

VKI  
A VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET  
KÖZLEMÉNYEI

3

---

1969

MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ







VKI  
KÖZLEMÉNYEI  
3

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET KÖZLEMÉNYEI

3

MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ, BUDAPEST

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

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET  
**KÖZLEMÉNYEI**

**3**

**KÖZZÉTESZI:**

**DR. LUKÁCS JÓZSEF**

okl. gépészmérnök,  
a műszaki tudományok doktora,  
Kossuth-díjas,  
az Intézet igazgatója

**SZERKESZTETTE:**

a Szerkesztő Bizottság

**DR. GÁDOR LÁSZLÓ**

ok. gépészmérnök,  
a műszaki tudományok kandidátusa,  
a Villamos Berendezés Főosztály  
vezetője

**LEYRER RICHÁRD**

okl. vegyészmérnök,  
a Szigeteléstechnikai Főosztály  
vezetője

**DR. MOCSÁRY JÓZSEF**

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

**MOLNÁR ISTVÁN**

okl. villamosmérnök,  
a Félvezető Főosztály vezetője

**TAR FERENC**

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

**FELELŐS KIADÓ: AZ INTÉZET IGAZGATÓJA**









**VKI**  
**KÖZLEMÉNYEI**  
**3**

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET KÖZLEMÉNYEI

3

MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ, BUDAPEST

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

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET  
**KÖZLEMÉNYEI**

**3**

**KÖZZÉTESZI:**

**DR. LUKÁCS JÓZSEF**

okl. gépészmérnök,  
a műszaki tudományok doktora,  
Kossuth-díjas,  
az Intézet igazgatója

**SZERKESZTETTE:**

a Szerkesztő Bizottság

**DR. GÁDOR LÁSZLÓ**

ok. gépészmérnök,  
a műszaki tudományok kandidátusa,  
a Villamos Berendezés Főosztály  
vezetője

**LEYRER RICHÁRD**

okl. vegyészmérnök,  
a Szigeteléstechnikai Főosztály  
vezetője

**DR. MOCSÁRY JÓZSEF**

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

**MOLNÁR ISTVÁN**

okl. villamosmérnök,  
a Félvezető Főosztály vezetője

**TAR FERENC**

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

**FELELŐS KIADÓ: AZ INTÉZET IGAZGATÓJA**

A kiadási munkálatokat a Műszaki Könyvkiadó végezte

A kézirat lezárva: 1968. december

Felelős szerkesztő: Guller Jánosné villamosmérnök

Műszaki szerkesztő: Harkai József

Azonossági szám: 050

69-7228 — Szegedi Nyomda

# 20 éves a Villamosipari Kutató Intézet

DR. URBANEK JÁNOS

20 év nem nagy idő, de nem is kicsi, ha személyes pályafutásomhoz mérem, hiszen annak kerekén az 50%-át teszi ki. Nem kis idő márcsak azért sem, mert ez már elegendő ahhoz, hogy egy tudományos kutatóintézet felfejlődjék — egyrészt tudományos káderek és felszerelés, másrészt végleges működési területeinek a kialakítása szempontjából is — és tudományos rendeltetésének megfelelő, átütőképes, világviszonylatban is nívós tudományos kutatóintézetté váljék.

Hazai viszonylatban a legfontosabb kutatóintézetek egyszeri, egyidejű alapításának évéhez (1949) képest a 20 év működési idő egyúttal a maximum is, amit egy Intézet elérhetett. Ezért joggal el is várható, hogy az ilyen intézeteknek legyen is miről beszámolniuk 20 éves évfordulójuk alkalmából.

A következőkben az Intézet fejlődését, tevékenységét és elért eredményeit kívánom röviden jellemezni a 20 év munkásságának a tükrében, különös tekintettel arra, hogy ez a 20 év egyúttal egyfajta határkő is az Intézet történetében, amint arra még a következőkben rá fogok mutatni.

Mielőtt azonban ezt megtenném, szükségesnek látszik, hogy a hazai kutatásról és annak a hazai erőssáramú ipar fejlődésével való kapcsolatairól általánosságban is szóljak, mert csak így érthető meg igazán, milyen előzmények után került sor az Intézet létesítésére és az miért ilyen irányban fejlődött és miért nem más irányban.

Ezért ezzel a történeti áttekintéssel kezdem jubileumi beszámolómat.

A magyar villamosipar 90 évvel ezelőtti (1878-ban) megindítása és megalapozása annak köszönhette létrejöttét, ami minden termékenynek mutatkozó megalapozás közös sajátja: bizonyos körülmények és adottságok szerencsés összetalálkozásának. Ezek közül a következő három különösen döntő jelentőségű: az elindítani kívánt szektor időszerűsége, néhány akcióképes, jó képzettségű és invencióval rendelkező szakember jelentkezése az adott szakterületen, végül olyan gyártóbázis bekapcsolása, ill. olyan új bázis létesítése, amely az úttörő feladat megoldására alkalmas.

A három feltétel az elektrotechnika területén Magyarországon viszonylag igen korán összetalálkozott. A magyar villamosipar e szerencsés megalapozásától kezdve napjainkig — ha bizonyos zökkenőkkel is — de állandó fejlődést mutatott, amely azt ma és a jövőben is képessé teszi arra, hogy világviszonylatban is nagy részt tudjon vállalni a korszerű villamos gyