az idomdarab között, és hogy a nedvesség a hajszálcsoveken keresztül az üregekbe hatoljon;

- gátolja, hogy a kábel és kábelszerelvény között a hőmérséklet változásakor hézagok keletkezessenek;
- bizonyos mértékű mechanikai rögzítést biztosít.

A kívánalmakat kielégítő tömítő-ragasztó anyagnak jól kell tapadnia a polietilén felületéhez, noha szerkezeti ragasztásról előkezeletlen polietilén esetén nem beszélhetünk. Ezenkívül illeszkednie kell a kábelszerelés technológiai folyamatához, ezért a következő tulajdonságokkal kell rendelkeznie:

- a kábelszerelés alkalmával megömlik;
- az idomdarabok zsugorodásakor az üregeket, egyenetlenségeket kitölti;
- lehűléskor megszilárdul és rugalmas kötést biztosít;
- az üzemi hőmérsékleten nem folyik el;
- fenti tulajdonságait reverzibilisen megtartja.

A feladat megoldása érdekében kézenfekvő a rendelkezésre álló ragasztóanyagokat alapul venni, és azok megfelelő módosításával a kívánt tulajdonságú terméket kialakítani. Kívánatos, hogy a térhálós polietilén zsugoridomok hazai előállításának megvalósításával egy időben rendelkezésre álljon a tömítő-ragasztó anyag is.

2. A ragasztóanyagok általános áttekintése és a megfelelő típus kiválasztása

2.1 A ragasztás elmélete

A ragasztott kötés tulajdonságait két alapvető tényező határozza meg: a kohézió és az adhézió.

A *kohézió* a homogén anyag molekulái között ható erők összessége, amely megszabja az anyag mechanikai szilárdságát. Ez a megállapítás érvényes a ragasztandó anyagra és a ragasztóanyagra egyaránt. A kohéziós erőket egyrészt elsőrendű kémiai kötések hozzák létre (az atomok molekulákká kapcsolódnak), másrészt a másodrendű, van der Waals erők révén alakulnak ki, amelyek poláros és apoláros molekulák között egyaránt hatnak.

Az *adhézió* két különböző anyag határfelületén lép fel; tulajdonképpen adszorpciós jelenségről van szó. Az adhézió általános esetben másodrendű kötőerők révén jön létre (ritkán elsőrendű kötőerőkből), és számos tényezőtől függ. Legfontosabb a felületek poláros vagy apoláros jellege. Poláros felülethez poláros ragasztó tapad jól, mert a felületen levő dipólusok úgy rendeződnek, hogy az ellentétes töltésű részek tartósan vonzzák egymást. Apoláros felületek között a diszperziós hatás révén jön létre kapcsolat.

A ragasztás első feltétele az, hogy a ragasztó megfelelőképpen *nedvesítse* a ragasztandó felületet. A nedvesítés éppen a fentiekben vázolt adhéziós tulajdonságoktól függ. Az adhézió különleges esete a mechanikai adhézió, amely a felület érdessége miatt jön létre. Az érdes felület rovátkáiba vagy a porózus anyagok pórusaiba hatolt ragasztó mechanikailag is rögzít, ami pl. nyíróigénybevétel esetén jelentős kötőerőt biztosít.

2.2 A megfelelő ragasztótípus kiválasztása

A ragasztóanyagok választékát áttekintve megállapíthatjuk, hogy a hőre keményedő ragasztóanyagokat ki kell zárunk a lehetséges megoldások közül. Az alkalmazási célnak csak az elasztomer, vagy a hőre lágyuló alapú adhéziós anyagok felelnek meg, amelyek korlátlanul tárolhatók az irreverzibilis térhálósodás veszélye nélkül, a ká-

belszerelés alkalmával a zsugorításkor hőre megömlenek, majd lehüléskor ismét megszilárdulnak.

Megjelenési formájuk szerint a ragasztók következő típusai jöhetnek szóba:

- oldószeres ragasztók;
- diszperziós ragasztók;
- olvadék ragasztók („hot-melt”-ek).

Az oldószeres és diszperziós ragasztók előnyösen alkalmazhatók, ha vékony és egyenletes bevonatra van szükség. A felvitel is egyszerűen és gazdaságosan megvalósítható, noha az oldó-, ill. diszpergálószer eltávolítása technológiai, ill. egészségvédelmi szempontból nem elhanyagolható probléma. Ezeknél a ragasztóknál azonban mindig számolni kell az esetleg visszamaradó oldószerenyomokkal, amelyek esetünkben a felhordást követő zsugorításnál zavart okozhatnak, különösen vastagabb ragasztóréteg esetén. A megfelelő vastag réteg biztosítása is nehézkes az oldószeres ragasztók alacsony szárazanyag tartalma miatt. Ezenkívül a diszperziós ragasztókhoz alkalmazott adalékanyagok csökkentik a diszperzióból képződött filmek vízállóságát. Nem használhatjuk ki az oldószeres ragasztóknak azt az előnyét sem, hogy a pórusokba behatolva növelik a mechanikai adhéziót. A ragasztandó felület ugyanis esetünkben nem pórusos. E megfontolások alapján az oldószeres és diszperziós ragasztók alkalmazását elvetettük és az olvadék ragasztók mellett döntöttünk.

Az olvadék ragasztók többkomponensű, víz- és oldószermentes ragasztórendszerek. Hőre lágyuló polimereknek, elasztomereknek és esetenként hőre keményedő polimereknek keverékei, amelyek még alkalmas aditívokat, pl. tapadást elősegítő anyagokat, viaszokat, töltőanyagokat is tartalmaznak. Szobahőmérsékleten szilárdak, magasabb hőmérsékleten viszkózus, ragadós folyadékok. Ismételt lehűtéskor megdermednek és kötnek.

Az olvadék ragasztók különböző komponensei különböző funkciókat töltenek be. A hőre lágyuló polimer vagy az elasztomer biztosítja a flexibilitást és az adhéziót. A leggyakrabban alkalmazott termoplasztok: etilén-vinilacetát, etilén-etilakrilát, poliészter, poliamid, polisztirol stb. Elasztomerek: poliizoprén, polibutadién, poliizobutilén stb. Tapadást növelő ágensek: kolofónium, fenolgyanta, kumaron-indén gyanta stb., biztosítják a primer ragasztóerőt. A viszkozitás beállítására és szabályozására paraffint vagy polietilén viaszt (kis mólsúlyú polietilént) alkalmaznak. Egyéb adalékok lehetnek még különböző töltőanyagok, továbbá antioxidánsok és stabilizátorok (1, 2, 3, 4, 6).

Ennek a ragasztótípusnak számos előnye van. Legfontosabbak a gyors kötési sebesség, a viszonylag alacsony nyersanyagköltség, az oldószer hiánya, ami kisebb berendezést és egyben a környezetszennyezés és tűzveszély megszűnését is jelenti [5]. Kedvező tulajdonságai miatt elterjedten alkalmazzák a bútor-, papír-, cipő-, textiliparban és a csomagolástechnikában.

3. A kísérleti munka

A hazai és külföldi beszerzési források felkutatása után négyféle, különböző eredetű és összetételű olvadék ragasztót alkalmaztunk. Ezek közül kettőt a VKI-ban állítottunk elő laboratóriumi kísérleteink során.

3.1 Az alkalmazott olvadék ragasztók összetétele

Etilén-vinilacetát alapú ragasztó

A HM75/XI jelű, etilén-vinilacetát alapú ragasztó a Papíripari Kutató Intézet kísérleti terméke. A ragasztó melegítéskor könnyen megömlik és a felhordáshoz szükséges kedvező viszkozitással rendelkezik. Felhordása egyszerű; kenéssel vagy az általunk kifejlesztett spirálozó berendezéssel elvégezhető. Jól tapad a polietilénhez. Zsugorításkor hő hatására ismét megömlik, kitölti a hézagokat és tömít. Az anyag tulajdonságait a 23-1. táblázatban foglaltuk össze. A tapadószilárdság meghatározását és a mérési eredményeket a 3.3 fejezetben tárgyaljuk.

23-1. táblázat

Olvadék ragasztók jellemzői

Tulajdonság	HM 75/XI Papíripari Kutató	Oppanol alapú VKI	Termoplasztikus kaucsuk alapú VKI	401—3100 ECC
Lágyuláspont, °C (gyűrűs-golyós)	90	95...99	91...93	72
ϵ permittivitás	2,4	2,5	2,6	2,9
tg δ veszteségi tényező	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$7,8 \cdot 10^{-3}$	$14 \cdot 10^{-3}$	$26 \cdot 10^{-3}$
Rezisztivitás, Ω cm	$2,3 \cdot 10^{15}$	$3,3 \cdot 10^{15}$	$5,9 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{13}$
Átütési szilárdság, kV/mm	>17	>20	20	>20

Poliizobutilén alapú ragasztó

Flexibilis komponensként különböző molekulásúlyú poliizobutilént alkalmaztunk (márkanéve: Oppanol, BASF gyártmánya). Tulajdonságait a 23-2. táblázatban mu-

23-2. táblázat

Oppanol jellemzői

Tulajdonság	Oppanol B 15	Oppanol B 50
Molekulásúly (viszkózitásból)	95 000	380 000
Viszkózitás 20 °C-on P	$5 \cdot 10^6$	$1,5 \cdot 10^9$
ϵ permittivitás 50 Hz-en (DIN 53 483 szerint)	2,2	2,2
tg δ veszteségi tényező 50 Hz-en (DIN 53 483 szerint)	$5 \cdot 10^{-4}$	$\approx 5 \cdot 10^{-4}$
Rezisztivitás, Ω cm	10^{16}	—

tatjuk be, prospektusadatok alapján [7]. A primer ragasztóhatás biztosítására fenyőgyantát, a viszkozitás beállítására polietilén viaszt használtunk. Az ömledék tulajdonságait a 23-1. táblázat tartalmazza. A ragasztó felhordása és a zsugorítás után mértük a tapadószilárdságot. A mérési eredményeket a 3.3 fejezetben tárgyaljuk.

Termoplasztikus kaucsuk alapú ragasztó

A különleges alkalmazású olvadék ragasztókkal szemben támasztott igények kiválóan elégíthetők ki akkor, ha flexibilis komponensként termoplasztikus kaucsukot alkalmazunk.

A termoplasztikus kaucsuk különleges szerkezetű blokk polimer, amelyet jelképesen $A-B-A$ elrendezéssel szemléltethetünk. Az A blokk általában olyan amorf polimer, amelynek üvegesedési hőmérséklete a szobahőmérséklet felett van. A B blokk üvegesedési hőmérséklete szobahőmérséklet alatti, tehát elasztomerről van szó. A blokkpolimerek tulajdonságai additívek, ez az oka egyedülálló viselkedésüknek. Az általunk alkalmazott termoplasztikus kaucsukban az A fázis polisztirollánc, a B fázis polibutadién (Cariflex TR 1000, Shell Chemicals gyártmány) [8], a felépítése tehát sematikusán:



ahol S a sztírol molekula;

B a butadién molekula.

A polisztirol blokkok szubmikroszkópos részecskéket, „polisztirol-doméneket” képeznek, amelyek nem folytonos fázisban foglalnak helyet, és van der Waals erővel kapcsolódnak egymáshoz. A polibutadién folytonos fázist alkot a domének között.

Szobahőmérsékleten a polisztirol kemény, üveg állapotú; az elasztomer szegmensek végét lerögzíti, és „fizikai” térhálózat hoz létre, ezáltal biztosítja a mechanikai szilárdságot. Magasabb hőmérsékleten a polisztirol viszkozózan folyós állapotba megy át, és az egész polimer folyik. A folyamat megfordítható; ismételt hűtés, ill. melegítés hatására a fizikai tulajdonságok leromlása nélkül játszódik le. A Cariflex TR 1102 tulajdonságait prospektusadatok alapján a 23-3. táblázatban mutatjuk be.

23-3. táblázat

Cariflex TR 1102 jellemzői

Tulajdonság	Érték
Szakítószilárdság (ASTM D 412—68 szerint), kg/cm ²	350
Viszkozitás 175 °C-on (Instron viszkoziméterrel mérve), P	40
Átmeneti ellenállás (ASTM D 257—61 szerint), Ω cm	2 · 10 ¹⁶
Átütési szilárdság (ASTM D 149—64 szerint; a) módszer), V	20 000

A termoplasztikus kaucsuk mellett szükség van egyéb komponensek bekeverésére is jó olvadék ragasztó előállításához. Tapadást növelő anyagként fenyőgyantát, a viszkozitás beállítására pedig polietilén viaszt alkalmaztunk. A keveréket két lépésben készítettük. A termoplasztikus kaucsuk ugyanis nem keverhető minden arányban a kis viszkozitású komponensekkel a szétválás veszélye nélkül. Először mesterkeveréket kell készíteni és a mesterkeverékből újabb keveréssel lehet elkészíteni az ömledék ragasztót. Homogén keverék készítéséhez intenzív nyíró-dagasztó erőre van szükség, ezért a keverést egy Brabender-plasztográf keverőjében végeztük, ahol 45 perces keverési idővel, 150 °C-on megfelelő homogenitást értünk el. A keverék tulajdonságait a 23-1. táblázat tartalmazza. A ragasztó felvitele és a zsugorítás után mértük a tapadószilárdságot. A mérési eredményeket a 3.3 fejezetben tárgyaljuk.

Összehasonlítás import anyagokkal

Összehasonlítás céljából megvizsgáltuk az Electronized Chemicals Corporation Europa BV cég hasonló gyártmányát (Hot-melt adhesive 401—3100). A mérési eredményeket a 3.3 pont tartalmazza.

3.2 A felvivő berendezés és technológia

Az olvadék ragasztót meleg állapotban kell a térhálós polietilén idomdarab belső felületére felhordani. Az alkalmazott hőmérséklet a könnyű felhordás érdekében feleljen meg az ömledék lágyuláspontja és viszkozitása által megszabott legkedvezőbb hőmérsékletnek. Ugyanakkor az idomdarabban közölt hőmennyiség ne legyen nagy, hogy elkerüljük a zsugorodás nem kívánatos megindulását.



23-1. ábra. Kézi felhordókészülék esőterelő tányérok bevonásához

A lehetséges felhordási módok közül a spirálalakban való felkenést választottuk. Ehhez a 23-1. ábrán látható készüléket valósítottuk meg. Egy duplafalú hengeres edényt termosztát segítségével fűtünk. Az edényt megtöltjük az olvadékkal, és dugattyú segítségével az edényhez csatlakozó alkalmas méretű kapillárison keresztül kinyomjuk a ragasztót a zsugoridom belső felületére. Közben az idomot egy csavarorsó segítségével mozgatjuk, miáltal a kettős mozgás hatására az anyag spirál vonalban kenődik fel az idom belső felületére. A kapilláris méretének, továbbá az előtolásnak a változtatásával a felvitt anyagmennyiség változtatható. A 23-2. ábra tömítőragasztóval ellátott esőterelő tányérok mutat.

A zsugoridomokat a gyakorlatban alkalmazott módszer szerint gázgővel melegítettük és egy 23 mm átmérőjű polietilén szigetelésű kábelre zsugorítottuk. Zsugorításkor a tömítő-ragasztó anyag megömlött, kitöltötte a hézagokat és a kábelt körbefolyva, záróréteget képezett a kábel és tányér között. A szilárdsági vizsgálatokat 24 órás pihentetés után végeztük el.



23-2. ábra. Tömítő-ragasztóval ellátott esőterelő tányérok

3.3 Mérési adatok és értékelés

A ragasztott kötések vizsgálatát különbözőképpen valósíthatjuk meg. Legáltalánosabb módszerek:

- a szakítószilárdság meghatározása;
- a hajlítószilárdság meghatározása;
- lefejtőerő vagy lefejtési szilárdság meghatározása.

A speciális alkalmazási példára való tekintettel egyik vizsgálatot sem tartottuk kielégítőnek, ezért egy, a gyakorlathoz közelálló, speciális vizsgálati módszert valósítottunk meg. Célunk az volt, hogy meghatározzuk azt a nyomatékot, amely a készre szerelt tányérok elforgatásához szükséges. Nyomatékkulcs segítségével nem kaptunk egzakt eredményt. A vizsgálat lefolytatásához ezért a Brabender plasztográfot használtuk fel, amelyet a 23-3. ábrán látható módon kiegészítő berendezéssel láttunk el. A készülék idő—forgatónyomaték görbét regisztrál, és ezzel szemléletessé tehetjük a forgatónyomaték változását. A kábel végét a plasztográf motorjának tengelyéhez kapcsoltuk, a tányért pedig leszorító szerkezet segítségével rögzítettük. A forgatás megkezdésekor a ragasztónak az elcsavarással szemben támasztott ellenállásától függő nyomaték lép fel, amelyet a műszer írószerkezete rögzít. A ragasztóréteg elnyírása után a nyomaték hirtelen lecsökken. A maximális forgatónyomaték alapján értékeltük a kötés szilárdságát.

A legjobb átlagértéket az import ECC ragasztó esetében (1750 m·p csúcsérték) kaptuk. A termoplasztikus kaucsuk alapú ragasztó jól megközelíti ezt az értéket (1550 m·p csúcsérték). Az etilén-vinilacetát (Papíripari Kutató Intézet) és a poliizobutilén (VKI) alapú ragasztók esetében a nyomaték kisebb (500...600 m·p). A Ma-

gyar Kábel Művek kísérleti üzemében végzett szerelési próbák során mindhárom tömítő-ragasztó alkalmasnak bizonyult a vázolt igény kielégítésére.

Az Oppanol alapú tömítő-ragasztót ott ajánljuk, ahol a mechanikai igénybevétel nem túl magas. Kiemeljük az Oppanol jó elektromos tulajdonságait, vízállóságát és kiváló adhéziós sajátságát. A termoplasztikus kaucsuk alapú tömítő-ragasztó magas kohéziójával és következképpen nagyobb mechanikai szilárdságával tűnik ki. A Papíripari Kutató Intézetben kifejlesztett ömledék ragasztó alkalmazása azzal az előnnyel jár, hogy a papíripar nagy volumenű felhasználása mellett a villamos ipar kis mennyiségű igénye könnyen kielégíthető.



23-3. ábra. A forgatónyomaték mérésére alkalmas Brabender-plasztográf

Irodalom

- [1] Venekamp, J. H.: Evolution des matières premières des résines thermoplastiques utilisées dans les revêtements et adhésifs. Double Liaison, 1975. március, 27—34. o.
- [2] Hot-melt adhesives — development and applications. Polymer Age, 1974. május, 39—40. o.
- [3] Straschill, M.: Acrylate, Methacrylate, deren Polymerisate und verwandte Produkte in Klebstoffen. Seifen-Öle-Fette-Wachse, 1975. március, 131—134. o.
- [4] Schlademan, J. A.: Hydrocarbon Resins in Hot-Melt Adhesives. Adhesives Age, 1975. augusztus, 45—48. o.
- [5] Litz, R. J.: Developments in Ethylene-Based Hot-Melt Adhesives. Adhesives Age, 1974. augusztus, 35—38. o.
- [6] Mayer, W. P., Johnston, N. W.: EEA Copolymers Extend Performance Range of Hot-Melt Adhesives. Adhesives Age, 1975. augusztus, 35—40. o.
- [7] Technisches Merkblatt: Oppanol B 15 és B 50. BASF gyártmányismertető.
- [8] Technische Broschüre RBS/73/8: Cariflex TR—1000 Polymere. Shell gyártmányismertető.

Hőre keményedő sajtolóanyag fröccsöntéskor keletkező hulladékainak hasznosítása

TALPAI JÓZSEF

ÖSSZEFOGLALÁS

A hőre keményedő sajtolóanyagok fröccsöntéssel történő feldolgozása egyre inkább terjed a hazai feldolgozóiparban is. A korszerű, nagy termelékenyséű feldolgozótechnológia kellemetlen kísérője a jelentős mennyiségű hulladékanyag. Vizsgálataink során a feldolgozógép csigahengeréből kikerült, már egyszer lasztifikált, kondenzációs gyanta alapú hulladék sajtolóanyagok újrafeldolgozásával foglalkoztunk. Mindenekelőtt a hulladékanyagok újrafeldolgozásához szükséges előkészítő műveletek módszereit határoztuk meg.

Az alapanyag- és a hulladékörlemény optimális keverési arányait, valamint a feldolgozótechnológia várható paramétereit reológiai vizsgálatokkal állapítottuk meg. Az alkatrészek és próbatestek előállításával és ezek összehasonlító vizsgálatával igazoltuk az újrafeldolgozás lehetőségét, az általunk alkalmazott technológia helyességét.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТБРОСОВ ТЕРМОСТОЙКОЙ ПРЕССМАССЫ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ШПРИЦЕВАНИИ

Й. Та.пай

Резюме

Обработка термостойкой прессмассы с шприцеванием всё более распространяется и в отечественной обрабатывающей промышленности. Неприятное следствие современной, высокопроизводительной обрабатывающей технологии — это образование большого количества отходов. Целью нашего исследования являлась повторная обработка отходов ластифицированной прессмассы на основе конденсационной смолы, выходящей из червячного пресса обрабатывающей машины. Сначала были определены методы подготовки к повторной обработке отходов.

Оптимальные отношения смешения исходной массы и измолотых отходов, а также ожидаемые параметры обрабатывающей технологии определились реологическим измерениям. Изготовление и сравнение деталей и образцов подтвердили возможность повторной обработки и правильность применимой ами технологии.

VERWERTUNG DES BEIM SPRITZGIESEN ENTSTEHENDEN PRESSTOFFABFALLS

J. Talpai

Zusammenfassung

Die Spritzguss-Verarbeitung der duroplastischen Kunststoffe (Presstoffe) findet auch in der ungarischen verarbeitenden Industrie immer grössere Verwendung. Eine unangenehme Begleiterscheinung der zeitgemässen hochproduktiven Verarbeitungstechnologie ist dagegen der Anfall erheblicher Abfallmengen.

Bei unseren Untersuchungen befassten wir uns mit der Wiederverarbeitung der aus der Schnecke der Verarbeitungsmaschine kommenden und bereits einmal plastifizierten Kondensationsharz-Pressabfälle. Vor allen Dingen bestimmten wir die Vorbereitungs-Arbeitsmethoden zur Wiederverarbeitung der Abfälle.

Es wurden die optimalen Mischungsverhältnisse des Grunostoff- und Abfallmahl-gutes, sowie die voraussichtlichen Parameter der Verarbeitungstechnologie mit reologischen Prüfungen festgestellt. Die Wiederverarbeitungsmöglichkeit und Richtigkeit der von uns angewandten Technologie wurden durch die Herstellung der Bestandteile und Prüfkörper und deren Vergleichsprüfung bestätigt.

UTILIZATION OF WASTES FROM THERMOSETTING MATERIALS FOR STAMPING BY INJECTION MOULDING

By J. Talpai

Summary

The processing of thermosetting materials suitable for stamping is coming into increasingly wide use in Hungary's processing industry, too. The up-to-date highly productive processing technology is accompanied unfortunately by a significant amount of wastes.

During our investigations we dealt with the reprocessing of wastes from stamping, having condensation resin for base, after their release from the screw roll of the processing machine. The main attention was given to determining the methods of preparatory operations necessary for the reprocessing of these wastes.

The optimum mixing rates of basic material and waste milling product, also probable parameters of processing technology have been determined by rheological tests. The production of components and test specimens and also their comparative analysis served as a confirmation of possible reprocessing and of the soundness of our technology.

1. Bevezetés

A világviszonylatban is sok problémát jelentő nyersanyagok hiánya, illetve emelkedő áraik ma már arra kényszerítik a hőre keményedő sajtolóanyagok feldolgozóit, hogy gazdaságosabban alkalmazzák az alapanyagokat. Az egyre fejlettebb feldolgozó-technológiák bevezetésén túl, jelentőssé válik a feldolgozás során képződött gyártási hulladékok felhasználásával kapcsolatos kérdések tisztázása. Mindenekelőtt tekintetbe kell venni, hogy ha egy bizonyos százalékban hulladékörleményt kívánunk feldolgozni, a gyártmányok minősége ne csökkenjen. Ha arra gondolunk, hogy a legtöbb esetben az alkatrészek szerkezetét, konstrukcióját úgy alakítják ki, hogy nagy tartalékokat tartalmazzon, akkor még bizonyos mértékben csökkent értékű hulladékok ismételt feldolgozására is reális lehetőség mutatkozik.

A hulladékok feldolgozásához elsősorban a polikondenzációs polimerek jöhetnek számításba. A polikondenzáció kismolekulájú polifunkciós vegyületek sorozatos, azaz szakaszos kondenzációjával jön létre, ezért a polikondenzáció az átalakulás stádiumában félbeszakítható és későbbi időpontban tovább folytatható. Tulajdonképpen e jelenség alapján valósul meg a sajtolóanyag előállítás is. A hulladékok képződésekor is hasonló folyamatok játszódnak le. Az előkészítő műveletek során a sajtolóanyagot megömlesztjük, tehát az további feldolgozásra kész állapotba kerül, de valamilyen technológiai problémából adódóan nem kerül be a szerszámtérbe — ahol is a teljes térhálósodási reakció lejátszódná —, így a kondenzációs folyamat újból meg-

szakad. Az így képződött hulladék előkészítő műveleteket (őrlés, homogenizálás) követően újból megömleszthető és feldolgozható. A zavartalan feldolgozás feltételezi a sajtolóanyagok egyenletes minőségét, különösen akkor, ha hulladékörleményről vagy hulladékörleménnyel kevert alapanyagról van szó. Széleskörű vizsgálatokat kellett elvégezni arra vonatkozóan, hogy a feldolgozást befolyásoló paraméterek ismeretében a hulladékok tulajdonságait megismerjük, ill. a helyes keverési arányokat megválasszuk.

2. A kísérleti munka ismertetése

2.1 A hulladékok képződése

A feldolgozási eljárások alkalmával elsősorban a fröccs-sajtolás és fröccsöntés során képződik jelentős mennyiségű hulladék.

Fröccs-sajtoláshoz az egy-egy ciklusban előállítható munkadarabok elkészítéséhez szükséges anyagmennyiség kimérését a legtöbb esetben tablettázott sajtolóanyaggal oldják meg. A tablettá alakja és tömege alkalmazkodik az adott szerszám üregéhez, ill. a munkadarabhoz. A szükséges darabszám elérése után számos esetben maradnak fenn fel nem használt tabletták. Az így összegyűlt tablettákat a továbbiakban tablettázott hulladéknak nevezzük.

Korszerűbb előkészítő művelet a csigás előképlékenyítés, amely egyesíti az adagolást és az előmelegítést. Szorosan kapcsolódik a fröccs-sajtoló eljáráshoz. Problémát jelenthet az, hogy kisebb technológiai rendellenesség esetén a képlékeny anyag térfogata szerint adagolt anyag lehűl, tehát feldolgozásra alkalmatlanná válik. Az így képződött hulladékokat a továbbiakban plasztifikált hulladéknak nevezzük.

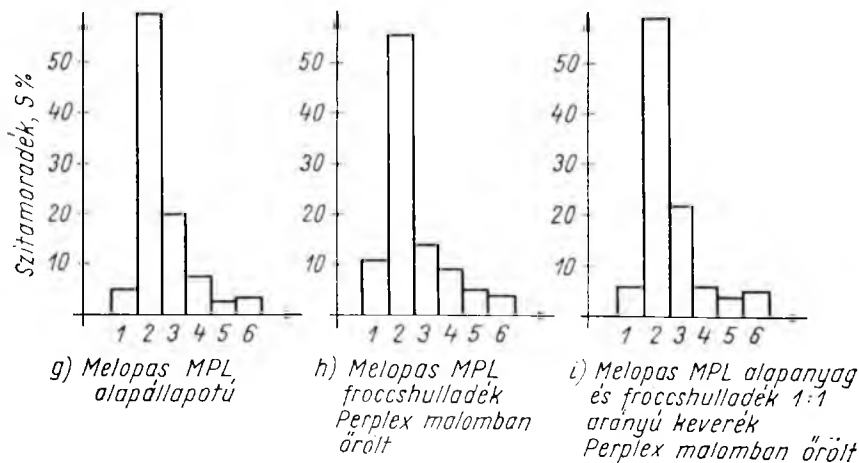
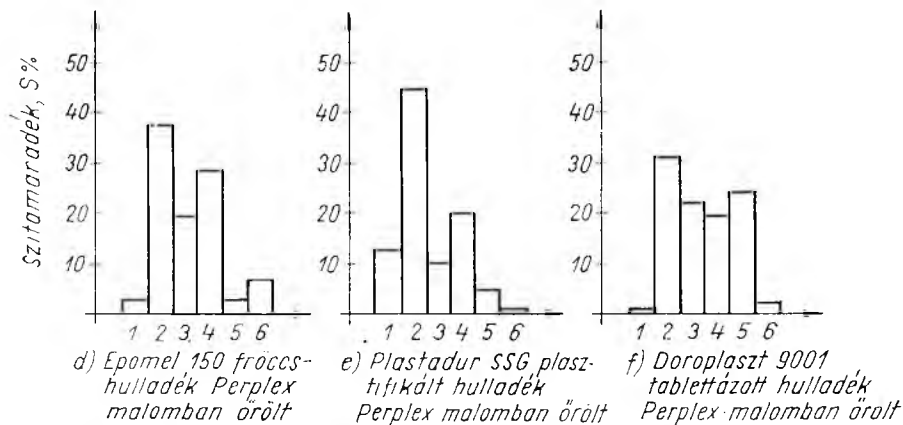
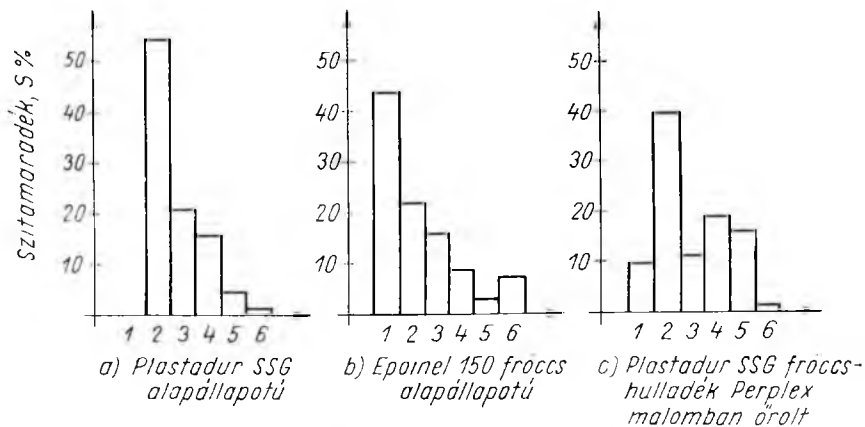
A fröccsöntés jelenleg a hőre keményedő sajtolóanyagok feldolgozásának legkorszerűbb eljárása. Leglényegesebb része a csigadugattyú, amely az előképlékenyítésen és adagoláson túl a fröccsdugattyú feladatát is ellátja. Technológiai rendellenességek esetében, gépbeállításoknál az anyagnak a csigában történő beégésének elkerülése céljából a szabadba kell fröccsönteni, így szintén jelentős mennyiségű hulladék képződik, melyet fröccs-hulladéknak nevezünk.

Ha áttekintjük a sajtolóanyag-feldolgozás műveleti feladatait, amely adagolás, képlékenyítés, alakítás, alakrögzítés és darab eltávolításból állnak, megállapíthatjuk, hogy újrafeldolgozásra csak azok a hulladékok felelnek meg, amelyek legfeljebb az adagolás és képlékenyítés műveleti ciklusán estek keresztül. A már jelentős mértékben térhálósított sajtolóanyagok, ill. a kész, de selejt alkatrészek újrafeldolgozása még előzetes őrlést követően sem lehetséges.

2.2 Őrlési kísérletek

Epomel 150 és Melopas MPL esetében a fröccsgép csigahengeréből, Plastadur SSG esetében a fröccsgép csigahengeréből és a plasztifikáló berendezésből kikerült anyagok, míg a Doroplaszt 9001 esetében tablettázott hulladékanyagok segítségével végeztünk kísérleteket.

A szállítási állapotú hulladékanyagok közvetlenül *nem alkalmasak őrléshez*. A laza szerkezetű fröccshulladék elakad az őrlőgép etetőgaratjában, míg a tablettázott és plasztifikált hulladék geometriai méreteiből adódóan okoz problémát. Az őrlőgépek folyamatos adagolásához, kedvező szemcsenagyság elérése céljából, előtörést kell alkalmazni. Az előtörést bütykös törőberendezésen hajtottuk végre. A törést az



24-1. ábra. Alapanyagok, valamint perplex malomban őrölt hulladékok szemcseeloszlása

Szemcseméret	Szemcseosztály
>2	1
0,5...2	2
0,25...0,5	3
0,125...0,25	4
0,071... 0,125	5
<0,71	6

egymással szemben forgó fogazott acélhengerek végzik. A plasztifikáló berendezésből kikerült 55 mm átmérőjű és kb. 80...150 mm hosszú anyag előtörését csak akkor tudtuk biztosítani, ha előzetesen kézi erővel vagy excenter segítségével a kedvező 35...40 mm-es méretre aprítottuk.

Az előtört hulladékanyagokkal három különböző őrlőberendezésen végeztünk kísérleteket. Kalapácsos rendszerű terménydaráló esetében a teljesítményt nem találtuk kielégítőnek, a kalapácsok erősen koptak, így a további kísérleteknél nem alkalmaztuk. Az UG 40 típusú Perplex malom sajtolóanyagok őrlésénél elterjedten alkalmazott berendezés.

A berendezésben a maximális szemcseméretet lehet csak szabályozni a behelyezett szitabetétektől függően. A kísérletek során $\varnothing 3$ mm és $\varnothing 5$ mm-es szitabetétet alkalmaztunk. $\varnothing 3$ mm-es szitabetét esetén rendkívül poros terméket kaptunk a fröccs és plasztifikált hulladéknál, míg a tablettázott hulladék beégett. $\varnothing 5$ mm-es szitabetéttel kedvező szemcseméretet értünk el sajtolóshoz, sőt fröccsöntéshez is elfogadható eloszlásban.

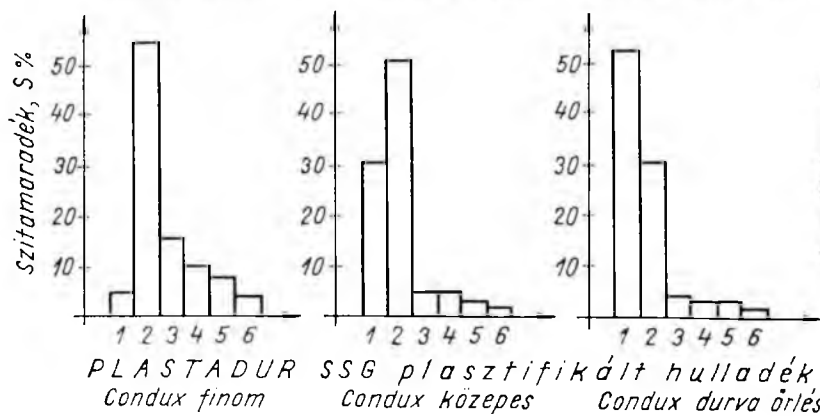
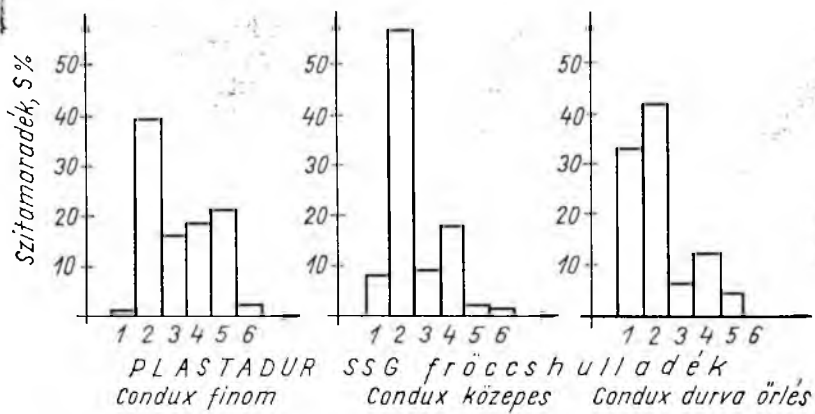
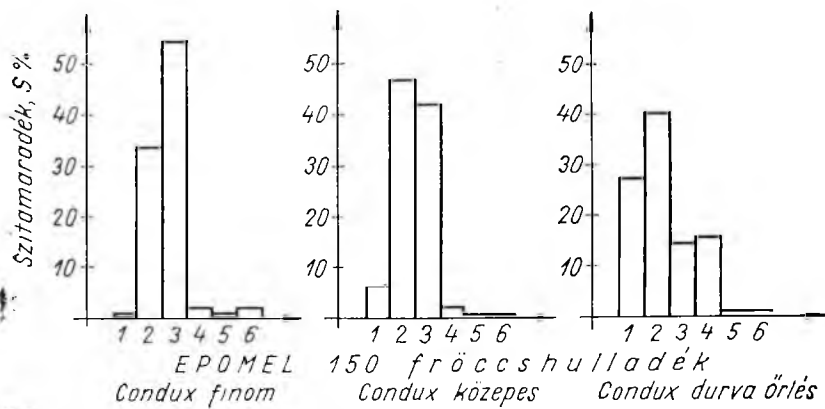
Fröccsöntéses feldolgozásnál feltétlenül szükséges, hogy az anyag zavartalanul áramoljon, „szóródjon” be a munkatérbe. A Condux rendszerű őrlőmalomok granulátumszerű szemcseeloszlást biztosítanak. A szemcseméretet, ill. a szemcseeloszlást az álló és forgó őrlőtárcsák egymáshoz közelítésével, ill. távolításával változtathatjuk. Finom, közepes és durva beállításkor végeztünk őrléseket. A súlyszázalékos szemcseeloszlást az MSZ 695 szerint határoztuk meg. A kapott értékeket a 24-1. és a 24-2. ábra szemlélteti.

A perplex malomban őrlött minták szemcseeloszlása azonos jellegű, sőt Epomel 150 fröccshulladék esetében kedvezőbb képet mutat, mint maga az alapanyag. Automata feldolgozásra is alkalmasak, különösen abban az esetben, ha alapanyagokkal keverve használjuk fel. A Condux őrlőmalomban a szemcseeloszlást tágabb határok között változtathatjuk, minimális portartalmú terméket is előállíthatunk, ha az arányokat a durvább szemcsék irányába toljuk el.

24-1. táblázat

Finom, közepes és durva szemcseméretre őrlött hulladékanyagok mechanikai és zsugorodási tulajdonságainak vizsgálata

Vizsgált minta	Az őrlés foka	Ütőhajlító szilárdság cmkp/cm ²	Hajlítószilárdság, kp/cm ²	Forma-	Utó-
				zsugorodás, %	
Plastadur SSG fröccshulladék	finom	5,7	762	0,67	0,50
	közepes	5,8	727	0,73	0,46
	durva	5,4	756	0,70	0,47
Plastadur SSG plasztifikált hulladék	finom	5,1	736	0,77	0,59
	közepes	5,2	657	0,87	0,63
	durva	5,1	661	0,84	0,76
Tablettázott hulladék	finom	6,3	785	0,66	0,34
	durva	6,0	692	0,73	0,38
Epomel 150 fröccshulladék	finom	5,4	680	0,71	1,13
	közepes	4,0	557	0,73	1,42
	durva	4,2	576	0,74	1,09
Melopas MPL fröccshulladék	finom	7,0	754	0,78	1,37
	közepes	5,6	701	0,81	1,39
	durva	5,3	674	0,74	1,31



24-2. ábra. Condux malomban különböző gépbeállításnál őrlött hulladékok szemcseeloszlása

Szemcseméret	Szemcseosztály
>2	1
0,5...2	2
0,25...0,5	3
0,125...0,25	4
0,071...0,125	5
<0,071	6

A feldolgozástechnológia szempontjából célszerűnek mutatkozik, ha egy-egy nagyobb tétel őrlését követően utóhomogenizálást alkalmazunk. Az utóhomogenizáláshoz 150 literes forgódobos berendezést használtunk. 30 perces homogenizálást követően a különböző helyekről vett minták Brabender plasztogramjában eltérést nem tapasztaltunk.

Az őrlési kísérletek során arra is választ kerestünk, hogy a különböző szemcsearányú hulladékok szemcsefinomsága befolyásolja-e a mechanikai tulajdonságokat. A kapott eredményeket a 24-1. táblázat tartalmazza. A mért értékek alapján megállapíthatjuk, hogy különösen akkor, ha a hulladékörleményeket önmagukban dolgozzuk fel sajtolási technológiával, célszerűbb a finomabb szemcseméret beállítása.

2.3 Reológiai vizsgálatok

A duroplasztok feldolgozásánál a folyóképességet és a hálósodási képességet igen sok fizikai és kémiai tényező befolyásolja. E sokféle összetevő jól reprodukálhatóan tanulmányozható a Brabender plasztográf segítségével. A plasztogramból leolvasható a sajtolóanyag megömlesztéséhez szükséges idő, a minimális és a maximális forgatónyomatékhoz tartozó idő és a forgatónyomaték nagysága. Ezekből az időkből következtetni lehet a plasztikus állapot időtartamára és a hálósodás sebességére. Az újrafeldolgozhatóság, ill. fröccsönthetőség kritériumának meghatározásában gyakorlati tapasztalataink alapján abból indultunk ki, hogy a jól fröccsönthető anyag viszkozitása alacsonyabb hőmérsékleten viszonylag nagy, a feldolgozhatóság időtartama pedig igen hosszú.

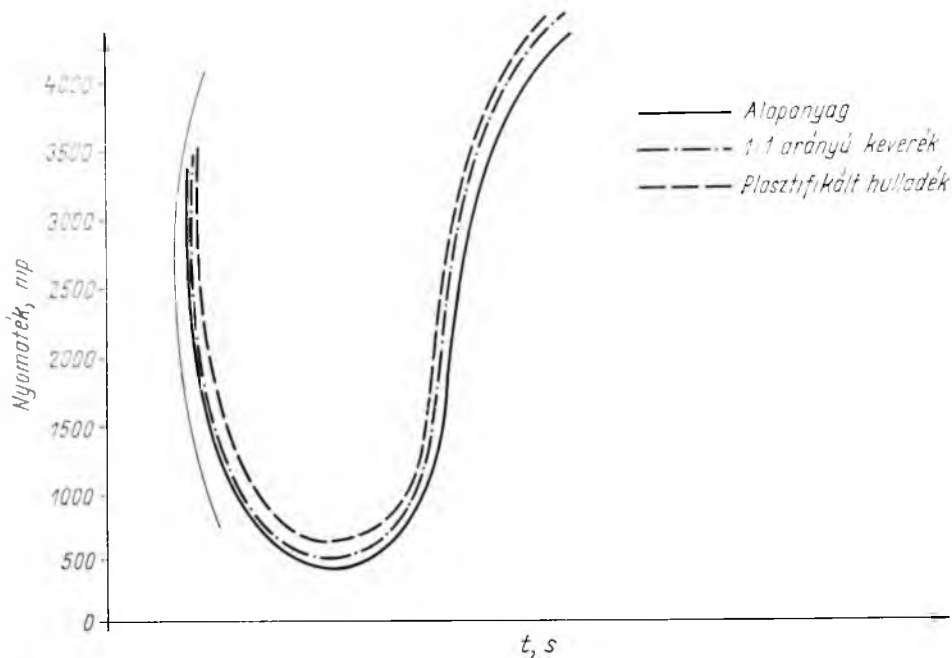
Magasabb hőmérsékleten a viszkozitás csökken, de ennél sokkal erősebben csökken a feldolgozhatóság időtartama. A feladat megoldása során 160 °C-on felvett diagramok alapján vizsgáltuk a különböző arányú keverékek folyás—keményedési karakterisztikáját az alapanyagokéhoz képest.

Plastadur SSG sajtolóanyagnál mind a fröccshulladék, mind a plasztifikáló berendezésből kikerült hulladék esetében az alapanyagával teljesen azonos lefutású görbéket kaptunk (24-3., 24-4. ábra). A feldolgozógépek csigahengerében bekövetkező plasztifikálás során a kondenzációs fokban gyakorlatilag nem történt változás. Mindezek alapján megállapítottuk, hogy ennél a sajtolóanyagnál a hulladékörlemény önmagában is alkalmas lehet fröccsöntéssel történő feldolgozásra.

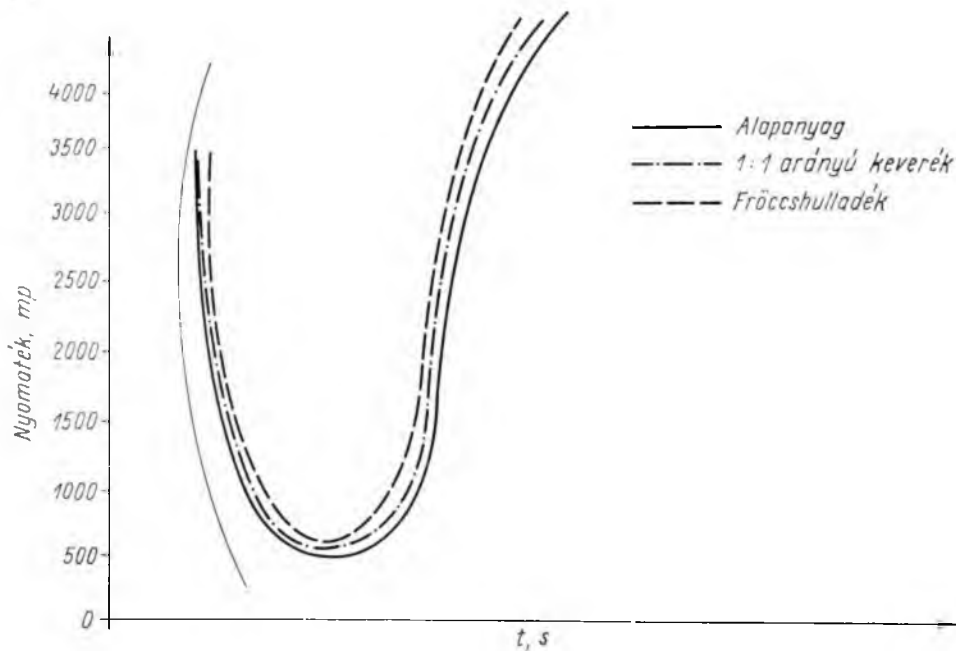
Az Epomel 150 (24-5. ábra) és Melopas MPL (24-6. ábra) sajtolóanyagok esetében a minimális forgatónyomaték változása nem jelentős, de a tartózkodási idő már igen számottevő csökkenést mutat. Az alapanyag és a hulladékörlemény 1:1 arányú keverékéről felvett plasztogram a két görbe között foglal helyet.

Kísérleteink során vizsgálatainkat kiterjesztettük a 25, 40 és 60 súlyszázalék hulladéktartalmú keverékre is. Az Epomel 150 sajtolóanyag esetében a hulladékarány növekedésével a tartózkodási idő csökken, míg a többi vizsgálati mintánál csak minimális változás tapasztalható.

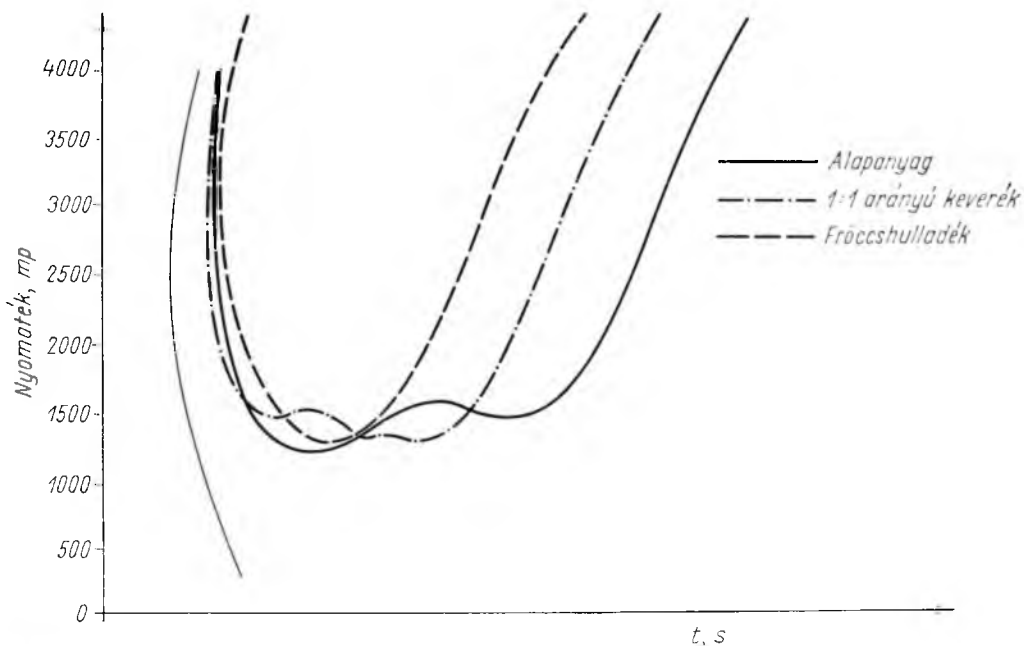
A reológiai vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a Plastadur SSG fröccs-, ill. plasztifikált hulladékörlemény akár önmagában is alkalmas fröccsöntéssel történő feldolgozásra, míg az Epomel 150 és Melopas MPL csak friss alapanyaggal történő kompaundálást követően. A biztonságos feldolgozástechnológia szempontjait figyelembe véve mégis célszerűnek láttuk, hogy fröccsöntéssel történő feldolgozáshoz Plastadur SSG sajtolóanyagnál maximum 50%, Epomel 150 sajtolóanyagnál maximum 25% hulladékarányt alkalmazzunk. Melopas MPL esetében a reológiai vizsgálatok alapján szintén lehetséges 50% hulladékarányal dolgozni. Itt problémát



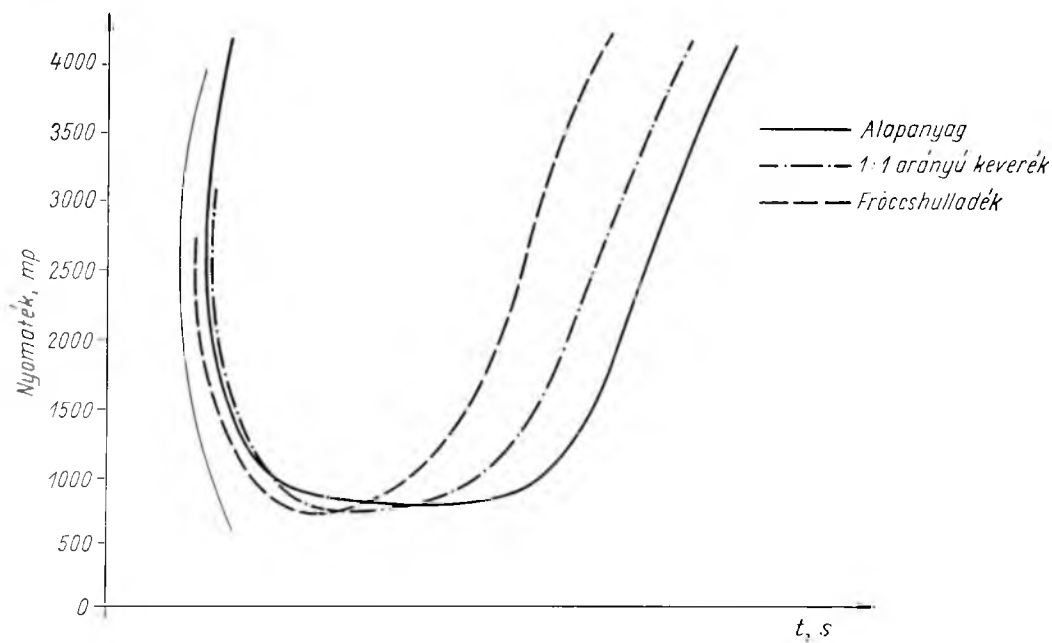
24-3. ábra. Plastadur SSG alapanyag, fröccshulladék és 1:1 arányú keverékeinek folyási—keményedési karakterisztikája



24-4. ábra. Plastadur SSG alapanyag, plasztifikált hulladék és 1:1 arányú keverékeinek folyási—keményedési karakterisztikája



24-5. ábra. Epomel 150 alapanyag, fröccshulladék és 1:1 arányú keverékeinek folyási—keményedési karakterisztikája



24-6. ábra. Melopas MPL alapanyag, fröccshulladék és 1:1 arányú keverékeinek folyási—keményedési karakterisztikája

jelenthet az, hogy a sajtolóanyag világos színű. Ha a hulladékarányt maximum 25%-ban állapítjuk meg, nagyobb a valószínűsége, hogy az esetleges szennyeződéseket a friss anyag lefedje. Sajtolással történő feldolgozáshoz mindhárom sajtolóanyagból készített hulladékörlemény önmagában alkalmas.

2.4 Összehasonlító vizsgálatok

Mechanikai és villamos tulajdonságok meghatározása sajtolt próbatesteken

Kísérleteink során legdöntőbb mértékben a mechanikai és zsugorodási tulajdonságok változásával számolhatunk, így mindenekelőtt e tulajdonságokat határoztuk meg alapanyagok, hulladékörlemények és ezek 1:1 arányú keverékei esetében. A kapott eredményeket a 24-2., 24-3., 24-4. táblázat tartalmazza. A villamos vizsgálatokra

24-2. táblázat

Plastadur SSG, Epomel 150 és Melopas MPL alapállapotú anyagokon mért mechanikai és zsugorodási értékek

Vizsgált minta	Sajtolási idő, min	Ütőhajlító szilárdság, cmkp/cm ²	Hajlító-szilárdság, kp/cm ²	Forma-	Utó-
				zsugorodás, %	
Plastadur SSG	6	5,7	735	0,78	0,60
	8	6,0	754	0,74	0,60
	10	5,8	891	0,82	0,57
Epomel 150	6	5,5	745	0,91	0,83
	8	5,5	740	0,83	0,94
	10	5,2	663	0,74	0,97
Melopas MPL	6	7,6	842	0,78	1,29
	8	7,5	826	0,76	1,35
	10	6,1	851	0,73	1,37

24-3. táblázat

Hulladékanyagok mechanikai és zsugorodási tulajdonságainak változása a sajtolási idő függvényében

Vizsgált minta	Sajtolási idő, min	Ütőhajlító szilárdság, cmkp/cm ²	Hajlító-szilárdság, kp/cm ²	Forma-	Utó-
				zsugorodás, %	
Plastadur SSG fröccshulladék	6	5,5	742	0,66	0,40
	8	5,8	749	0,65	0,34
	10	6,8	668	0,66	0,34
Plastadur SSG plasztifikált hulladék	6	5,5	719	0,74	0,43
	8	5,9	743	0,78	0,46
	10	5,6	713	0,74	0,42
Epomel 150 fröccshulladék	6	5,8	721	0,70	0,50
	8	5,9	710	0,62	0,57
	10	5,1	698	0,62	0,71
Melopas MPL fröccshulladék	6	6,5	731	0,90	1,63
	8	6,7	662	0,74	1,70
	10	5,0	697	0,84	1,75

24-4. táblázat

Hulladékok és frissanyag 1:1 arányú keverékén mért mechanikai és zsugorodási tulajdonságok

Vizsgált minta	Sajtolási idő, min	Ütőhajtó szilárdság, cmkp/cm ²	Hajlítószilárdság, kp/cm ²	Forma-	Utó-
				zsugorodás, %	
Plastadur SSG fröccshulladék 1:1 arányban homogenizálva friss anyaggal	6	5,3	749	0,78	0,58
	8	5,7	677	0,70	0,60
	10	5,7	768	0,74	0,52
Plastadur SSG plasztifikált hulladék 1:1 arányban homogenizálva friss anyaggal	6	6,1	747	0,82	0,56
	8	6,0	815	0,83	0,53
	10	6,0	733	0,78	0,47
Epomel 150 fröccshulladék 1:1 arányban homogenizálva friss anyaggal	6	5,1	705	0,83	0,84
	8	5,3	670	0,78	0,94
	10	4,6	628	0,74	0,88
Melopas MPL fröccshulladék és alapanyag 1:1 arányban homogenizálva friss anyaggal	6	7,0	796	0,84	1,46
	8	6,6	790	0,77	1,46
	10	6,4	743	0,81	1,55

24-5. táblázat

Összehasonlító villamos vizsgálatok friss anyagból, hulladékörleményből és homogenizált (1:1 arányú) kompaundból készített próbatesten

Vizsgált minta	Sajtolási idő, min	Rezisztivitás Ω cm	Dielektromos veszteségi tényező $tg \delta \cdot 10^4$	Permittivitás ϵ	Átütési szilárdság, kV/mm
Plastadur SSG alapanyag	2	$1,6 \cdot 10^{13}$	2800	10,7	6,3
	3	$1,7 \cdot 10^{13}$	2900	12,3	6,0
Plastadur SSG fröccshulladék	2	$2,5 \cdot 10^{14}$	2000	5,8	14,5
	3	$1,1 \cdot 10^{14}$	2000	6,0	12,8
Plastadur SSG plasztifikált hulladék	2	$1,0 \cdot 10^{14}$	2500	7,2	11,1
	3	$6,1 \cdot 10^{13}$	2300	7,2	10,9
Plastadur fröccshulladék 1:1 arányú keveréke	2	$8,1 \cdot 10^{13}$	2500	8,6	8,9
	3	$6,6 \cdot 10^{13}$	2800	9,5	9,2
Plastadur plasztifikált hulladék 1:1 arányú keveréke	2	$7,4 \cdot 10^{13}$	2400	8,6	8,2
	3	$7,1 \cdot 10^{13}$	2400	8,7	8,1
Epomel 150 fröccs alapanyag	2	$3,4 \cdot 10^{13}$	360	5,7	12,7
	3	$2,8 \cdot 10^{13}$	410	5,8	13,3
Epomel 150 fröccshulladék	2	$1,6 \cdot 10^{14}$	290	5,5	15,0
	3	$1,5 \cdot 10^{14}$	340	5,8	15,7
Epomel 150 fröccshulladék 1:1 arányú keveréke	2	$6,7 \cdot 10^{13}$	440	6,3	14,1
	3	$7,9 \cdot 10^{13}$	540	6,4	14,0
Melopas MPL alapanyag	2	$1,5 \cdot 10^{12}$	2300	10,5	11,7
	3	$9,1 \cdot 10^{11}$	1700	8,0	12,0
Melopas MPL hulladékörlemény	2	$7,2 \cdot 10^{11}$	2690	14,3	9,0
	3	$4,2 \cdot 10^{11}$	2900	17,6	8,8
Melopas MPL alapanyag és fröccshulladék 1:1 arányú keveréke	2	$1,0 \cdot 10^{12}$	3000	13,7	10,9
	3	$5,9 \cdot 10^{11}$	3300	15,4	9,8

vonatkozó értékeket a 24-5. táblázatban foglaltuk össze. A vizsgálati eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a feldolgozás szempontjából legkedvezőbb sajátságokkal rendelkező Plastadur SSG sajtolóanyagban mért értékek mutatják a legnagyobb szórást, elsősorban ütőhajlítószilárdság és átütési szilárdság tekintetében. Hasonlóan a reológiai vizsgálatokhoz, méréseinket itt is ellenőriztük 25%, 40% és 60% hulladékörlemény tartalmú keverékekkel is.

24-6. táblázat

Különböző hőmérsékleten fröccsöntött, alapanyagokból és hulladékörleménnyel 1:1 arányban kompaundált keverékekből készített próbatesteken mért mechanikai és szugorodási értékek

Vizsgált minta	Szerszám hőmérséklete, °C	Ütőhajlítószilárdság, cmk p/cm ²	Hajlítószilárdság, kp/cm ²	Forma- és Utó- szugorodás, %	
				Forma-	Utó-
Epomel 150 alapanyag	180	7,2	1176	0,97	1,11
	190	7,7	1294	1,05	1,09
	200	7,3	1174	0,795	1,09
Epomel 150 fröccshulladék 1:1 arányú keveréke	180	9,3	1346	1,07	1,04
	190	7,7	1198	1,05	1,14
	200	6,4	1168	0,96	1,43
Plastadur SSG alapanyag	180	7,3	1032	1,54	0,82
	190	5,8	883	1,56	0,92
	200	6,2	933	1,60	0,85
Plastadur SSG fröccshulladék 1:1 arányú keveréke	180	6,0	930	1,50	0,89
	190	6,1	886	1,52	0,89
	200	6,1	920	1,50	0,95
Melopas MPL alapanyag	180	9,7	1078	1,56	1,68
	190	7,0	1007	1,54	1,57
	200	6,6	973	1,46	1,64
Melopas MPL hulladék 1:1 arányú keveréke	180	9,3	1137	1,47	1,49
	190	8,2	1195	1,46	1,75
	200	7,9	991	1,38	1,79

Mechanikai és villamos tulajdonságok meghatározása fröccsöntött próbatesteken

Célszerűnek láttuk, hogy a valóságos feldolgozás körülményeinek megfelelően, tehát fröccsöntéssel állítsunk elő próbatesteket. A próbatesteken mért eredmények összehasonlításán túl tanulmányozni kívántuk a feldolgozástechnológiai legfőbb paramétereit is.

A henger hőmérsékletét úgy választottuk meg, hogy mindhárom sajtolóanyag esetében a szabadba fröccsöntött anyag megfelelően képlékeny legyen és végig azonos hőmérsékleten tarthassuk. A torlónyomás értékét úgy állítottuk be minden egyes anyagnál, hogy a csiga feltöltésénél csak néhány centiméter anyag áramoljon ki a fúvókán. Három különböző: 180 °C, 190 °C és 200 °C hőmérsékleten állítottuk elő a próbatesteket. A fröccsnyomást az egyes minták által megkövetelt minimum értékre szabályoztuk. A befröccsölés 3...6 s alatt megtörtént. A feldolgozástechnológiai kísérletek során előállított próbatesteken mért mechanikai és szugorodási értékeket a 24-6. táblázat tartalmazza. A mérési eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy

24-7. táblázat

Összehasonlító villamos vizsgálatok alapanyagból és hulladékörleménnyel homogenizált keverékekből fröccsöntéssel készített próbatesteken

Vizsgált minta	Szerszám-hőmérséklet, °C	Fajlagos ellenállás, Ω cm	Dielektromos veszteségi tényező $\text{tg } \delta \cdot 10^4$	Permittivitás ϵ	Átütési szilárdság, kV/mm
Epomel 150 alapanyag	180	$9,2 \cdot 10^{13}$	1420	8,1	11,2
	190	$8,7 \cdot 10^{13}$	1300	7,9	10,7
	200	$6,7 \cdot 10^{13}$	1500	8,4	10,9
Epomel 150 alapanyag 25% fröccshulladék aránnyal	180	$8,3 \cdot 10^{13}$	830	7,4	12,6
	190	$7,6 \cdot 10^{13}$	1600	8,6	11,5
	200	$3,2 \cdot 10^{13}$	2200	9,9	10,1
Plastadur SSG alapanyag	180	$8,7 \cdot 10^{12}$	2800	17,2	4,6
	190	$1,9 \cdot 10^{13}$	2800	17,5	3,7
	200	$1,2 \cdot 10^{13}$	3000	18,5	3,6
Plastadur SSG alapanyag 1:1 arányú keveréke fröccshulladékkal	180	$1,6 \cdot 10^{13}$	3200	16,8	4,8
	190	$2,2 \cdot 10^{13}$	3400	17,4	5,7
	200	$2,6 \cdot 10^{13}$	3700	18,6	4,8
Melopas MPL alapanyag	180	$7,8 \cdot 10^{12}$	1500	7,8	12,1
	190	$1,9 \cdot 10^{12}$	2300	10,1	10,6
	200	$4,5 \cdot 10^{12}$	2900	12,6	9,8
Melopas MPL 1:1 arányú keveréke fröccshulladékkal	180	$1,6 \cdot 10^{12}$	3200	14,6	9,3
	190	$6,8 \cdot 10^{11}$	3200	16,5	8,3
	200	$3,7 \cdot 10^{11}$	3000	17,7	7,4

a túl magas szerszámhőmérséklet kedvezőtlenül befolyásolja az ütőhajtószilárdságot. Ugyanezt a kedvezőtlen hatást tapasztaljuk a villamos méréseknél (24-7. táblázat) is, különösen az átütési szilárdság tekintetében. A 180 °C-os szerszámhőmérséklet mind az alapanyag, mind a hulladékörleménnyel kompaundált mintánál feldolgozástechnikai szempontból megfelelő.

Nedves-meleg vizsgálatok

Kísérleteinket kiterjesztettük a 40 ± 2 °C és 95 ± 5 % rel. légnedvességű térben történő igénybevételt követő mechanikai és villamos vizsgálatokra is. A mechanikai vizsgálatok eredményeit a 24-8. táblázat, a villamos vizsgálatok eredményeit a 24-9. táblázat tartalmazza. A vizsgálatokhoz szükséges próbatesteket sajtolással készítettük alapanyagokból és hulladékörleményekből.

A nedves-meleg vizsgálatokat azért tartottuk fontosnak, mert az igénybevétel során létrejövő szerkezeti változások hatását még feldolgozási pontatlanságok esetében is ki lehet mutatni. A mért értékek alapján megállapíthatjuk, hogy a hulladékörlemények a nedves-meleggel szembeni ellenállóképesség szempontjából azonos értékűek az alapanyagokkal. A nedves-meleg igénybevétel alatt egyhetes ciklusban ellenőriztük a vízfelvétel, ill. a hosszmeret változását. A magasabb környezeti hőmérséklet és a magas relatív páratartalom nagymértékű méretváltozást, esetenként méretnövekedést (duzzadást) idézhet elő. A különböző típusú sajtolóanyagok közül szembetűnő a Plastadur SSG az igénybevétel után igen alacsony villamos jellemzőivel.

Mechanikai tulajdonságok változása nedves-meleg igénybevétel hatására

Vizsgált minta	Igénybevételi idő, nap	Hajlító-szilárdság, kp/cm ²	Útőhajlító szilárdság, cmkp/cm ²	S vízfelvétel, %	Zsugorodás, %
Epomel 150 fröccsalapanyag	alapállapot	711	4,9		
	1	754	5,0	0,40	0,04
	4	764	5,0	1,05	0,25
	7	659	4,9	1,48	0,41
	14	538	3,2		
	21	626	5,6		
56	455	3,3			
Plastadur SSG alapanyag	alapállapot	820	5,9		
	1	834	7,4	0,33	0,11
	4	774	6,4	0,84	0,28
	7	715	6,4	1,1	0,33
	14	543	3,6		
	21	610	5,1		
56	562	4,6			
Melopas MPL alapanyag	alapállapot	790	7,3		
	1	678	7,5	0,43	0,16
	4	683	6,1	1,19	0,46
	7	633	5,2	1,37	0,55
	14	608	5,0		
	21	614	4,6		
56	607	4,1			
Epomel fröccshulladék	alapállapot	703	5,4		
	1	765	5,3	0,38	0,13
	4	646	4,9	0,93	0,24
	7	656	4,8	1,42	0,45
	14	483	3,3		
	21	648	4,5		
56	530	2,9			
Plastadur SSG fröccshulladék	alapállapot	770	5,4		
	1	805	6,5	0,27	0,08
	4	749	6,0	0,57	0,10
	7	727	6,7	0,95	0,22
	14	498	3,1		
	21	688	5,9		
56	581	4,1			
Plastadur SSG plasztifikált hulladék	alapállapot	732	6,3		
	1	706	6,2	0,22	0,08
	4	780	5,5	0,57	0,12
	7	742	6,7	0,86	0,21
	14	554	3,6		
	21	683	5,9		
56	586	4,3			
Melopas MPL fröccshulladék	alapállapot	704	5,8		
	1	662	5,5	0,57	0,16
	4	627	5,0	1,32	0,39
	7	586	5,5	1,74	0,60
	14	687	5,0		
	21	567	4,3		
56	467	4,3			

24-9. táblázat

Villamos tulajdonságok változása nedves-meleg igénybevétel hatására

Vizsgált minta	Igénybevételi idő, nap	Fajlagos ellenállás, $\Omega \text{ cm}$	Dielektromos veszteségi tényező, $\text{tg } \delta 10^4$	Permittivitás ϵ	Átütési szilárdság, kV/mm
Epomel 150 fröccsalapanyag	alapállapot	$2,5 \cdot 10^{13}$	830	6,8	12,1
	1	$5,5 \cdot 10^{11}$	1600	8,8	
	4	$7,9 \cdot 10^{10}$	2500	13,4	
	7	$2,7 \cdot 10^{10}$	2200	15,4	
	14	$1,1 \cdot 10^{10}$	2500	14,4	
	21	$1,0 \cdot 10^{10}$	1900	16,6	
	56	$1,8 \cdot 10^{10}$	2000	19,1	4,3
Plastadur SSG alapanyag	alapállapot	$1,9 \cdot 10^{12}$	2000	13,7	6,0
	1	$3,7 \cdot 10^9$	3200	23,3	
	4	$7,7 \cdot 10^8$	2600	27,4	
	7		Félvezető tovább nem mérhető		
	14				
	21				
56				1,2	
Melopas MPL alapanyag	alapállapot	$1,5 \cdot 10^{12}$	2090	11,6	11,9
	1	$6,6 \cdot 10^{10}$	3100	18,7	
	4	$9,2 \cdot 10^{10}$	2500	23,7	
	7	$1,2 \cdot 10^{10}$	2200	23,5	
	14	$9,7 \cdot 10^8$	2300	22,3	
	21	$2,5 \cdot 10^{10}$	2100	25,6	
	56	$2,6 \cdot 10^{10}$	2100	26,7	3,7
Epomel 150 fröccshulladék	alapállapot	$2,1 \cdot 10^{13}$	990	8,3	12,1
	1	$5,6 \cdot 10^{11}$	2000	10,6	
	4	$7,2 \cdot 10^{11}$	2900	13,9	
	7	$1,6 \cdot 10^{11}$	3000	16,8	
	14	$4,3 \cdot 10^{11}$	3000	16,2	
	21	$4,9 \cdot 10^{11}$	2700	20,1	
	56	$3,9 \cdot 10^{11}$	2700	22,4	6,2
Plastadur SSG fröccshulladék	alapállapot	$5,3 \cdot 10^{12}$	4100	14,1	8,3
	1	$1,5 \cdot 10^{10}$	4900	18,4	
	4	$6,8 \cdot 10^9$	4600	22,3	
	7	$2,6 \cdot 10^9$	4300	29,7	
	14	$4,7 \cdot 10^9$	3900	30,5	
	21	$2,5 \cdot 10^9$	3100	33,0	
	56	$1,3 \cdot 10^9$	3000	33,5	1,4
Plastadur SSG plasztifikált hulladék	alapállapot	$3,3 \cdot 10^{12}$	3800	14,1	7,3
	1	$6,7 \cdot 10^9$	4300	17,8	
	4	$1,1 \cdot 10^9$	3900	21,8	
	7	$8,4 \cdot 10^8$	3300	25,6	
	14	$4,5 \cdot 10^9$	3500	30,1	
	21	$5,4 \cdot 10^8$	2600	29,3	
	56	$2,3 \cdot 10^8$	3100	33,3	1,2
Melopas MPL fröccshulladék	alapállapot	$2,9 \cdot 10^{11}$	2650	17,8	8,6
	1	$3,8 \cdot 10^{10}$	2500	22,9	
	4	$2,9 \cdot 10^9$	2400	26,6	
	14	$2,0 \cdot 10^{11}$	3000	27,8	
	21	$9,4 \cdot 10^9$	2500	28,8	
	56	$9,0 \cdot 10^8$	2400	28,9	

3. Összefoglalás

Az alapanyagok, hulladékőrlemények és ezek különböző arányú keverékein elvégzett vizsgálatok azt igazolták, hogy kondenzációs gyanta alapú sajtolóanyagok automata feldolgozása során képződött hulladék visszaörlést követően alkalmasak újrafeldolgozáshoz.

A hulladékokat fajtánként elkülönítve kell gyűjteni és tárolni, gondosan ügyelve arra, hogy a feldolgozásnál használt fém segédeszközökkel és egyéb idegen anyagokkal ne szennyeződhessenek.

A kísérleti munka során mintegy 5 t hulladékanyagot öröltünk vissza, az újrafeldolgozást a hulladék keletkezését követően még 6 hónap múlva is el lehetett végezni.

A kísérleti eredmények alapján megállapítottuk, hogy fröccsöntéssel történő feldolgozásnál Plastadur SSG esetében javasoljuk a szállítási állapotú friss anyag és hulladékanyag 1:1 arányú keverékét. Epomel 150 fröccs- és Melopas MPL sajtolóanyagoknál a javasolt hulladékarány 25%.

Sajtolással történő feldolgozásnál a Plastadur SSG hulladék önmagában is alkalmazható. Az Epomel 150 fröccshulladék finom szemcsésre örölve önmagában, vagy Epomel 150 normál sajtolóanyaggal bármilyen arányban keverve feldolgozható. A tablettázott sajtolóanyagból nyert regenerált anyag újbóli tablettázását nem javasoljuk, direkt sajtolással feldolgozható.

A konkrét alkatrészek fröccsöntéssel és sajtolással történő előállításánál az általunk javasolt hulladékarányok alkalmazása mellett az üzemi feldolgozótechnológia előírásait nem kellett megváltoztatni.

A hulladék újrafeldolgozásának jelentősége túlnő a villamosipar keretein, valamennyi hőre keményedő sajtolóanyagot feldolgozó iparágban jelentkezik. Számszerű értékelésére további elemző munka szükséges.

Pneumatikus szelep húzómágnestekercsének tokozása és a gyártmány ipari bevezetése

BARDÓCZ LÁSZLÓ—ERDÉLYI FERENC

ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatóintézetekben sikeresen befejezett kutatási témák ipari hasznosítását sokszor a sorozatgyártásra alkalmas technológiák hiánya, továbbá a kutatói és az ipari szemlélet különbözősége gátolja. Intézetünk az utóbbi években sokat tett annak érdekében, hogy magáévá téve az ipar jogos igényeit több kutatási eredmény komplex felhasználásával segítse egyes vállalatok gyártmány- és gyártásfejlesztési tevékenységét.

Cikkünkben egy pneumatikus szelepet működtető húzómágnestekercsének példáján ismertetjük, hogyan sikerült a kisnyomású fröccsajtolásos tokozás hazai bevezetéséhez Intézetünkben kidolgozott anyagokra, gépekre, szerszámokra és technológiákra támaszkodva, további előkészítő és vizsgáló készülékek kidolgozásával, műszaki és szervezési intézkedésekkel eljutni a kísérletektől a tízezer darabos üzemi gyártásig.

СНАБЖЕНИЕ БРОНЁЙ КАТУШКИ СЦЕПЛЯЮЩЕГО МАГНИТА ДЛЯ ПРИВОДА ПНЕВМАТИЧЕСКИМ КЛАПАНОМ

Л. Бардоц—Ф. Эрдейи

Резюме

Промышленное использование успешно законченных научно-исследовательским институтам исследовательских тем часто затрудняется отсутствием технологии серийного производства и различием между исследовательскими и промышленными подходами. В последнее время в нашем Институте было сделано много с целью усвоения интересов промышленности и с комплексным применением результата исследования для оказания помощи в развитии производства.

На примере катушки сцепляющего магнита для привода пневматическим клапаном наша статья излагает, каким образом совершилось введение снабжения броней методом прессовки под низким давлением в отечественное производство: освоением материалов, оборудования, инструментов и технологий, разработанных Институтом, разработкой дальнейших подготовительных и испытательных оборудования, применением технических и организационных мероприятий — эксперименты довелись до 10 000—штучного заводского производства.

EINBETTEN VON ZIEHMAGNETEN EINES PNEUMATISCHEN VENTILS UND DESSEN PRODUKTIONSLEITUNG

L. Bardócz—F. Erdélyi

Zusammenfassung

Die industrielle Verwertung der in den Forschungsinstituten erfolgreich abgeschlossenen Forschungsthemen wird häufig durch den Mangel an den zur Reihenfertigung geeigneten Technologien sowie durch die unterschiedliche Auffassung (Anschauung) seitens der Forscher und der Industrie verhindert.

Unser Institut hatte in den vergangenen Jahren durch die Erkenntnis der berechtigten Wünsche der Industrie, und durch komplexe Verwendung mehrerer Forschungsergebnisse viel dazu beigetragen, dass die Erzeugnis- und Fertigungsentwicklungsarbeit einzelner Unternehmen vorankommt.

Unsere Abhandlung erläutert am Beispiel der Zugmagnetspule zur Betätigung eines pneumatischen Ventils, wie es möglich war, gestützt auf die in unserem Institut zur heimischen Einführung der Niederdruck-Spritzguss-Presskapselung ausgearbeiteten Baustoffe, Maschinen, Werkzeuge und Technologien sowie durch Erarbeitung der Vorbereitungs- und Prüfapparate und durch technische und organisatorische Massnahmen von den Experimenten bis zur betriebsmässigen Fertigung im 10 000 Stückvolumen zu gelangen.

ENCASING OF PULLING MAGNET OPERATING PNEUMATIC VALVES AND ITS INTRODUCTION INTO THE INDUSTRIAL PRODUCTION

By L. Bardócz—F. Erdélyi

Summary

Industrial use of research subjects, following their successful completion in the research institutes, is often handicapped by the absence of technologies suitable for serial production and also by differential views existing in the research and industrial fields.

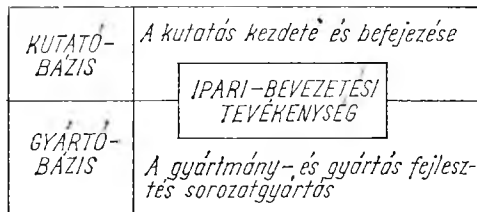
Our Institute has tried to do its best to accept the justified demand of industry and assist companies in their efforts to improve products and production.

In the present paper the winding of a pulling magnet which operates a pneumatic valve is used as an example to show how we succeeded in turning experimental work into large-scale production of some ten thousand products by relying on materials, machines, tools and technologies elaborated in our Institute for introducing at home the encasing made by low-pressure injection moulding. The picture is made complete by describing some additional devices designed for preparatory and test work, and also by mentioning some associated technical and organizational measures.

1. Kutatás — ipari bevezetés — gyártás

Az ipari kutatómunka akkor sikeres, ha a végeredményeként forgalomba kerülő termékek megkönnyítik mindennapi életünket. Az ipari kutatást hosszú és bonyolult tevékenységláncolat köti össze egy-egy új termék folyamatos gyártásával. A tevékenységláncolat különálló szakaszaiban közreműködő szakemberek egymástól többé-kevésbé független szervezetek tagjai. Az egyik szervezet a kutató-, a másik a gyártóbázis. A kutatás hatékonysága nagyrészt a két szervezet tevékenységének helyes koordinálásától függ. Ebből következik, hogy a kutatás csak akkor tekinthető befejezettnek, ha az eredmény ipari méretekben is bevezethető a gyártóbázisnál. A kérdés csak az, hol a határ a kutatóbázis és a gyártóbázis tevékenysége között.

Ma már mindenki előtt nyilvánvaló, hogy a kutatásnak ez a fajtája nem ér véget a zárójelentéssel. Az ipar már a prototípus előállítását, sőt a kis darabszámú nullszériát

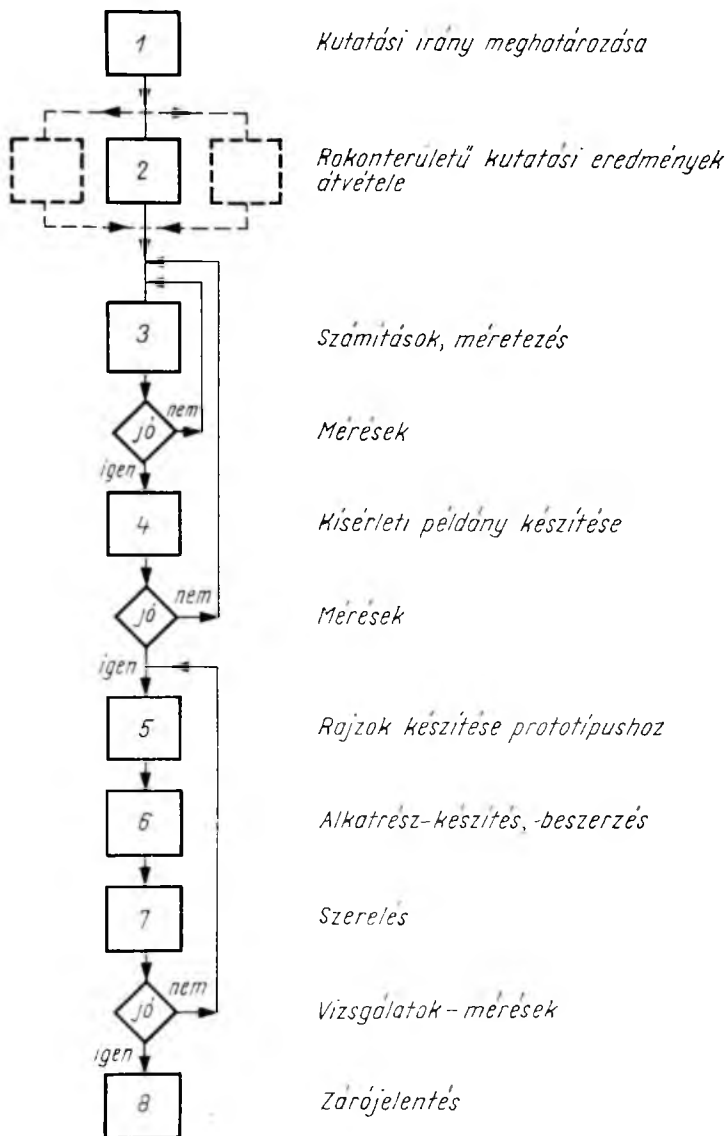


25-1. ábra. Az ipari bevezetési tevékenység célszerű elhelyezkedése

sem fogadja el a kutatómunka befejezéséül, ugyanis a nehézségek mindig akkor jelentkeznek, amikor az előállított termékmennyiség ugrásszerű megnövekedése minőségi változásba csap át. Ez akkor is így van, ha nem önálló kutatóintézet, hanem a termelővállalat kutatórészlege fejlesztette ki az új gyártmányt vagy technológiát.

A nehézségek okait kutatva, tegyük fel, hogy szubjektív tényezők nem gátolják a munkát, azaz

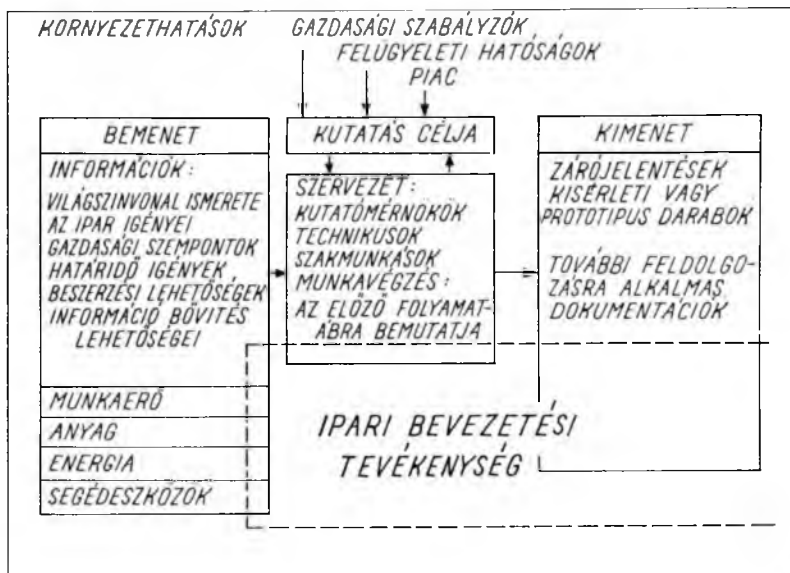
— a témára az iparnak szüksége van;



25-2. ábra. A kutatási tevékenység folyamatábrája

- a téma megoldásához szükséges anyagi és szellemi előfeltételek megvannak;
- a témával foglalkozó szakemberek és vezetőik elfogulatlanok, szakmai hiúságból nem hátráltatják kollégáik elképzeléseinek megvalósítását.

Az objektív nehézségek forrása a 25-1. ábrán szemléltetett helyzet. Látható, hogy az ipari bevezetési tevékenység mindkét bázis tevékenységében szerepel. A kutatóbázison folyó tevékenység fontosabb fázisait a 25-2. ábrán kísérhetjük végig. A folyamatábra tanulságait akkor vonhatjuk le, ha megvizsgáljuk a kutatóbázisra, mint rendszerre ható tényezőket. Ezeket a tényezőket tüntettük fel a 25-3. ábrán.

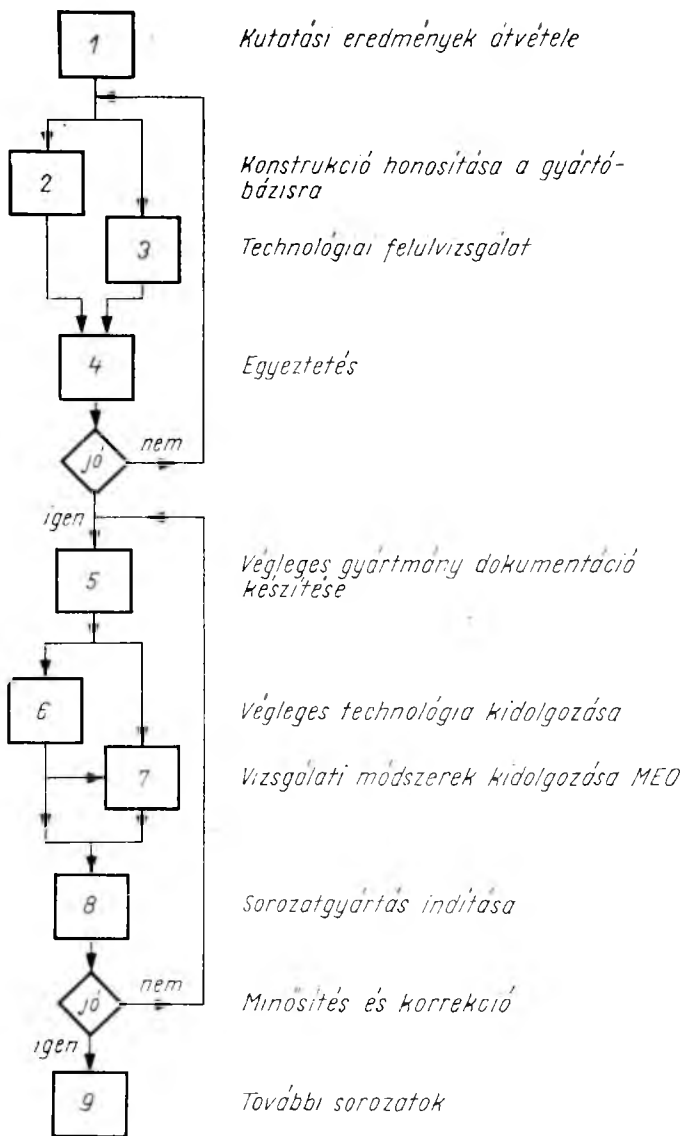


25-3. ábra. A kutatóbázis rendszere

A fő tanulság az, hogy a kutatóknak nem szabad a napi gyártási problémákkal foglalkozniuk. Célszerűbb a szó szoros értelmében vett kutatás befejeztével szellemi kapacitásukat újabb kutatási területen hasznosítaniok.

Hasonló módszerrel ismertetjük a gyártó-bázison folyó tevékenységet a 25-4. ábrán és a gyártóbázisra mint rendszerre ható tényezőket a 25-5. ábrán. Ezekből az ábrákból az derül ki, hogy a bemenő tényezők között szerepelnek a kutatási eredmények is, tehát a gyártóbázis szakembereinek a feladata a kutatási eredmények átvétele, értékelése és felhasználása. A kutató- és fejlesztőmunka különbözősége — összevetve a gyártással — óhatatlanul szemléleti különbséget alakít ki a két terület szakemberei között. Ezek feloldására olyan szervezet kellett létrehozni, amelyeknek ténykedése mind a kutatás, mind a gyártás területén érvényesül. Ebből a célból Intézetünk létrehozott egy ilyen szervet, amely szervezetileg a kutatóbázis tagja, funkcionálisan pedig a kutató és a gyártóbázis között helyezkedik el.

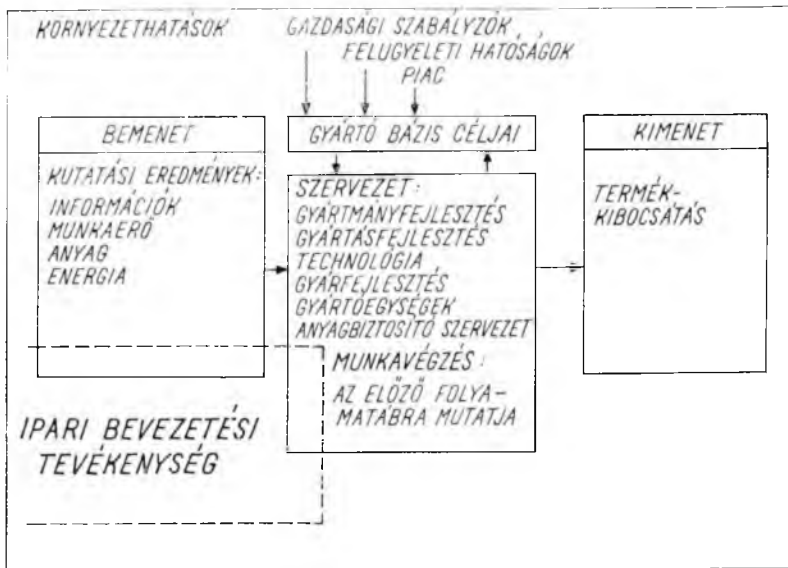
Az Ipari Bevezetési Csoport létrehozásával az Intézet megtette a kezdeményező lépést az említett nehézségek kiküszöbölésére. A következőkben ismertetünk egy sikeres gyártmányfejlesztési munkát, amely már az új szervezet közreműködésével vezetett eredményre.



25-4. ábra. A gyártóbázison folyó fejlesztés folyamatábrája

2. A „mini” húzó-mágnes

Az iparnak szüksége volt pneumatikus rendszerek vezérlésére alkalmas „mini” húzó-mágnes sorozatgyártására. Ebben a jellegzetes ipari gyártmányfejlesztési munkában komplexen használtuk fel az intézeti kutatási eredményeket és az ipari gyakorlatot.



25-5. ábra. A gyártóbázis rendszere

Kutatási eredményekből:

- villamos készülékek méretezése;
- villamos készülékek MSZ szerinti szabványos, és a megrendelők igényei szerinti különleges vizsgálata;
- szigetelőanyagok kidolgozása és feldolgozása (tokozás kisnyomású fröccsajtolással);
- a villamosiparban használatos acélok mágneses tulajdonságainak vizsgálata és mérése.

Az ipari gyakorlat alapján:

- villamos készülékek gyártástechnológiája;
- gyártórendszerek tervezése;
- művelettervezés gyártási műveleti és ütemidőkkel;
- számszámtervezés és kivitelezés;
- a sorozatgyártás vizsgálati módszerei és az ilyen vizsgálatokhoz szükséges villamos műszerek kifejlesztése és kivitelezése;
- a várható veszteségi és selejtokok feltárása;
- dokumentációkészítés az átvevő vállalatok kívánságai szerint;
- munkavédelmi utasítások.

Az ipari bevezetési csoport szakembereinek ismerniük kell a kutatási eredményeket is, és az átvevő, gyártó vállalat helyi adottságait is.

— Az átvevő vállalat adottságainak ismeretében és a gyártmány gyárthatóságának szem előtt tartásával a műhelyrendszerű gyártószervezet felépítése mellett foglaltunk állást, természetesen figyelembe véve az évi gyártandó darabszámot is.

Ezeknek az elveknek megfelelő rendszer telepítését az átvevő vállalat által kijelölt helyen gyakorlatilag is megterveztük. A technológia megtervezése során kidolgoztuk az alábbiakat:

1. A gyártás megtervezése, az alkatrészgyártás kivételével;
2. A tekercselés szerszámozása, művelettervezése — időnorma;
3. A szerelés szerszámozása, célgépesítése — időnorma;
4. A tokozás szerszámozása, célgépesítése — időnorma;
5. A gyártásközi ellenőrzés mérőberendezései;
6. A típusmérések mérőberendezései;
7. Munkavédelmi nyilatkozatok és előírások készítése;
8. Műhelyek és ütemraktárak elrendezési és berendezési tervei.

Cikkünkben közülük csupán azokra a részekre térünk ki, amelyek e téma keretében újdonságot jelentenek.

Az egyes munkafolyamatok felszerszámozásakor, a műszerezettség fokának megtervezésekor figyelembe vettük:

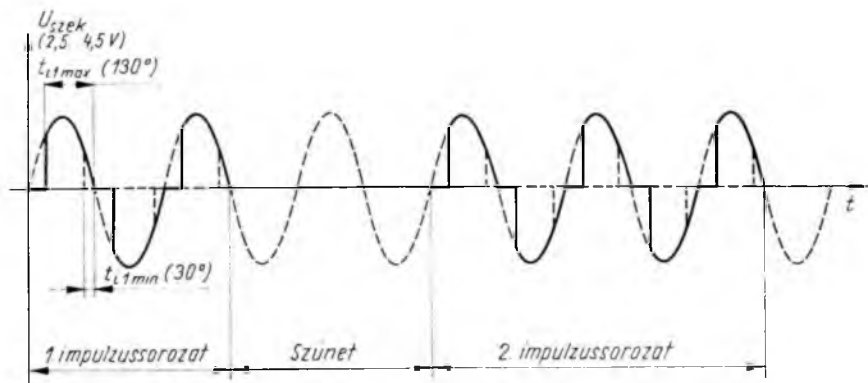
- az évenkénti darabigényt;
- a racionális megtérülési időt;
- a bővíthetőséget az évenkénti darabigény növekedése vagy azonos geometriájú, de műszakilag eltérő más gyártmányok bevezetése esetén;
- az egyszerű kezelhetőséget, hogy lehetőleg betanított munkások kezelhessék a szerszámokat, gépeket, műszereket.

A szerelés

A szerelő munkahely kialakításakor és az időszükséglet megállapításakor — a Gépipari Technológiai Intézet munkatársaival közösen — a 3M—2 módszert alkalmaztuk. A munkahely kapacitása pneumatikus vagy hidraulikus hengerek alkalmazásával, ezek megfelelő ütemű mozgatásával, továbbá a szerelés egyes fázisai között a szerelt darabok automatikus továbbításával növelhető.

E munkahelyen belül külön ismertetést érdemel a ponthegesztés megoldása. A követelmény 0,08 mm és 0,12 mm átmérőjű Mzz zománchuzalok ponthegesztése a kivezető érintkezőkre. Hosszas kísérletek után alakult ki:

- a befogókészülék célszerű kiképzése;
- a hegesztőelektródák célszerű kiképzése;
- a hegesztőelektródák megfelelő nyomása;
- a hegesztőimpulzusok számának, az impulzusok követési időinek és amplitúdóinak meghatározása.



25-6. ábra. A ponthegesztőgépen beállítható impulzusok

A kifejlesztett ponthegeesztő berendezés a szerelő munkahely beépített tartozéka, de önálló egységként is elkészíthető. Teljesítménye 8 kVA, vezérlése félvezetőkkal van megoldva, amelyek NYÁK lapokra vannak felszerelve. A 25-6. ábra mutatja a gépen beállítható hegesztőimpulzusokat. A szélsőértékek között minden érték fokozatmentesen állítható, ezért a gép sokoldalúan alkalmazható.

A tokozás

Az érzékeny villamosipari alkatrészeket szállítás, szerelés és üzemeltetés közben meg kell védeni a környezet káros behatásaitól (ütés, rázás, nedvesség, vegyi anyagok, gombák, sugárzás stb.). Jelenleg a következő védelmi technológiák ismeretesek:

- serlegezés (kiöntés olyan öntőformában, amely az alkatrészen marad);
- kiöntés szerszámban (olyan öntőformában, amelyből az alkatrészt kiemeljük);
- mártásos bevonás;
- fluidizációs bevonás;
- E—PAK módszer;
- tokozás fémházban;
- tokozás kisnyomású fröccs-sajtolással.

Mindegyik módszernek kialakult a sajátos alkalmazási területe, ezért nem versenytársai, hanem kiegészítói egymásnak, természetesen csak akkor, ha a műszaki és gazdasági szempontokat kellő gondossággal mérlegeljük. Intézetünk hazánkban az elsők között foglalkozott eredményesen a kisnyomású fröccs-sajtolásos tokozással. Ez az eljárás csakis nagy darabszámok esetén gazdaságos, de akkor sokkal előnyösebb a többinél. Előnyei:

- alkalmas a tömeggyártásra;
- termelékeny;
- a tokozott alkatrész alakja és méretei állandóak;
- a védelem megbízható.

A kisnyomású fröccs-sajtolás bevezetéséhez szükség van különleges anyagra, szerszámra, gépsorra és technológiára. Ezeket vagy importáljuk — számos hazai vállalat ezt az utat választotta — vagy előnyösebbnek tarthatjuk a hazai fejlesztést. A VKI a MÜKI-vel együttműködve és néhány hazai vállalat anyagi támogatásával a hazai fejlesztés mellett döntött. A néhány éves kutató—fejlesztő tevékenység már kezdi meghozni gyümölcsét. A közelmúltban jutottunk el néhány alkatrész tokozásánál odáig, hogy a fejlesztést azonnal követte az ipari bevezetés is [1], [2].

A tokozóanyag a VKI félüzemében gyártott Epoform 870 T, vagy 871 T típusjelzésű epoxigyantás sajtolóanyag, amely ásványi töltőanyagot és vágott üvegszálat is tartalmaz. Tulajdonságait [1] és [2] részletesen ismertetik. Megemlítjük az anyag hőállóságára vonatkozó legújabb vizsgálatokat, amelyeket az NDK-beli VEB BERGMANN—BORSIG vállalatnál végeztek. Ezek szerint az Epoform 871 T anyag IEC szerinti hőmérsékleti indexe 166 °C, vagyis $2 \cdot 10^4$ órán át ezen a hőmérsékleten tartva az anyagból készült próbatesteket, a mechanikai tulajdonságok nem változtak lényegesen. Ez az anyag abban különbözik a 870 T-től, hogy több üvegszálat tartalmaz.

Az anyag feldolgozhatósága a raktározási idő előrehaladtával romlik, különösen tablettá formájában, ezért az anyagot hűtőszekrényben — kb. 5 °C-on — kell raktározni. Ugyanez a helyzet az importanyagokkal is. A hazai anyag egyik előnye éppen a gyártás rugalmassága. A félüzem kapacitásán belül akkor és annyi anyagot bocsát a feldolgozóüzem rendelkezésére, amikor és amennyi éppen szükséges.

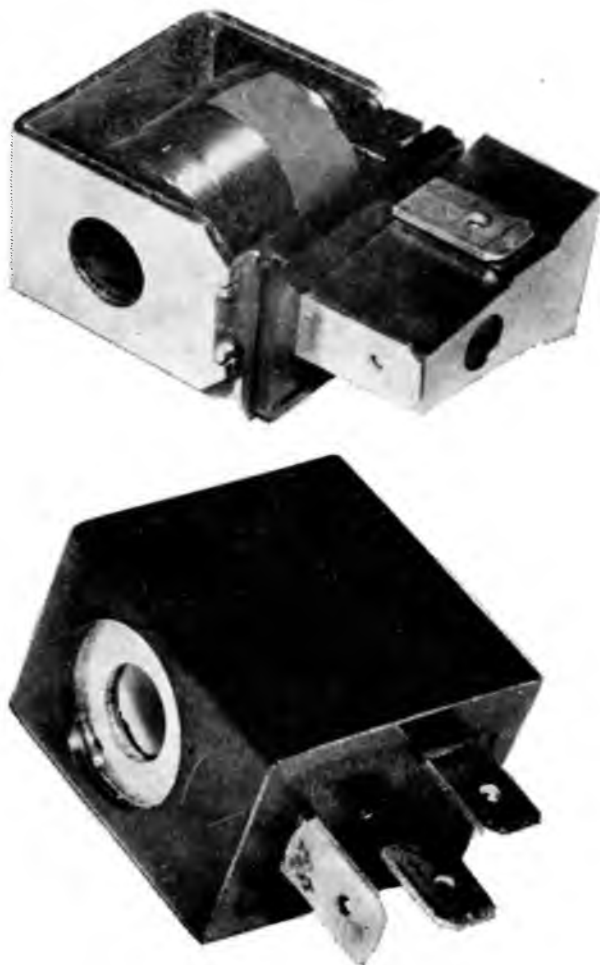
A feldolgozhatóságot részben az ún. EMMI spirál szerszámban mért spirálhosszal, részben az ún. Brabender plasztográfal lehet ellenőrizni. Ez utóbbi műszerrel

gyorsan lehet pontos eredményeket kapni, de a műszer olyan drága, hogy nem érdemes minden feldolgozóüzemnek beszerezni. Az egyszerűen előállítható EMMI-spirállal is megbízható eredményeket lehet kapni, de a rendszeres vizsgálatokhoz külön sajtológépet kell erre a célra lekötöni.

A jól feldolgozható anyag EMMI-spirál hossza 40...80 cm. Ha a spirál rövidebb, az anyag túl „kemény”, nem dolgozható fel kis nyomással, a tokozandó alkatrész megsérülhet. Ha a spirál hosszabb, légzárványok, hólyagok keletkezhetnek az anyagban.

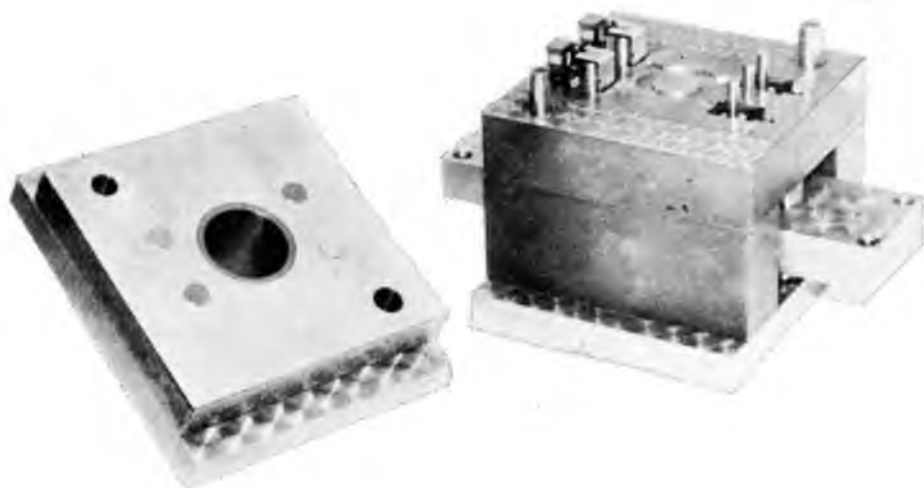
A tokozószerszám

A tokozószerszámok elvileg nem különböznek a szokványos fröccs-sajtoló szerszámoktól. A szerkesztőnek mégis vannak különleges feladatai. A hagyományos műanyag alkatrészek csak ritkán tartalmaznak fémrészeket, ha tartalmaznak is, ezek tömege elhanyagolható a műanyag tömegéhez képest. Tokozáskor fordított a helyzet.



25-7. ábra. A húzómágnes tekerce tokozás előtt és után

Nagy tömegű fémet kell aránylag kis tömegű műanyagba beágyazni. A tekercsek tokozásakor tovább bonyolítja a problémát az, hogy maga a beágyazandó szerelvény sok alkatrészből áll. Az egyes alkatrészek mérettűréseinek összegeződéséből kialakuló tűrésláncnak és a szerszám mérettűréseinek összhangban kell lenniök, mert ha a szerelvény kotyog a szerszámban, a tokozóanyag a hézagokon kiáramlik. Ha a szerelvény túl szorosan illeszkedik a szerszámba, behelyezéskor megsérülhet. A szerszámot sokszor a tokozási termelékenység rovására olyan betétekből kell összeállítani, amelyekre pl. csavarozással lehet felerősíteni a tokozandó szerelvényt. Esetünkben is ilyen megoldásra volt szükség. A 25-7. ábrán jól látható a három érintkező pontos illesztését biztosító különleges betét, amelyre csavarral rögzítettük a tokozandó szerelvényt. A csavar egyúttal megakadályozta azt is, hogy a szerelvényben levő menetes fémrészbe tokozóanyag kerüljön. A szerszámot a 25-8. ábrán mutatjuk be.



25-8. ábra. A négyfészkés tokozószerszám

A gépsor

A sajtolóanyagot csak akkor lehet kifogástalanul kis nyomással feldolgozni, ha azt nagyfrekvenciásan előmelegítjük. Ez a műanyagiparban általánosan ismert eljárás a hagyományos fröccs-sajtolásnál csupán termelékenységnövelő hatása miatt terjedt el, tokozásakor viszont nélkülözhetetlen. Por alakú sajtolóanyagot nem lehet nagyfrekvenciásan előmelegíteni, ezért tablettázásra is szükség van. A fröccs-sajtoló gép sem lehet szokványos műanyagipari gép, mert azon nem állíthatók be a szükséges kis nyomások. A gépsor tehát tablettázógépből, nagyfrekvenciás előmelegítő berendezésből és kisnyomású fröccs-sajtológépből áll. Ezeknek a gépeknek a főbb műszaki jellemzőire is ki kell röviden térnünk.

A tablettázógéppel henger alakú tablettákat kell előállítani. A szükséges nyomás szélső esetben 450 kp/cm^2 is lehet, ami $\varnothing 40 \text{ mm}$ -es tableta esetében $5 \dots 6 \text{ Mp}$ nyomóerőnek felel meg. A termelékenység itt nem döntő, mert a leglassúbb gépek kapacitása is bőven fedezi két-három fröccs-sajtológép igényét is.

A nagyfrekvenciás előmelegítő frekvenciája lehetőleg 80 MHz legyen, de még 30 MHz is megfelel. A nagyfrekvenciás teljesítmény lehetőleg 4 kW , de legalább

2 kW, a beállítható ciklusidő 5...60 s, az elektróda mérete legalább 150×150 mm legyen.

A *kisnyomású fröccs-sajtológépet* [1] már ismertette. Az újabb gépek lényegileg nem változtak, csak korszerűsítettük azokat, főleg munkavédelmi és kényelmi szempontokból. Pl. beszereltünk a gépbe egy olyan kapcsolóórát, amely a fűtést előre beállítható időpontban bekapcsolja, így a munkaidő kezdetekor a szerszám már kellő hőmérsékletű, késedelem nélkül meg lehet kezdeni a tokozást.

A technológia beállítása két fázisra bontható. Vannak olyan jellemzők, amelyek csak a munkadarabtól, és olyanok is, amelyek az anyag folyóképességétől is függenek. Ez utóbbiakat minden új anyagtételnél felül kell vizsgálni, esetleg módosítani.

Csak a munkadarabtól függő jellemzők:

- a tablettá geometriai méretei;
- a tablettá tömege;
- a tokozandó szerelvények előmelegítésének ideje (a zárt szerszámban);
- a szerszám hőmérséklete;
- az érési idő.

Az anyag folyóképességétől is függő jellemzők:

- a nagyfrekvenciás előmelegítés ideje;
- a befröccsöntő erő (a fröccs-sajtoló nyomás);
- a befröccsöntés időtartama.

Ki kell emelni a tokozást megelőző műveletek fontosságát. Csak kifogástalanul előkészített, mérettűrésen belüli szerelvényeket lehet folyamatosan tokozni. Szerelési gondatlanság, tekerceselési rendellenességek, mérrethibás alkatrészek gondos tokozási munka során csak a ciklusidőt növelik, de ha a tokozást végző dolgozó is gondatlan, a hibás szerelvények tönkretelhetik a drága szerszámokat is.

A minőségellenőrzés szempontjai és ellenőrző berendezései

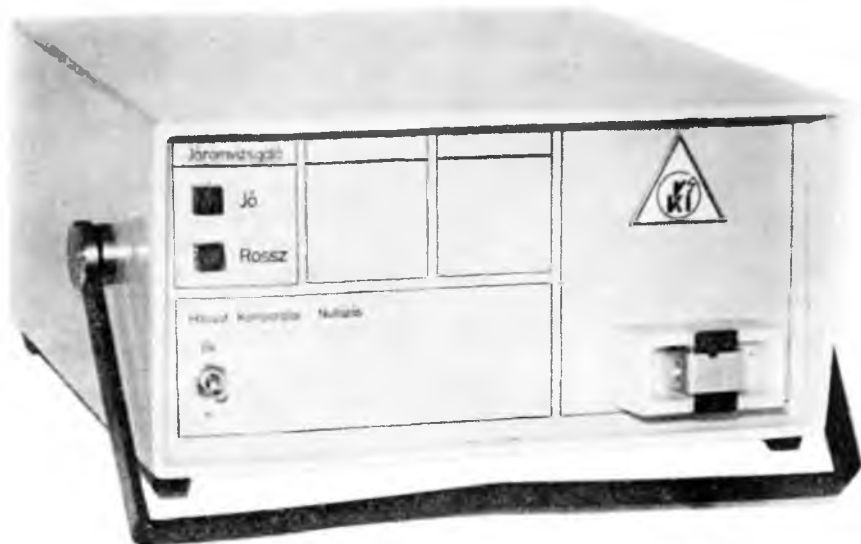
A gyártmány minőségének ellenőrzése feleljen meg mind az alkatrészgyártásnál, mind a gyártásközi ellenőrzésnél a tömeggyártás jellegének. Az alkatrészgyártás méretellenőrzését a gyártó vállalat oldja meg. Az Intézet feladata:

- a járom mágneses tulajdonságainak ellenőrzése;
- a tekerceselés ellenőrzése tokozás előtt ellenállás és menetzárlat szempontjából, továbbá méretellenőrzés;
- ugyanezek tokozás után, majd a villamos szilárdság vizsgálata az MSZ 4835 szerint.

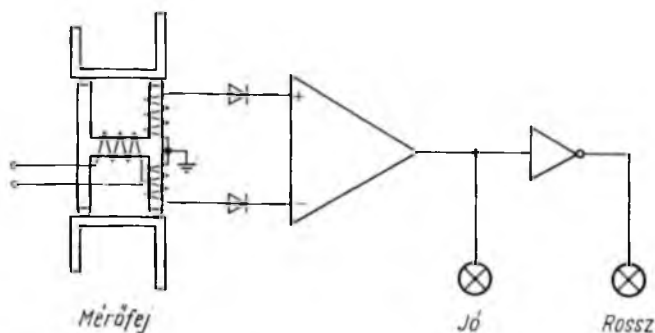
A tömeggyártás jellegének megfelelő darabvizsgálat során fő szempontnak tartottuk, hogy a vizsgálatokat betanított munkaerő rövid idő alatt végezhesse el. Ezeknek megfelelő kiképzésűek a mérőműszerek is. A vizsgálandó darabot befogó-készülékbe helyezük, s a műszer csak „jó”, ill. „nem jó” jelzést ad, zöld, ill. piros lámpa felvillanásával. A műszer a hátlap leszerelése után hitelesíthető, amelyet szakember tud elvégezni. A járomvizsgáló a 25-9. ábrán, a blokkvázlat a 25-10. ábrán látható.

A 25-11. ábra és a 25-12. ábra ugyanilyen módszerrel mutatja azt a kombinált műszert, amely a tekeres külső átmérőjének és ellenállásának mérését, valamint a menetzárlat vizsgálatát végzi. A mérések sorrendben kézi működtetéssel vagy egy átkapcsolással automatikusan végezhetőek.

A 25-13. ábrán az ellenállás- és menetzárlat-vizsgáló berendezés látható. A végellenőrző berendezés lényegében a műszerek egyetlen egységbe beépített sorozata (24-14. ábra). A teljes mérőműszer sorozathoz még több egység tartozik, melyeket azonban helyszűke miatt nem ismertetünk.



25-9. ábra. A járom mágneses tulajdonságait vizsgáló készülék



25-10. ábra. A járom mágneses tulajdonságait vizsgáló készülék elvi vázlata

3. Összefoglalás

Az ismertetett berendezések üzemzerű felhasználásával elkészült az első 60 000 db-os széria, s így a fejlesztés a gyártmány egy típusára befejeződött. A gyártó vállalat Intézetünk kutató—fejlesztő munkájával rövid idő alatt olyan műszakilag kiváló eredményhez jutott, amely úgyszólván egy csapásra megteremtette az új gyártmány gyártási feltételeit. A kutatásban részt vett: a 4. főosztály, az 1. főosztály és a Műszaki Főosztály Műszerügyi Szolgálat. A fejlesztésben részt vett és az ipari bevezetést megvalósította a Műszaki Főosztály Ipari Bevezetési Csoportja és Központi Szerkesztése. A kivitelezés a Műszaki Főosztály Műszerügyi Szolgálatánál és Központi Kísérleti műhelyében történt.

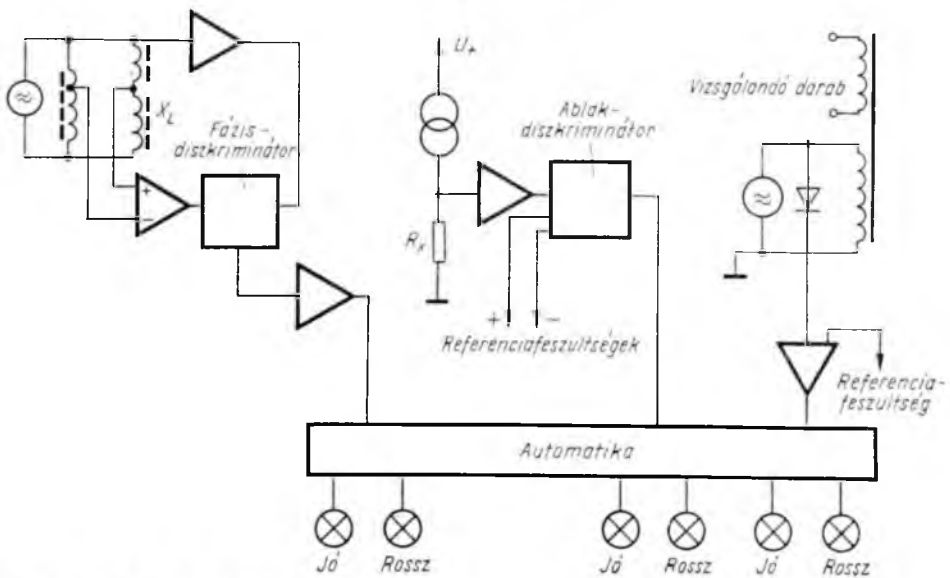


25-11. ábra. A kombinált műszer fényképe

Tekercs külső átmerőjének mérése

Ellenállásmérés

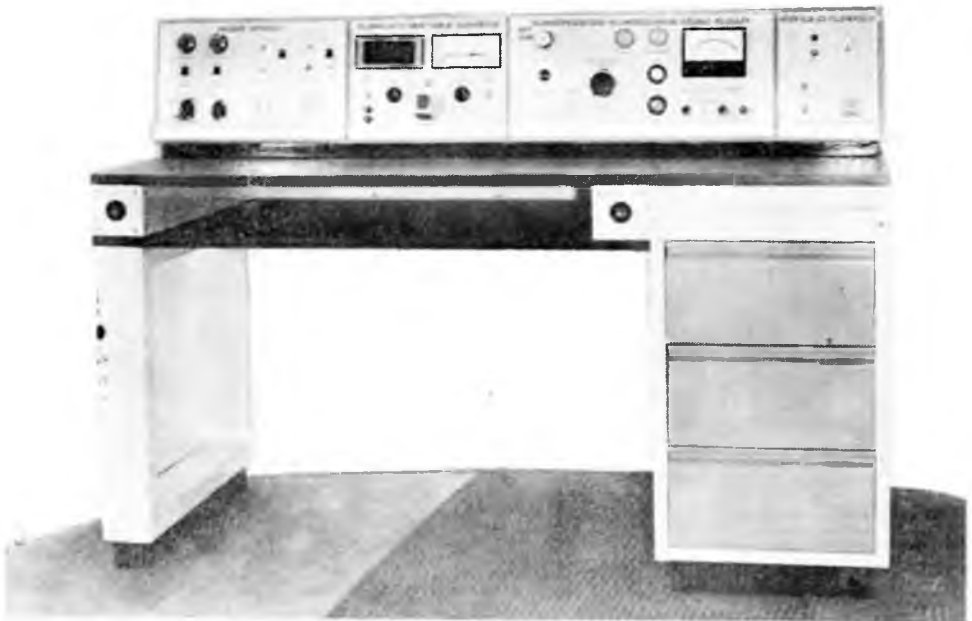
Menetzárlat-vizsgálat



25-12. ábra. A kombinált műszer elvi vázlatja



25-13. ábra. Az ellenállás- és menetzárlat-vizsgáló készülék



25-14. ábra. A végellenőrző műszerasztal fényképe

Irodalom

- [1] *Dr. Mészáros József*: Korszerű technológia áramköri elemek tokozására, kisnyomású sajtolóanyagokkal. VKI Közl. 4. kötet 3. cikk.
- [2] *Dr. Fazekas Gáborné – Talpai József*: Eposigyanta alapú villamosipari sajtolóanyagok fejlesztése és alkalmazastechnológiai problémái. VKI Közl. 5. kötet 7. cikk.

MÉRÉSTECHNIKA

Hengerszimmetrikus, nagy hőmérsékletű gázáramok vizsgálata holografikus interferometriával

PILINYI ANDRÁS—TANOS ERVIN

ÖSSZEFOGLALÁS

1974 óta foglalkozunk magnetohidrodinamikus plazmák holografikus interferometriai vizsgálatával. Az MHD modellanyag 1000...3000 K-es argon gáz volt. A zárt kerámiacsőben áramló meleg gázzal impulzus rubinlézer segítségével készítettünk ún. kettős expozíciójú holografikus interferogramokat. Ezen az úton a plazmáról egy csikos „fényképet” kapunk. A csikrendszer kiértékelésére kidolgoztunk egy új matematikai módszert, amelyet közelítő Fourier-inverzióknak neveztünk el. A módszer segítségével a gázáram paraméterei 5...10%-os pontossággal számíthatók.

ИСПЫТАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ С ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИММЕТРИЕЙ С ПОМОЩЬЮ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

A. Pilinyi—Э. Танос

Резюме

Испытанием МГД плазмы с голографической интерферометрией занимаемся с 1974 года. Модельному веществу в МГД применялось аргонный газ с температурой 1000...3000 К. Голографические интерферограммы теплого газа, протекающего в закрытой керамической трубке, снялись с так называемой двойной экспозицией с помощью импульсного рубинного лазера. Таким путём плазма изображалась в виде полосатой фотоснимки. Для анализа систем полос разработан нами новый математический метод, который назван итеративным преобразованием Фурье. С помощью изложенного метода параметры газового потока вычисляются с погрешностью 5...10%.

UNTERSUCHUNGEN AN ROTATIONSSYMMETRISCHEN HEISSER GASSTRÖME DURCH HOLOGRAPHISCHE INTERFEROMETRIE

A. Pilinyi—E. Tanos

Zusammenfassung

Seit 1974 werden die MHD Plasmen in VKI durch holographische Interferometrie untersucht. Bei den Prüfungen ist Argon von 1000...3000 K als MHD Modellgas benutzt worden. Im Laufe der Untersuchungen wurde die sog. Doppelbelichtung-Technik mit Hilfe eines Impuls-Rubinlasers angewandt. Zur Bewertung des mit dieser Methode erhaltenen streifigen Bildes von Plasma wurde ein neues mathematisches System erarbeitet, das von den Verfassern als angenäherte Fourier-Inversion bezeichnet wurde. Mit dieser Methode lassen sich die Parameter des Gasstromes mit 5...10% Genauigkeit errechnen.

INVESTIGATION OF HIGH-TEMPERATURE CYLINDRICAL SYMMETRIC GAS BEAMS BY HOLOGRAPHIC INTERFEROMETRY

By A. Pilinyi—E. Tanos

Summary

Since 1974 we have been dealing with the investigation of MHD plasmas by using methods of holographic interferometry. The MHD model material used was argon gas at temperatures of 1000...3000 K. Using the impulse ruby laser so-called double-exposure interferograms were made about the hot gas flowing in a closed ceramic tube. In this way a striped "photograph" was obtained of the plasma. In order to evaluate the stripe system a new mathematical method has been elaborated called by us "approximate Fourier inversion". By this method we are able to calculate the parameters of gas flows with accuracy of 5...10%.

1. A kutatási munka célja és kezdeti eredményei

Az OMFB és az MTA megbízásából 1973-ban kezdtük el az „MHD plazma vizsgálatára szolgáló diagnosztikai módszerek és mérőeszközök kutatása” című témát. A munka első fázisában a kitűzött cél a különböző helyeken folyó, MHD erőművek fejlesztésének irodalmi szintű megismerése volt, különös tekintettel az erőmű plazmájának vizsgálatára szolgáló diagnosztikai módszerekre. Az első ütemben végzett munkákról tanulmány készült, amely az általánosan használt, valamint a lehetséges diagnosztikai módszerek leírását és kritikai összehasonlító elemzését tartalmazza [1]. Az elemzés megállapítja, hogy a perspektivikusnak tekinthető holografikus interferometria plazmadiagnosztikai célokra történő alkalmazása még igen kezdetleges stádiumban van és javasolja e módszer kifejlesztését, ill. MHD plazmák diagnosztikájára történő adaptálását.

A további kutatások 1974—75 folyamán ezen a területen és a kiegészítő ellenőrző módszerek, és elméleti számítások területén folytak [2].

2. A törésmutató és a plazmaparaméterek összefüggése

A holografikus interferometria az n törésmutató értékére ad felvilágosítást, ezért elsősorban ismerni kell a törésmutató összefüggését a megfelelő paraméterekkel. A legegyszerűbb modell szerint a törésmutató a különböző komponensek járulékából additíven tevődik össze:

$$n - 1 = 2\pi \sum n_i \alpha_i,$$

ahol n_i az i -edik komponens részecskesűrűsége és α_i a polarizálhatósága. Jelen esetben a különböző gerjesztettségi állapotban levő atomok, argonionok, nitrogén molekulák és az elektronok járulékát kell figyelembe venni. A részletesebb, lokális termodinamikai modellen alapuló számítások szerint csak a különböző gerjesztett állapotban levő, semleges argonatomok járulékát kell figyelembe venni. Ezen túlmenően, a törésmutató és a semleges argonatomok sűrűsége — ami lényegében a plazma sűrűségével azonos — között lineáris összefüggés van:

$$n = 1 + \beta \frac{\rho}{\rho_s},$$

ahol β a Gladstone—Dale konstans,
 ρ_s a referenciasűrűség.

Ebből látható, hogy n mérésével közvetlenül a ρ sűrűsége kaphatunk információt.

A kutatás során felmerült a törésmutató hőmérsékletfüggésének kérdése is. Ez lényegében a Gladstone—Dale konstans hőmérsékletfüggését jelenti. A kérdés vizsgálata során a következő modellt alakítottuk ki: tekintsük egy i fajta gáznak az i -edik gerjesztettségi állapotban levő semleges argon atomok összességét, mivel jelenleg csak ezek vizsgálata szükséges. Az i -edik gázfajta n_i sűrűségét — amely a Boltzmann-eloszlásból határozható meg — és α_i polarizálhatóságát — amely elméleti számítások és mérések útján határozható meg — a törésmutató additivitási törvényében felhasználva, megkapjuk a T hőmérsékletű és tetszőleges minőségű gáz törésmutatóját. A modell szerint az α_i polarizálhatóságok azért különböznek egymástól, mert a polarizálhatóság számításánál használatos összefüggésben (diszperziós összefüggés) szereplő abszorpciós és emissziós oszcillátorerőségeket az atom állapotától függően kell figyelembe venni, azaz hol az abszorpcióval, hol az indukált emisszióval kell számolni. Klasszikus fizikai képen erre a gerjesztések során létrejövő új töltéseloszlás más polarizálhatósága ad magyarázatot. A számítások során abba a nehézségbe ütköztünk, hogy az argon két rezonanciavonalának oszcillátorerősségére még a legújabb irodalom sem ad tájékoztatást, ezért a számításokat egy egyszerűsített modell keretében végeztük el. Ennek során feltételeztük, hogy az 1000...3000 K tartományban a semleges argonatomok feldúsulnak a $3^{\circ} P_2$ állapotban. Az így kapott eredmények szerint 3000 K-ig az argon törésmutatója lényegében hőmérséklet-függetlennek tekinthető.

3. Plazmamodell

A kutatásokat több párhuzamos irányban folytattuk. Első helyen kell említeni a kifejlesztett modellesatornában áramló plazmagázra vonatkozó számításokat. E számítások során a magnetohidrodinamika jól ismert egyenleteiből indultunk ki. A kezdeti eredmények azt bizonyították, hogy — mivel a plazma vezetőképessége kicsi — elegendő a hőmérsékletfüggő hidrodinamikai egyenleteket használni. Ennek segítségével levezettünk egy összefüggést a vizsgálandó plazma hőmérséklete és sűrűsége között, ez azonban a gyakorlat számára túl bonyolultnak bizonyult. Ezenkívül, az időközben elvégzett mérések arra utaltak, hogy a modellesatorna belsejében lényegében a környezeti 10^5 Pa nyomással megegyező, homogén nyomáseloszlás van.

A továbbiakban a $p = \text{konstans}$ feltevés mellett az ideális gáz $p = \rho \cdot \frac{R}{M} T$ egyenletét használtuk. Az ideális gáz feltevés egyébként a számítások szerint kb. 2% pontossággal használható. A modellesatorna hengeres lévén, hengerszimmetrikus áramlást tételeztünk fel és az ismeretlen $\rho(\mathbf{r})$ és $T(\mathbf{r})$ paramétereket a hengerkoordinátáknak megfelelő r és z függő bontásban $\rho(\mathbf{r}) = \rho(r) \cdot \rho(z)$ és $T(\mathbf{r}) = T(r) \cdot T(z)$ alakban kerestük. Ennek megfelelően a $\rho(r) = \frac{pM}{R} \cdot \frac{1}{T(r)}$ és a $\rho(z) = \frac{1}{T(z)}$ összefüggéseket használtuk. A mérések tanúsága szerint ez a modell néhány százalékos pontossággal leírja a valóságot. Látható továbbá, hogy a hőmérséklet-eloszlás mérésével módunk van az interferometrikus mérések ellenőrzésére, mivel

$$n(\mathbf{r}) = 1 + \frac{pM}{\rho_s R} \cdot \frac{1}{T(\mathbf{r})}$$

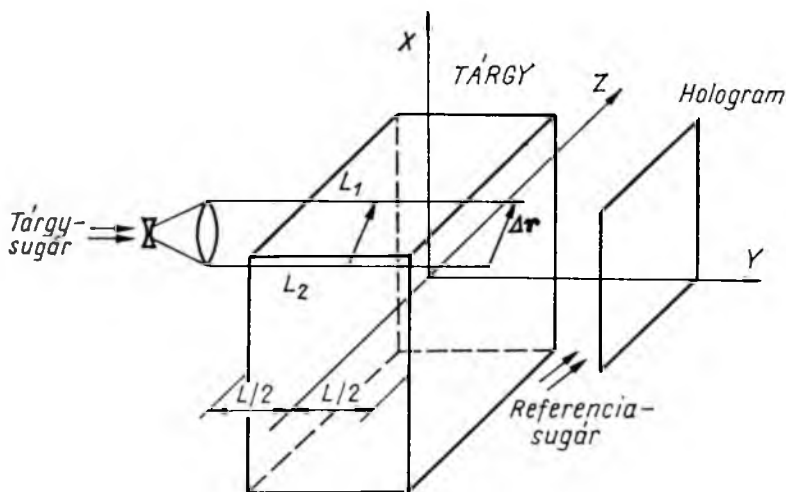
4. A törésmutató kiértékelése a csíkrendszerből

Az irodalmi adatok alapján megállapítható, hogy átlátszó, ún. fázistárgyak törésmutatójának térbeli eloszlását az interferenciacsík-rendszerből lényegében kétféle módon lehet meghatározni. Az egyik módszer szerint, feltételezve valamilyen szimmetriát vagy konkrét eloszlást, a csíkrendszerből kapható integrált fázisfüggvényt invertálják. Ehhez az ismert inverziós eljárások esetében a fázistárgy teljes keresztmetszetének ismerete szükséges.

A másik eljárás szerint — és ez sokkal biztosabb módszer — több irányból felvett interferogramokat értékelnek ki. Ez lényegében azt jelenti, hogy a vizsgált tárgyról viszonylag nagy, matematikai számítások szerint min. 45° -os látószögben kell hologramot készíteni, úgy, hogy mindig a teljes keresztmetszet legyen látható a látószög változása esetén is.

Az MHD csatornák geometriája miatt nem biztosítható a 45° -os látószög, sőt az egyetlen lehetséges irányból vizsgálva még a teljes keresztmetszet sem látható (az optikai ablakok a csatorna belső keresztmetszeténél sokkal kisebbek), ezért a módszer alkalmazásának alapfeltétele a matematikai inverziós módszer fejlesztése.

Az általunk vizsgált plazmák egy zárt kerámia csőben áramlottak. A fénysugár áthaladását optikai minőségű kvarc ablakokkal biztosítottuk, amelyek a tényleges MHD csatornához hasonlóan kisebbek voltak, mint a cső teljes keresztmetszete. Kidolgoztunk egy új matematikai inverziós módszert, amelyet „közelítő Fourier-inverzióknak” neveztünk el. A mi módszerünket használva nem szükséges a fázistárgy teljes keresztmetszetének ismerete, alkalmazásának feltétele azonban, hogy a fázistárgy valamilyen szimmetriával rendelkezzen.



26-1. ábra. A holografikus felvétel elvi felépítése

Az inverziós módszert alkalmazzuk egy kettős expozíciójú hologram kiértékelésére, amely hologramot a 26-1. ábra szerinti elrendezésben, egy síkokkal határolt fázistárgyról készítettünk. Ha az interferogram sötét és világos csíkjainak középvonalán vesszük fel az adatpontokat, akkor törésmentes határesetben az S optikai út-

hosszakra kapjuk:

$$S_1 = \int_{L_1} u(\mathbf{r}_1) ds = (K+1) \frac{\lambda}{2},$$

$$S_2 = \int_{L_2} u(\mathbf{r}_2) ds = K \frac{\lambda}{2},$$

$$u(\mathbf{r}) = n(\mathbf{r}) - n_0, \quad (1)$$

ahol K egy konstans,

λ a fény hullámhossza és $u(\mathbf{r})$ a tárgy törésmutatója egy n_0 referenciaterhez viszonyítva. A levezetés során felhasználtuk azt a feltevést, hogy $S_1 > S_2$, azaz az optikai úthosszak monoton változnak. Sorba fejtve S_1 -et, lineáris közelítésben kapjuk:

$$S_1 = \int_{L_2} u(\mathbf{r}_2) ds + \int_{L_2} \Delta \mathbf{r} \nabla u(\mathbf{r}_2) ds, \quad (2)$$

ahol $\Delta \mathbf{r} = (\Delta x; 0; \Delta z)$ ahogy a 26-1. ábrán látható. Ezt felhasználva a módszer alapelvét kapjuk:

$$S_1 - S_2 = \frac{\lambda}{2} = \int \nabla u \cdot \Delta \mathbf{r} ds. \quad (3)$$

Használjuk ki a fázistárgy szimmetriatulajdonságát. Legyen:

$$y = g(r, x) \quad (4)$$

azon görbék egyenlete, amelyek mentén az u függvény konstans, $u = u(r, z)$. Itt r egy paraméter, amely az y tengely mentén az origótól mért távolságot jelenti. Más szavakkal, egy adott (x, y) pontra az

$$r = f(x, y) \quad (5)$$

formula adja az r paramétert és ezen keresztül a törésmutató $u(r, z)$ értékét. Ebből következik, hogy a törésmutató csak az r és a z koordinátáktól függ. A (4) egyenletnek megfelelő koordináta-transzformációt a (3) egyenletbe behelyettesítve kapjuk:

$$\frac{\lambda}{2} = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \nabla u(x, y, z) \Delta \mathbf{r} dy = \int_{f(x, -\frac{L}{2})}^{f(x, \frac{L}{2})} \nabla u[x, g(r, x), z] \Delta \mathbf{r} \frac{\partial g(r, x)}{\partial r} dr \quad (6)$$

A szimmetria miatt szükségszerűen:

$$u[x, g(r, x), z] \equiv u(r, z). \quad (7)$$

Fejtsük sorba az $u(r, z)$ függvényt egy ortogonális, egyenletesen konvergáló függvény-sor szerint:

$$u(r, z) = \sum_{m,n} a_{nm} \varphi_n(r) \psi_m(z). \quad (8)$$

A szokásos transzformációs formulák és a (8) egyenlet felhasználásával a (6) egyenlet a következő formában írható:

$$\frac{\lambda}{2} = \int_{f(x, -\frac{L}{2})}^{f(x, \frac{L}{2})} \left[\Delta x \alpha(r, x) \sum_{n,m} a_{nm} \frac{d\varphi_n(r)}{dr} \psi_m(z) + \Delta z \sum_{n,m} a_{nm} \varphi_n(r) \times \frac{d\psi_m(z)}{dz} \right] \frac{\partial g(r, x)}{\partial r} dr. \quad (9)$$

Az integrálás és összegzés sorrendjét felcserélve, kapjuk:

$$\frac{\lambda}{2} = \sum_{n,m} a_{nm} \left[\Delta_x \psi_m(z) A_n(x) + \Delta_z \frac{d\varphi_m(z)}{dz} B_n(x) \right] \equiv \sum_{n,m} a_{nm} C_{nm}(x, z), \quad (10)$$

ahol

$$A_n(x) = \int_{f(x, -\frac{L}{2})}^{f(x, \frac{L}{2})} \alpha(r, x) \frac{d\varphi_n(r)}{dr} \frac{\partial g(r, x)}{\partial r} dr$$

és

$$B_n(x) = \int_{f(x, -\frac{L}{2})}^{f(x, \frac{L}{2})} \varphi_n(r) \frac{\partial g(r, x)}{\partial r} dr.$$

Az $A_n, B_n, \psi_m, \frac{d\psi_m}{dz}$ függvények számíthatók, a Δ_x és Δ_z értékeket az interferometrikus csíkrendszerből kaphatjuk. Természetesen a gyakorlatban az összegzés felső határa mind n -re, mind m -re véges számok: N és M . Ha különböző Δr értékeket mérünk, akkor a (10) egyenlet egy $(M \times N)$ -es lineáris algebrai egyenletrendszert ad, amely az ugyanannyi darab a_{nm} ismeretlenre megoldható.

A módszer próbáját hengersizmetrikus fázistárgyra végeztük el. A sík határoló lapok feltételezése miatt fel kell tennünk, hogy

$$n(\mathbf{r}) = n(r, z), \quad r \leq R, \quad (11)$$

$$n(\mathbf{r}) = n_0, \quad r > R,$$

ahol R a fázistárgy sugara. Ebből következik, hogy

$$u(r) = u(r, z), \quad r \leq R, \quad (12)$$

$$u(r) = 0, \quad r > R.$$

Keressük az $u(r, z)$ függvényt szorzatalakban: $u(r, z) = u(r) \cdot u(z)$. Ezt a kifejezést a megfelelő formulába behelyettesítve, a kijelölt integrálást elvégezve, valamint az $u(r)$ függvény Fourier-sorának felhasználásával (a szokásos koordináta-transzformáció után) definiálhatjuk a következő függvényeket:

$$S_k(x) = -\frac{k\pi}{R} \int_x^R \sqrt{r^2 - x^2} \sin\left(k\pi \frac{r}{R}\right) dr$$

és

$$C_k(x) = \frac{dS_k(x)}{dx}.$$

Ezekkel megkapjuk a végső kifejezést, amely megfelel a (10) egyenletnek:

$$\begin{aligned} \frac{\lambda}{2} = & a_0 \frac{du(z)}{dz} \Delta_z \sqrt{R^2 - x^2} + 4 \sum_{k=1}^{\infty} \left[u(z) \Delta_x C_k(x) + \right. \\ & \left. + \frac{du(z)}{dz} \Delta_z \sqrt{R^2 - x^2} \cos(k\pi) - \frac{du(z)}{dz} \Delta_z S_k(x) \right] a_k. \end{aligned} \quad (13)$$

A (13) egyenlet használatához ismernünk kell az $u(z)$ függvényt. Amennyiben az $u(z)$ függvény ismeretlen, akkor azt is sorbafejtve kell felírni, pl.: $u(z) = 1 + \alpha z + \beta z^2 + \dots$. Ekkor az $a_k; \alpha a_k; \beta a_k; \dots$ ismeretlenekre kapunk egyenletrendszert.

5. Modellesztorna készítése a plazma holografikus interferometriai vizsgálatához

A modellesztorna elkészítésekor arra törekedtünk, hogy elsősorban sűrűség és hőmérséklet szempontjából modellezzük a valóságos MHD körülményeket. Munkagáznak a könnyebben kezelhető argon—nitrogén keveréket választottuk (argon: 0,12 kg/min, nitrogén: 0,02 kg/min). A munkagázt ún. plazmapisztoly, ill. a benne égő villamos ív segítségével fűtjük fel első lépésben 10 000...15 000 K-re. Az áramló gáz ezután adiabatikusan kitágul és lehűl. A vizsgált helyeken 3500...1500 K tengelyhőmérsékletet és 2000...1000 K falhőmérsékletet észleltünk. A modellesztorna hengeres alakú, 100 cm hosszú, 8,3 cm belső átmérőjű, öntött alumíniumoxid cső. A csövet kántál fűtőtekerccsel max. 6,5 kW teljesítménnyel előmelegítjük, mintegy 500...800 K hőmérsékletre. Ezáltal a hőveszteségek jelentősen csökkenthetők.

A plazmasugár belépési helyétől számított 13, 18, 23 és 60,5 cm-re kvarcüveg lappal fedett optikai ablakok vannak, amelyek a csatorna tengelyére merőleges, 2,0 cm átmérőjű optikai utat nyitnak meg. Az egyes optikai utakban négy-négy beépített hőelem méri az ablak környezetének és a hőszigetelő réteg környezetének hőmérsékletét. Ezenkívül további öt hőelem vezethető be a plazmába. Így a fényutankénti kilenc hőmérsékletmérési ponttal a hőmérsékleteloszlás jól mérhető. A hőmérsékletet részben közvetlen hőmérsékletmérő mutatós műszerekkel mérjük, részben vonalíróval az időbeni változást detektáljuk. A további hőmérsékletértékeket egy erősítőn keresztül — az üzemeltetés során különböző időpontban — mérőhelyváltó segítségével, mágnesszalagos jeltárolóban rögzítjük, ami által a hőtérekép teljes időbeli változását követni tudjuk. Megjegyzendő, hogy új vizsgálatainkhoz egy négyzetes szimmetriával rendelkező, kisebb méretű csatornát készítettünk, amelynek elvi felépítése azonos az előbbieken ismertetettel.

6. Hőmérséklet- és törésmutató-eloszlás mérése

A mérések szerint a csatorna mentén a hőmérséklet-eloszlás jól leírható a

$$T(\mathbf{r}) = \frac{T(z)}{ar^4 + br^2 + c}$$

formulával, ahol a , b , c konstansok. Ezt a kifejezést behelyettesítve a megfelelően átalakított Gladstone—Dale egyenletbe (az ideális gáz állapotegyenletének felhasználásával) az

$$n(\mathbf{r}) = 1 + 0,08233 \frac{ar^4 + br^2 + c}{T(z)}$$

összefüggést kapjuk. A levezetés során a ρ_s referenciasűrűségnek a 10^5 Pa nyomású és 20 °C-os argongáz sűrűségét tekintettük. Ekkor $\beta = 0,000281$, a többi állandót a termodinamikából ismerjük. A β konstans az előbbieken már ismertetett elvek alapján hőmérséklet-függetlennek tekintettük.

Meg kell jegyeznünk, hogy $T(z)$ értékét csak lokálisan lehet meghatározni, ill. fényutanként külön kell értékelni a törésmutatót és ekkor a vizsgált fényút tengelyében $T(z) = 1$ vehető. $T(z)$ deriváltjának megállapításakor a szomszédos fényutaknál mérhető tengelyhőmérsékletek hányadosából adódó $T(z)$ -t kell figyelembe venni. Ennek oka, hogy az előmelegített csatorna áramlási struktúrája miatt $T(\mathbf{r})$ szorzat

alakja csak rövid szakaszokon való közelítésnek vehető. Ugyanakkor a mérések szerint $T(z)$ kis szakaszokon lineáris függvény, közel állandó meredekséggel az egész csatorna mentén.

A tengelyvonalban és környezetében a hőelemes mérések nem alkalmazhatók, mivel a hőmérsékletek túl nagyok, ezért — és a hőmérséklet-eloszlás illesztésének pontosítása érdekében — alkalmazzuk a dinamikus termoszonák módszerét. Ennek lényege, hogy igen rövid idő alatt egy pneumatikus rendszer segítségével bemelegítünk egy hőelemet a vizsgálni kívánt pontba és a hitelesen mérhető hőmérséklet elérésekor (ez esetünkben 1900 K, mivel Pt—PtRh hőelemet használunk) ugyanezen pneumatikus rendszer segítségével kiemeljük a plazmából. A felfutási karakterisztikát egy erősítő közbeiktatásával a mágnesszalagos jeltárolón rögzítjük és utólag értékeljük ki. A kiértékeléshez az

$$\ln \frac{dT(t)}{dt} = \ln [T_\theta - T(0)] - \frac{t}{\tau(T)}$$

formulát használjuk, ahol $T(t)$ az időben változó mérhető hőmérséklet, T_θ a gázhőmérséklet, $T(0)$ a 0 időpontban mérhető hőmérséklet, $\tau(T)$ a rendszer időállandója, amely a hőmérséklet függvényében ugrásszerűen változik.

A módszer a gyakorlatban jól alkalmazható a hőmérséklet-eloszlás vizsgálatára. A kapott $T(t)$ görbék értékelésére számítógépes programot készítettünk, amellyel a kiértékelés gyorsan és pontosan megoldható.

7. A hőmérséklet-eloszlásból levonható következtetések

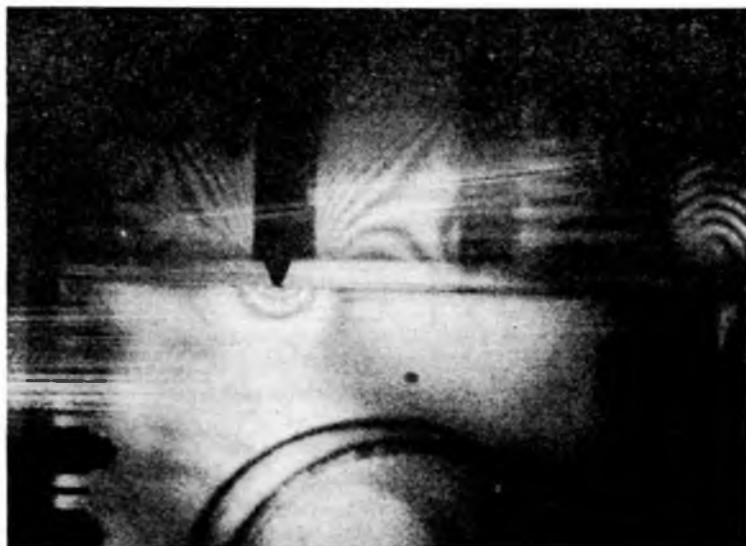
A hőmérsékletmérések alapján lehetőségünk van a várható csíkrendszer előzetes kiszámítására, ugyanis az a , b , c állandók, valamint a $T(z)$ függvény ismerete alapján az optikai úthosszak, ill. a levegőben megtett optikai úthosszak és a plazmában megtett optikai úthosszak különbsége az $n(\mathbf{r})$ függvény integrálásával számítható. Több különböző, mért hőmérsékleteloszlás esetén (különböző a , b , c állandókkal) elvégeztük ezeket a számításokat és megállapítottuk, hogy az általunk előállított plazma-nyalábok túlságosan homogének, azaz az interferometrikus felvételeken a látótér kicsi volta miatt legfeljebb egyetlen csík részlete látható. Ezt a várakozást a későbbi felvételek igazolták.

A közelítő Fourier-inverzió a mért a , b , c , $T(z)$ értékek alapján ellenőrizhető, ugyanis az ezek ismeretében számítható Fourier-együtthatók, valamint a számított csíkrendszerből kapható Δ_x és Δ_z értékek felhasználásával a (13) egyenletben szereplő szummát is számíthatjuk. (Az ehhez szükséges $S_k(x)$ és $C_k(x)$ függvényeket szintén numerikus úton, számítógép segítségével kapjuk meg.) A számított szumma eredménye a használt λ hullámhossztól mindössze 5...10% eltérést mutatott.

Az eredmények arra utalnak, hogy az elmélet kielégítő pontossággal írja le a valóságot. Az eltérést a plazma nem ideális gázként való viselkedése, a nem teljesen konstans nyomás, a szorzatként keresett függvények eltérő alakja és elsősorban az elmélet lineáris közelítést adó jellege okozhatja. Eszerint a közelítő Fourier-inverzió — esetleg z -függő szummával kiegészítve — jól használható hengersizmetrikus áramlások tanulmányozására.

8. Az optikai kísérletek

Kísérleteink kezdeti stádiumában a rendelkezésre álló eszközök nem érték el a nemzetközi irodalomból ismert ún. „holographic quality” szintet. Az általunk beszerzett gyengébb minőségű eszközök is alkalmasak voltak azonban arra, hogy megfelelő minőségű interferometrikus hologramot készítsünk. Ennek bizonyítására készítettük a 26-2. ábrán látható interferometrikus hologramot (az ábra a hologram egy részét mutatja). A modellként használt plexitömbök felső része melegezés, alsó része mechanikai nyomás miatti deformációt mutat.

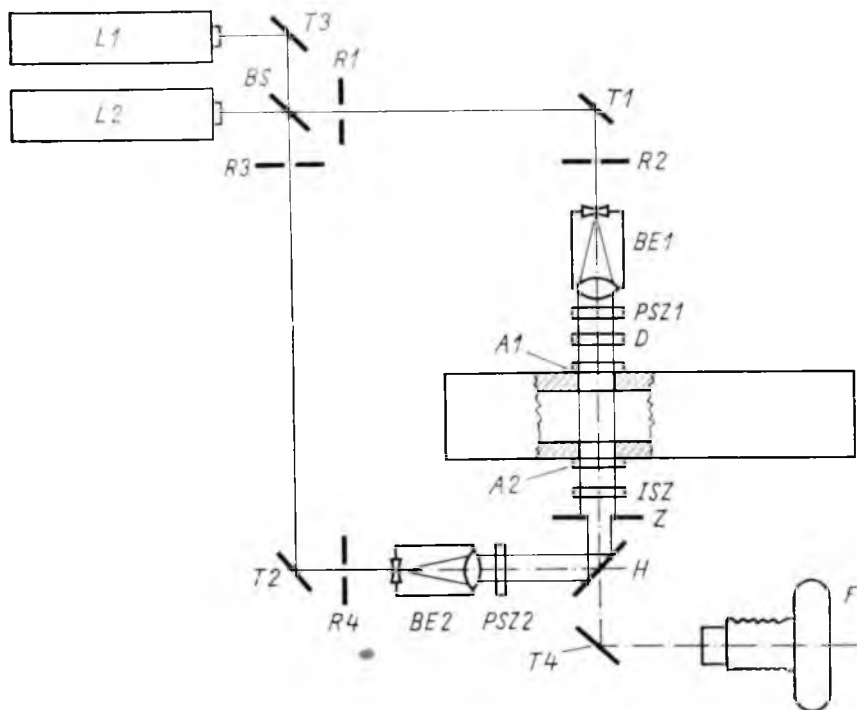


26-2. ábra. Deformálódott plexitömb interferogramja

A 26-3. ábrán bemutatjuk az MHD csatorna vizsgálatára alkalmazott interferometrikus optikai rendszer vázlatos összeállítási rajzát. Az optikai utakat úgy alakítottuk ki, hogy a rubinlézert (Barr—Stroud gyártmány) és a visszaolvasáshoz használt gázlézert (MOM gyártmány, GL—8 típus) közös alapra szereltük. Néhány „lövés el” kör alakú fényrekeszekkel két ponton kitéztük a rubinlézer sugárnak helyzetét, majd a gázlézer sugarával a $T3$ jelzésű tükör segítségével pontosan ráálltunk a rubinlézer sugarának pályájára és ezután már a gázlézer segítségével kényelmesen be tudtuk állítani a tárgy- és referenciasugár menetét. A kettéosztott sugarakat különálló afokális lencserendszerrel szélesítettük ki. Tárgysugárnál 12:1, a referenciasugárnál 35:1 volt a sugárbővítési arány. A tárgy- és a referenciasugár hosszát közel azonosra állítottuk be, hogy a rubinlézer koherenciahossza ne befolyásolja a méréseket. A hologramok visszaolvasását a felvétel készítésével azonos optikai elrendezésben vizsgáltuk, így biztosítottuk a szigmatikus leképezést.

A kísérletek során — mivel értékelhető csíkrendszerre nem számítottunk — a hologramokat elsősorban a technikai kérdések vizsgálata céljából készítettük. Példaként bemutatunk két felvételt.

A 26-4. ábrán a plazma által felhevített, és ezáltal deformálódott kvarcüveg ablak interferometrikus képe látható. Ez a csíkrendszer a plazmáénál nagyobb inhomogenitást mutat.



26-3. ábra. Az optikai elrendezés vázlata

L_1 He-Ne lézer; L_2 rubinlézer; BS sugárosztó; $T_{1,2,\dots}$ tükör; $R_{1,2,\dots}$ rekesz; $BE_{1,2}$ sugárszélesítő; $PSZ_{1,2}$ polárszűrő; D diffuzor; H hologram lemez; Z zár; $A_{1,2}$ kvarcablak; ISZ interferencia-szűrő; F fényképezőgép



26-4. ábra. Felhevített kvarcüveg ablak interferogramja



26-5. ábra. Plazmaturbulenciáról készült interferogram

A tényleges MHD csatornában jelentős probléma a turbulens határréteg léte. E jelenség vizsgálatára a plazmába benyújtott kerámia rúd segítségével turbulenciát hoztunk létre és erről készítettünk holografikus interferogramot. A 26-5. ábrán jól felismerhető a turbulencia miatt létrejövő csíkrendszer.

9. A kutatási munka további irányvonala

Az elmúlt évek során végzett elméleti és kísérleti vizsgálatok eredményei alapján elkészítettünk egy új modelleszatornát. Ennek téglalap alakú belső keresztmetszetét kisebbre választottuk, mint az első modellét, ezáltal sokkal meredekebb hőmérsékletprofil, azaz inhomogénebb plazma állítható elő. A fényutakat olyan méretűre alakítottuk ki, hogy a modelleszatorna teljes belső keresztmetszete vizsgálható legyen. Erre azért van szükség, hogy a matematikai inverziós módszer vizsgálatát a teljes keresztmetszeti törésmutatóeloszlás ismeretében végezhessük. A vizsgálólaboratórium műszerezettsége — különösen optikai területen — az utóbbi időben jelentősen fejlődött. Rendelkezésünkre áll egy kettős impulzusú, holográfiai vizsgálatokra alkalmas rubinlézer, és egy nagyteljesítményű, folytonos üzemű gázlézer. Emellett beszereztünk több jóminőségű optikai eszközt, amelyek biztosítják, hogy az interferometrikus vizsgálatok során az optikai rendszer által létesített hibák minimális értékűek legyenek.

A következő években a plazmadiagnosztikai kutatások a matematikai inverziós módszer gyakorlati alkalmazhatóságának vizsgálatára irányulnak. Ezen túlmenően meg fogjuk vizsgálni egyéb holografikus interferometriai technikák — pl. Fourier-szűrés — alkalmazhatóságát is.

A további kutatási munkák során a holografikus interferometriai módszert az MHD plazmadiagnosztikán túlmenően ki fogjuk terjeszteni egyéb fázistárgyak és reflektáló objektumok vizsgálatára is. A fázistárgyak közül elsősorban villamos ívekkel kívánunk foglalkozni, ezek vizsgálata szorosan kapcsolódik egyéb kutatási munkáinkhoz.

A reflektáló tárgyak holografikus interferometriai vizsgálatára megkezdtük egy szolgáltató jellegű vizsgálólaboratórium kialakítását. A laboratórium profiljába a villamos iparban, ill. egyéb területeken felmerülő deformációs, feszültségállapot- és rezgésvizsgálatok tartoznak.

Irodalom

- [1] MHD plazma vizsgálatára szolgáló diagnosztikai módszerek és mérőkészülékek kutatása. VKI Előtanulmány, 1974.
- [2] MHD plazma vizsgálatára szolgáló diagnosztikai módszerek és mérőkészülékek kutatása. VKI Kutatási jelentések 1975—76.

Egyenáramú előmágnesezett fojtótekercek induktivitásának meghatározása

MELEGH BÉLA—NASZÁDY LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

A simítófojtótekercekkel szemben támasztott követelmények állandó növekedése szükségessé teszi a vasmagos fojtótekercekben lezajló jelenségek jobb megismerését és ehhez újfajta mérési módszer kidolgozását. A cikkben közölt mérési módszer alkalmas arra, hogy egyenárammal előmágnesezett fojtótekercek induktivitása meghatározható legyen. Mivel a mérendő mennyiségek alakja a szinusztól erősen eltér, külön regisztráljuk az előmágnesező egyenáramra szuperponált váltakozóáramot és a fojtótekerceken kialakult váltakozófeszültséget. Az összetartozó értékekből az induktivitás számolható. Részletesen tárgyaljuk a mérőköri elemek helyes megválasztását, a mért értékek kiértékelési módját és a kidolgozott módszer alkalmazhatóságának korlátjait és pontosságát.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ ДРОССЕЛЕЙ ПОДМАГНИЧИВАНИЯ

Б. Мэлег—Л. Насзádi

Резюме

Чрезвычайное увеличение потребностей сглаживающих дросселей вызывает всё лучшее ознакомление с явлениями в дросселях с железным сердечником и потребует разработку новых измерительных методов. Изложенный в статье измерительный метод позволяет измерять индуктивность дросселей, подмагниченных постоянным током. Так как форма измеряемых величин отличается от синусоиды, отдельно регистрируются переменный ток, суперпонируемый на постоянный ток подмагничивания, и переменное напряжение, образованное на дросселе. Значение индуктивности вычисляется из связанных величин. В статье подробно излагаются правильный выбор элементов измерительного контура, методы оценки измеренных величин, границы применимости и точность разработанного метода.

BESTIMMUNG DER INDUKTIVITÄT VORMAGNETISIERTER GLEICHSTROM-DROSSELSPULEN

B. Meleg—L. Naszady

Zusammenfassung

Infolge der an die Glättungsdrossel gestellten ständig erhöhten Anforderungen erwies sich die bessere Kenntnis der in den Eisenkern-Drosselspulven ablaufenden Vorgänge und die Erarbeitung einer neuartigen Messmethode als notwendig.

Die veröffentlichte Messmethode ist geeignet, die Induktivität der mit Gleichstrom erregten Drosselspulven zu bestimmen. Da die Messsignale stark von Sinusform ab-

weichten, wurde der auf vormagnetisierten Gleichstrom superponierten Wechselstrom und der an der Drosselspule entstandene Wechselspannung einzeln registriert. Aus den zugeordneten Werten kann der Wert der Induktivität errechnet werden. Wir behandeln eingehend die richtige Wahl der Stromkreiselemente für die Messung, die Bewertungsmethode der Messwerte und die Grenzen und Genauigkeit der ausgearbeiteten Methoden.

DETERMINATION OF INDUCTIVITY OF DC. PREMAGNETIZED REACTORS

By B. Melegh—L. Naszády

Summary

Because of constantly increasing requirements for smoothing reactors it becomes necessary to have a better knowledge of processes taking place in iron-core reactors, and to elaborate a new measuring methods for this purpose. The measuring method presented in the paper is suitable for determining the inductivity of dc. premagnetized reactors. Since the quantities to be measured have shapes highly different from the sine curve, the alternating current superimposed on premagnetized direct current and also the alternating voltage arising in reactor are recorded separately. The value of inductivity can be calculated from related values. Discussed in detail are correctly chosen elements of the measuring circuit, evaluation method of measured values and also applicability limits and accuracy of the method developed by the authors.

Bevezetés

A félvezetők fejlődésével a teljesítményelektronika szerepe megnőtt az iparban. A félvezetők az egyenáramú hajtásokban olyan szabályozástechnikai problémákat oldanak meg, amelyek eddig nem vagy csak nagyon bonyolultan voltak megoldhatók. Ezek a korszerű elemek azonban az áramkörökben áram- és feszültségfelharmonikusokat hoznak létre.

A feszültség felharmonikusai azonos rendszámú áramfelharmonikusokat keltenek az egyenáramú gép armatúrájában. A növekvő járulékos veszteségeken és a komutációs nehézségeken kívül az áram felharmonikusai nyomatéklüktetést is okozhatnak, amely mechanikai és akusztikus lengésekhez vezethet. Megfelelő értékű induktivitásokkal ezek a hatások csökkenthetők, ill. gyakorlatilag meg is szüntethetők. A kellő simításhoz szükséges induktivitásokat gazdaságossági okokból célszerű vas-magos kivitelben elkészíteni.

A vasmag nemlineáris volta miatt a fojtótekerics paraméterei matematikailag csak nagyon bonyolult módon írhatók le, ezért a méretezéshez empirikus képleteket és grafikusán ábrázolt mérési eredményeket használnak fel. A légrések következtében fellépő fluxusvesztés (szórás) sem lehet előre pontosan meghatározni. Az előzetes méretezés alapján kivitelezett fojtótekericsen célszerű ezért különféle méréseket végezni és az eredmények alapján kell az esetleges korrekciókat elvégezni.

1. Az induktivitás változását befolyásoló tényezők

Vizsgáljuk meg az előmágnesezett vas-magos fojtótekerics induktivitásának változását a méréstechnikai szempontokból érdekes paraméterek függvényében.

- Előmágnesező egyenáram hatása: Az előmágnesező egyenáram növelésével (egyenáramú indukció kb. 1 T-ig) az induktivitás kismértékben növekszik,

- majd rohamosan csökken a telítési tartomány szintjéig. A telítés elérése után az induktivitás már nem függ az előmágnesező egyenáram nagyságától.
- Váltakozóáramú indukció hatása: Az egyenáramú hajtásoknál a kivezérlés szögétől függően a váltakozófeszültség a fojtótekerescen nagymértékben változik. Ezen váltakozófeszültség okozta váltakozóáramú indukció növekedésével a reverzibilis permeabilitás (μ_r) növekszik, ezzel az induktivitás értéke is nő.

$$L = \frac{1,256N^2A}{l \left[\frac{1}{\mu_r} + \frac{\delta}{l} \right]} 10^{-8} \text{ H}, \quad (1)$$

ahol N a menetszám,

A a vas keresztmetszete,

δ a légrés hossza,

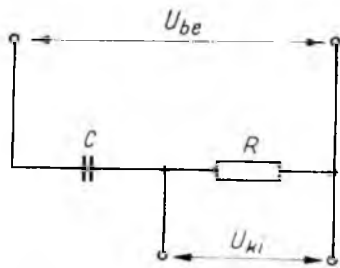
l az indukció hossza a vasban,

μ_r adott egyenáramú előmágnesezéshez és adott váltakozóáramú indukcióhoz tartozó reverzibilis permeabilitás.

A $\mu_r = f(B \sim ; B_e)$, — ahol $B \sim$ a váltakozóáramú indukció, B_e az előmágnesező egyenáramú indukció — egy vasmagra jellemző görbe, amelyet mérésekkel lehet meghatározni. A légrés jó megválasztásakor a váltakozóáramú indukció okozta μ_r változása az induktivitásra számottevő hatást nem gyakorol, ezért a gyakorlatban a teljes kivezérléshez tartozó váltakozóáram okozta indukció a méréshez elegendő. Ez egyben a maximális terheléshez tartozó üzemi körülményeknek felel meg.

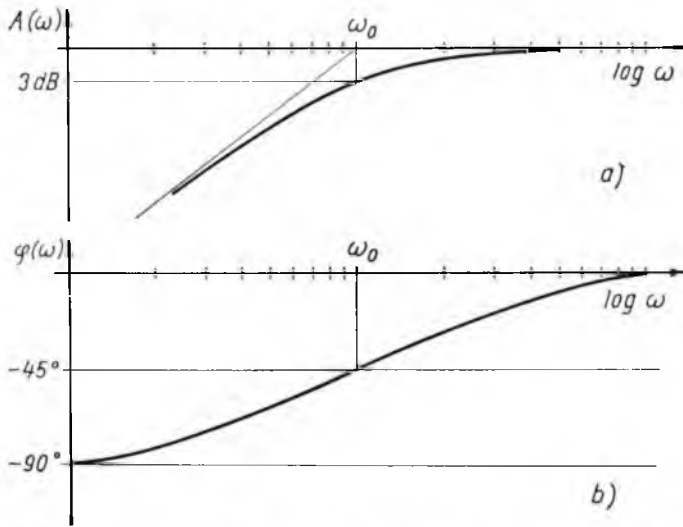
2. A vasmagos fojtótekeres induktivitásának mérése

A legegyszerűbb megoldásnak tűnik, hogy egy adott előmágnesező egyenáramra szuperponálunk egy szinuszos váltakozóáramot és mérjük a fojtón levő feszültséget és a rajta átfolyó áramot, amelyekből számolható az impedancia és így az induktivitás értéke. Ez a szuperponálás a gyakorlatban nagyon nehezen valósítható meg, a vasmag nemlinearitása miatt a mért feszültség ugyanis nem mindig szinuszos, az előmágnesező egyenáram pedig a termikus igénybevétel miatt nem tartható olyan sokáig a fojtótekerescen (meg kell határozni az induktivitást a névleges áram többszörösén is), míg a mért értékek és műszerek beállnak és leolvashatóvá válnak, ezért mi háromfázisú hídkapcsolású egyenirányító (teljes kivezérlés) kimenőjelét használtuk a méréshez, amelynek természetes hullámossága a váltakozóáramú komponenseket, középtértéke az előmágnesező egyenáramot szolgáltatja. A váltakozóáram nagysága függ az áramforrás kapocsfeszültségétől és az előmágnesezéshez tartozó induktivitás értékétől. Az áramforrás kapocsfeszültségének természetes hullámossága kicsi (kb. 4,2%), ezért a kialakuló váltakozóáram is jóval kisebb, mint az előmágnesező egyenáram, így célszerű az egyenáramú tagról leválasztani, majd megfelelően felerősítve vizsgálni. A fojtón kialakuló feszültségnek is csak a váltakozó komponense képezi vizsgálatunk tárgyát (a bekapcsolási tranziensek befejeződése után), ezért azt is ugyanolyan módon választottuk le, mint a váltakozóáramot. Ezt a leválasztást kondenzátorokkal oldottuk meg, ügyelve



27-1. ábra. Felüláteresztő szűrő

arra, hogy mindkét kondenzátor és ellenállaspár (felüláteresztő szűrő) egyforma nagyságú legyen. (l. 27-3. ábra). A felüláteresztő szűrőknek a frekvencia függvényében amplitúdóhibájuk és fázistolásuk van, és mivel az induktivitást a váltakozóáram és -feszültség megfelelő értékeiből számoljuk ki, szükséges, hogy a két szűrő teljesen egyforma legyen, így a fáziseltolás és az amplitúdóhiba a két mért jelnél egyező, ezért mérési hibát nem okoz.



27-2. ábra. A felüláteresztő szűrő logaritmikus amplitúdója és fázisgörbéje

Vizsgáljuk meg a felüláteresztő szűrő amplitúdó- és fázisviszonyait (27-1. ábra). Az átviteli karakterisztika:

$$W(j\omega) = \frac{U_{ki}(j\omega)}{U_{be}(j\omega)} = \frac{j\omega T}{1 + j\omega T}, \quad \text{ahol } T = RC = \frac{1}{\omega_n}. \quad (2)$$

A feszültségátviteli karakterisztika (27-2. ábra):

$$A(\omega) = -20 \lg |W(j\omega)| = -20 \lg \frac{\frac{\omega}{\omega_0}}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} \quad \text{dB} \quad (3)$$

A fáziskarakterisztika (27-2. ábra):

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{\text{Im } W(j\omega)}{\text{Re } W(j\omega)} = -\arctg \frac{\omega}{\omega_0} \quad (4)$$

Ebből látható, hogy a szűrő ω_0 frekvenciáját célszerű úgy megválasztani, hogy a váltakozó jel alaphfrekvenciájánál jóval kisebb legyen, így a szűrő amplitúdóhibája és fáziseltolása már elhanyagolható, ezért amennyiben a feszültség és az áram frekvenciakomponensei nem azonosak, a mérésben akkor sem okoznak hibát.

A háromfázisú hídkapcsolású egyenirányítóberendezés természetes hullámosságának alaphfrekvenciája 300 Hz ($\omega_1 \approx 1885$). Az alaphfrekvencia amplitúdójához vi-

szonyítva az 5. felharmonikus (1800 Hz) amplitúdója már elhanyagolható. Ha a szűrő ω_0 határfrekvenciája a váltakozó komponens alapfrekvenciájánál két nagyságrenddel kisebb, akkor

$$\omega_0 = 18,85 \approx 20 \cong \frac{1}{RC}.$$

Az amplitúdóhiba ω_1 frekvencián: 0,0005 dB (0,0056%). A fázistolás ω_1 frekvencián: $0,608^\circ$, tehát a szűrővel szemben támasztott feltétel:

$$C \cong \frac{5 \cdot 10^{-2}}{R}. \quad (5)$$

A másik fontos feltétel, hogy az induktivitásra kapcsolt szűrővel kialakult rezgőkör rezonanciafrekvenciája távol legyen a még domináns amplitúdójú frekvenciáktól. Ez a gyakorlatban akkor teljesül, ha a rezonanciafrekvencia vagy nagyobb, mint $10\omega_1$ ($\omega_r - 0,5\omega_r \cong 5\omega_1$) vagy kisebb mint $0,66\omega_1$ ($\omega_r + 0,5\omega_r \cong \omega_1$). A rezonanciafrekvencia:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (6)$$

tehát az egyik lehetőség:

$$C \cong \frac{10^{-2}}{\omega_1^2 L}, \quad (7)$$

a másik lehetőség:

$$C \cong \frac{2,25}{\omega_1^2 L}. \quad (8)$$

Ezen feltételekből a felületáteresztő szűrő kondenzátorát úgy kell megválasztani a mérendő induktivitástól függően, hogy az az (5) és (7), vagy az (5) és (8) feltételeket kielégítse.

3. A mérés kiértékelése

A mérés elvi kapcsolási rajza a 27-3. ábrán látható. Az előmágnesező egyenáramot az S söntön mérhető, a váltakozóáramot és -feszültséget a felületáteresztő szűrők R ellenállásán mérhető feszültségből határozzuk meg. Az R ellenállásokon, a viszonylag kis feszültségeket nagy bemeneti ellenállású erősítőn keresztül táplált oszcillográf-hurok méri.

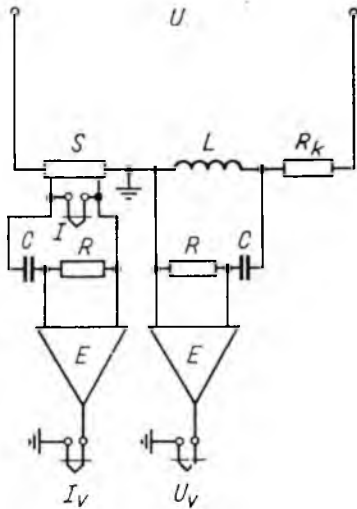
A regisztrátum (27-4. ábra) elkészülte után a feszültségterületeket grafikusán integráltuk, majd osztottuk a hozzá tartozó áramváltozással és így az induktivitás értéke kiadódott.

$$L_k = \frac{U_{vk} \Delta t_k}{\Delta I_{vk}}. \quad (9)$$

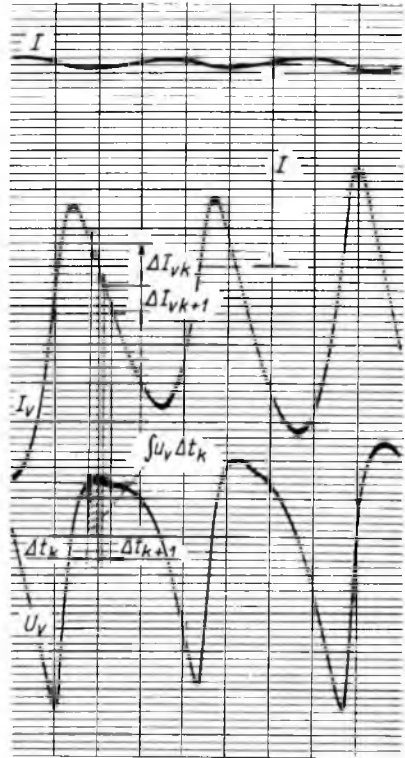
E feszültségszeletek integrálását és így az L_k induktivitások értékét legalább 1 periódusra ki kell számolni ahhoz, hogy megfelelő pontosságú eredményt kapjunk.

A nagyon sok számítási művelet meggyorsítására számítógépes programot készítettünk, így a regisztrátumról csak a megfelelő értékeket kell leolvasni és azt a gépbe betáplálni. A gép az egyes L_k induktivitások értékét és ezek L_a átlagértékét kiszámolja:

$$L_a = \frac{\sum_{k=1}^n L_k}{k}. \quad (10)$$



27-3. ábra. A mérés elvi kapcsolási rajza



27-4. ábra. A regisztrátum kiértékelése

4. A mérés pontossága

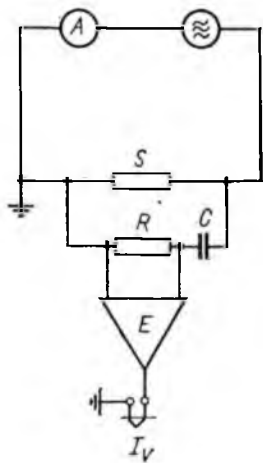
Az induktivitás mérési hibája:

$$H = H_{sz} + H_e + H_h + H_k,$$

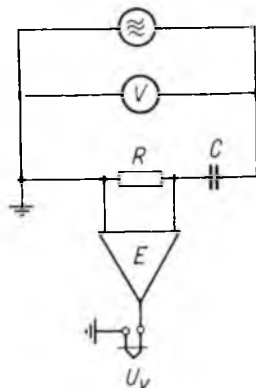
- ahol H_{sz} a szűrő hibája,
- H_e az erősítő hibája,
- H_h a mérőhurok hibája,
- H_k a kiértékelés hibája.

A szűrő, az erősítő és a mérőhurok hibája nagyon kicsivé tehető megfelelő szűrő, erősítő és mérőhurok megválasztásával, valamint úgy, hogy az egész egybeépített rendszert egyszerre hitelesítjük.

Az alapharmonikus (ω_1) frekvenciájával készítjük a léptéket 0,2 osztálypontosságú műszerrel mérve a bemenő feszültséget, ill. áramot (27-5. és 27-6. ábra). Ezzel ezen három tag hibája olyan kicsi, hogy a kiértékelés hibájához viszonyítva elhanyagolható.



27-5. ábra. Áramhitelesítő kör



27-6. ábra. Feszültség-hitelesítő kör

Ha a léptékeket úgy választjuk meg, hogy a mérendő jel nagyságával közel azonos és ez megfelelően nagy (minimum 50 mm), valamint a regisztrátum papirsebességét minimum 10 m/s-ra választjuk, akkor a kiértékelés pontossága kb. 4%, tehát az induktivitás mérés pontossága jobb mint 5%.

5. A módszer korlátai

- A mérőkör kialakításakor tekintettel kell lenni arra az alapvető mérés technikai követelményre, hogy egy impedancián mérendő feszültséget legalább két nagyságrenddel nagyobb bemeneti impedanciájú mérőkörrel kell mérni. Ebből a szempontból a mérőerősítők bemeneti ellenállása szab határt a maximálisan mérhető induktivitás értékének.
- Ha az induktivitást befolyásoló tényezők között szereplő μ_r változása nem hanyagolható el, akkor a diódákból álló egyenirányítóval táplált méréssel csak a teljes kivezérléshez tartozó induktivitás értékét lehet meghatározni. Ha más kivezérlési szöghöz is meg kell határozni az induktivitás értékét, akkor a mérést tápláló tápegységnek vezérelhetőnek kell lenni.
- A leírtak háromfázisú hídkapcsolású egyenirányítóval táplált áramkörökben levő fojtótekerccsek induktitásának meghatározására vonatkoznak. Ha más ütemű, ill. fázisáramú egyenirányító rendszerrel táplált áramkörökben kell a fojtótekerccsek induktitását meghatározni, akkor értelemszerűen a mérőköri elemek megválasztásának feltételeit az adott típusú egyenirányítónak megfelelően át kell számolni.

6. Összefoglalás

A cikkben ismertetett mérési módszerrel a gyakorlatnak megfelelő pontossággal meghatározható a vasmagos simító fojtótekercesek induktivitása, különféle előmágnesező egyenáramok esetén. E mérési eredmények segítséget nyújtanak a tervezőknek az egyes típusok kialakításához, a gyártóknak a gyártási szórás ellenőrzésére.

Irodalom

- [1] *Heumann—Stumpe*: Tirisztortechika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.
- [2] *Gaal Béla*: Egyenirányítók transzformátorainak és fojtótekercesek tervezése és szerkesztése. Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat. Budapest, 1954.
- [3] *Csáky—Ganszky—Ipsits*: Teljesítményelektronika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1973.
- [4] *Liska József—Retter Gyula*: Váltakozó áramok elmélete. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.
- [5] *Dr. Fodor György*: Villamosságtan. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.

Tartalom

Erősáramú elektronika és irányítástechnika

1. Meleghengersori szabályozott hajtások a Dunai Vasműben (*Ballók Imre—Weiner György*) 9
2. Frekvenciaátalakító fejlesztése aszinkron motoros járműhajtások céljára (*Bencze János—Bogosi György—László János*) 17
3. Frekvenciaátalakító nagyfeszültségű vizsgálóberendezés táplálására (*Böjthe László*) 29
4. Korszerű áramforrás villamos karámok táplálására (*Apor Zsuzsa*) 37
5. Középfrekvenciás inverterkapcsolás kommutációs folyamatainak vizsgálata (*Husztai György—Soós László*) 45
6. Állandó programmal működő vezérlők tervezési kérdései (*Bohuss Aurél*) 55
7. Akkumulátortöltőkhöz használt egyenirányítók főbb paramétereinek meghatározása számítógéppel (*Tihanyi László*) 71
8. Nagyteljesítményű postai egyenáramú áramellátó rendszer egyenirányító készülékeinek kifejlesztése (*Mosonyi Károly*) 87

Nem kötőtpályás villamos járművek

9. Nem kötőtpályás villamos közúti járművek nemzetközi fejlesztési irányai (*Dr. Mocsáry József—Kiss Miklós—Molnár István—Horváth Pál*) 99
10. Villamos hajtású városi autóbuszok fejlesztése (*Glofák Péter—Halmai Géza—Kiss Miklós*) 111
11. Önálló energiaforrással rendelkező kis- és közép teljesítményű villamos közúti járművek (*Pálffy Miklós—Kerényi István*) 123
12. Nem kötőtpályás villamos közúti járművek áramforrásai (*Horváth Pál*) 139

Villamos energia közvetlen előállítás

13. A napenergia komplex hasznosítása (*Böhönyey Ferenc—Pálffy Miklós—Palotai Géza*) 157
14. Új hengeres és általános pörusmodell nagyteljesítményű kémiai áramforrások elektródjainak tervezéséhez (*Horváth Pál—Dr. Lukács József*) 171
15. Cink—levegő áramforrások (*Horváth Pál—Kulcsár Sándor*) 191
16. Kis energiájú oxigén ionok kölcsönhatásának vizsgálata szilárd szén és platina targettel (*Dr. Lukács József—Gadányi Péter*) 201

Félvezető-, villamos és hőtechnológiák

17. Plazmatechnológiai alkalmazása a szilikátiparban (*Bóday Ottó—Krajcsovics Ferenc*) 213
18. Kerámiai anyagú sötétsugárzók emisszióképességének növelése (*Olchváry Gézané*) 225
19. Kerámikus vezérlőellenállás túlfeszültségevezetőkhöz (*Dr. Bogoly István—Gyimóthy Kálmánné*) 237

Villamos készülékek

20. Kisfeszültségű kontaktorok megbízhatóságának növelése az érintkezőanyagok megfelelő párosításával (*Dr. Néveri István*) 255
21. Vas deionlemezekkel keltett ivmozgató hatása az érintkezők igénybevételére (*Dr. Polgár Tibor*) 267

Szigeteléstechika

22. Műanyag hosszúrúdszigetelők kifejlesztése 120, 400 és 750 kV feszültségű távvezetékekhez
(*Dr. Leyrer Richárd—Szaplóczay Pál*) 279
23. Kábelszerelvényekhez alkalmazható tömítő-ragasztó kifejlesztése (*Dr. Fazekas Gáborné*) . 295
24. Hőre keményedő sajtolóanyag fröccsöntéskor keletkező hulladékainak hasznosítása
(*Talpai József*) 305
25. Pneumatikus szelep húzóvágnestekercsének tokozása és a gyártmány ipari bevezetése
(*Bardócz László—Erdélyi Ferenc*) 321

Méréstechnika

26. Hengerszimmetrikus, nagy hőmérsékletű gázáramok vizsgálata holografikus interferometriával
(*Pilinyi András—Tanos Ervin*) 337
27. Egyenáramú előmágnesezett fojtótekercesek induktivitásának meghatározása (*Melegh Béla—
Naszády László*) 349

Содержание

Силовая электроника и регулировочная техника

1. Регулированные приводы группами клеток горячей прокатки в Подунайском Металлургическом Комбинате (*И. Баллок—Д. Вейнер*) 9
2. Разработка преобразователей частоты для привода транспортными средствами с асинхронным двигателем (*Я. Бенце—Д. Богоши—Я. Ласло*) 17
3. Преобразователь частоты для питания высоковольтного испытательного оборудования (*Л. Бёйте*) 29
4. Современный источник для питания электросторожев (*Ж. Апор*) 37
5. Испытание коммутационных процессов схемы среднечастотного инвертора (*Д. Хусту—Л. Шош*) 45
6. Вопросы проектирования автоматов с постоянной программой (*А. Бохуши*) ... 55
7. Расчёт важнейших параметров выпрямителей для зарядки аккумуляторов, на малой ЦВМ (*Л. Тихани*) 71
8. Разработка выпрямительных приборов для снабжения постоянным током мощной почтовой системы (*К. Мошони*) 87

Шосейные свободные электрические транспортные средства

9. Международные тенденции развития шоссейных электрических транспортных средств (*Д-р. Й. Мочари—М. Киши—И. Молнар—П. Хорват*) 99
10. Разработка городских автобусов с электроприводом (*П. Глофак—Г. Халмаи—М. Киши*) 111
11. Электрические транспортные средства малой и средней мощности с самостоятельным источником энергии (*М. Палфи—И. Керени*) 123
12. Источники тока шоссейных свободных электрических транспортных средств (*П. Хорват*) 139

Непосредственная выработка электрической энергии

13. Комплексное применение солнечной энергии (*Ф. Бёхёнеи—М. Палфи—Г. Палотаи*) 157
14. Новые цилиндрические и общие модели пора к проектированию электродов мощных химических источников тока (*П. Хорват—Д-р. Й. Лукач*) 171
15. Цинко-воздушные источники тока (*П. Хорват—Ш. Кулчар*) 191
16. Испытание взаимодействий кислородных ионов, имеющих низкую энергию с твёрдой углеродной и платиновой мишенью (*Д-р. Й. Лукач—П. Гадани*) 201

Полупроводниковые, электрические и тепловые технологии

17. Применение плазменной технологии в силикатной промышленности (*О. Бодаи—Ф. Крайчович*) 213
18. Повышение эмиссионной способности керамических темновых излучателей (*Г. Олчвари*) 225
19. Керамический управляющий резистор для разрядников от перенапряжений (*Д-р. И. Богой—К. Димоти*) 237

Электрические приборы

20. Повышение надёжности переключателей низкого напряжения с помощью соответствующего спарения контактных материалов (*Д-р. И. Нэвери*) 255
21. Действие перемещения дуги, вызванного деионной пластиной на нагрузку контактов (*Д-р. Т. Полгар*) 267

Изоляционная техника

22. Разработка пластмассовых длинностержневых изоляторов для открытых линий электропередачи с напряжением 120, 400 и 750 кв (*Д-р. Р. Лейер—П. Саплонцаи*) 279
23. Разработка уплотняющих клеев для склеивания кабельных деталей (*Д-р. Г. Фазекаш*) 295
24. Использование отбросов термостойкой прессмассы, образующихся при шприцевании (*И. Талпаи*) 305
25. Снабжение броней катушки сцепляющего магнита для привода пневматическим клапаном (*Л. Бардоц—Ф. Эрдейи*) 321

Измерительная техника

26. Испытание высокотемпературных газовых потоков с цилиндрической симметрией с помощью голографической интерферометрии (*А. Пилини—Э. Танош*) 337
27. Определение индуктивности дросселей подмагничивания (*Б. Мэлег—Л. Насади*) 349

Inhalt

Leistungselektronik und Regelungstechnik

1. Geregelte Warmwalzwerkantriebe im Eisenwerk Duna (*I. Ballók—Gy. Weiner*) 9
2. Entwicklung eines Wechselrichters mit Asynchronmotor für Fahrzeugantriebe (*J. Bencze—Gy. Bogosi—J. László*) 17
3. Frequenzrichter für die Speisung von Hochspannungs-Prüfeinrichtungen (*L. Bőjthe*) 29
4. Modernes Stromversorgungsgerät für Weidezäunanlagen (*Zs. Apor*) 37
5. Untersuchung der Kommutation von Mittelfrequenz-Wechselrichterschaltungen (*Gy. Huszti—L. Soós*) 45
6. Projektierungsfragen der Steuerungen mit Festwertspeicher (*A. Bohuss*) 55
7. Errechnung der wichtigsten Parameter von Gleichrichtern mittels Kleinrechenmaschine für Akkumulatorladegeräte (*L. Tihanyi*) 71
8. Entwicklung von Gleichrichteranlagen für Gleichstromversorgung von Fernsprechzentralen (*K. Mosonyi*) 87

Elektrische Fahrzeuge

9. Internationale Entwicklungstendenzen von nichtspurgebundenen elektrischen Land- und Stadtfahrzeugen (*Dr. J. Mocsáry—M. Kiss—I. Molnár—P. Horváth*) 99
10. Entwicklung von Stadtautobussen mit elektrischem Antrieb (*P. Glofák—G. Halmi—M. Kiss*) 111
11. Elektrische Strassenfahrzeuge von Klein- und Mittelleistung mit eigener Energiequelle (*M. Pálfy—I. Kerényi*) 123
12. Stromquellen oberleitungsfreier elektrischer Fahrzeuge (*P. Horváth*) 139

Direkte elektrische Energieumwandlung

13. Komplex Ausnutzung der Sonnenenergie (*F. Böhönyey—M. Pálfy—G. Palotai*) 157
14. Neues zylindrisches und allgemeines Porenmodell zum Entwurf der Elektroden von elektrochemischen Hochleistungs-Stromquellen (*P. Horváth—Dr. J. Lukács*) 171
15. Zink—Luft-Stromquellen (*P. Horváth—S. Kulcsár*) 191
16. Untersuchung der Wechselwirkung von Sauerstoff-Ionen niedriger Energie mit festem Kohlenstoff- und Platin-Target (*Dr. J. Lukács—P. Gadányi*) 201

Halbleiter-, Elektro- und Wärmetechnologien

17. Anwendung von Plasmatechnologien in der Silikatindustrie (*O. Bóday—F. Krajcsovics*) .. 213
18. Erhöhtes Emissionsvermögen von Keramik-Dunkelstrahlern (*Frau G. Olchváry*) 225
19. Keramische nichtlineare Steuerwiderstände für Überspannungsableiter (*Dr. I. Bogoly—Frau K. Gyimóthy*) 237

Schaltgeräte

20. Zuverlässigkeitssteigerung von Schützen durch entsprechende Kontaktpaarung (*Dr. I. Néveri*) 255
21. Der Einfluss der ferromagnetischen Löschbleche auf die Kontaktbeanspruchung (*Dr. T. Polgár*) 267

Isolationstechnik

22. Entwicklung von Giessharz-Langstabilisatoren für 120, 400 und 750 kV Fernleitungen (*Dr. R. Leyrer—P. Szaplanczay*) 279
23. Entwicklung von Abdichtungs- und Klebstoffen für Kabelverschlussgarnituren (*Frau Dr. G. Fazekas*) 295
24. Verwendung des beim Spritzgiessen entstehenden Pressstoffabfalls (*J. Talpai*) 305
25. Einbetten von Ziehmagneten eines pneumatischen Ventils und dessen Produktionseinleitung (*L. Bardócz—F. Erdélyi*) 321

Messtechnik

26. Untersuchung rotationssymmetrischer heisser Gasströme durch holografische Interferometrie (*A. Pilinyi—E. Tanos*) 337
27. Bestimmung der Induktivität vormagnetisierter Gleichstrom-Drosselspulen (*B. Melegh—L. Naszády*) 349

Contents

Power electronics and control engineering

1. Hot-strip-mill electric drives in Duna Iron Works (*I. Ballók—Gy. Weiner*) 9
2. Development of dc-ac converters used in vehicles driven by asynchronous motors (*J. Bencze—Gy. Bogosi—J. László*) 17
3. Frequency converter for supplying H.V. test equipment (*L. Bőjthe*) 29
4. Up-to-date power supply source for electric fences (*Zs. Apor*) 37
5. Investigation of commutation processes of medium-frequency inverter connection (*Gy. Huszti—L. Soós*) 45
6. Design problems of controllers operated according to a permanence storage (*A. Bohuss*) 55
7. Using a small computer to determine the main parameters of rectifiers required for battery chargers (*L. Tihanyi*) 71
8. Rectifiers developed for use in high-capacity dc. communication power supply system (*K. Mosonyi*) 87

Electrical road vehicles

9. International trends of the development of electric road vehicles (*Dr. J. Mocsáry—M. Kiss—I. Molnár—P. Horváth*) 99
10. Development of electrically driven buses (*P. Glofák—G. Halmai—M. Kiss*) 111
11. Low and medium power electrical road vehicles (*M. Pálffy—I. Kerényi*) 123
12. Power sources for electrical road vehicles (*P. Horváth*) 139

Direct energy conversion

13. Complex utilization of solar energy (*F. Böhönyey—M. Pálffy—G. Palotai*) 157
14. New cylindrical and general porous model for designing the electrodes of heavy-duty electrochemical power sources (*P. Horváth—Dr. J. Lukács*) 171
15. Zinc—air batteries (*P. Horváth—S. Kulcsár*) 191
16. Preliminary study of the interactions of low-energy oxygen ions with solid carbon and platinum targets (*Dr. J. Lukács—P. Gadányi*) 201

Semiconductor, electrical and heat power technologies

17. Use of plasma technologies in the silicate industry (*O. Bóday—F. Krajcsovics*) 213
18. Increased radiating power of infrared radiant heaters (*Mrs. G. Olchváry*) 225
19. Ceramic non-linear grading resistor used for lightning arresters (*Dr. I. Bogoly—Mrs. K. Gyimóthy*) 237

Switchgears

20. Increased reliability of low-voltage switches by contact paired suitably (*Dr. I. Nèveri*) 255
21. The effect of deion plates made of iron on the stress of contacts (*Dr. T. Polgár*) 267

Insulation technique

22. Development of resin long-rod insulators for outdoor use on 120, 400 and 750 kV transmission lines (*Dr. R. Leyrer—P. Szaplóczay*) 279
23. Development of sealing and bonding materials for use on cable fittings (*Mrs. Dr. G. Fazekas*) 295
24. Utilization of wastes from thermosetting materials for stamping by injection moulding (*J. Talpai*) 305
25. Encasing of pulling magnet operating pneumatic valves and its introduction into the industrial production (*L. Bardócz—F. Erdélyi*) 321

Measurement technique

26. Investigation of high-temperature cylindrical symmetric gas beams by holographic interferometry (*A. Pilinyi—E. Tanos*) 337
27. Determination of inductivity of dc. premagnetized reactors (*B. Melegh—L. Naszády*) 349

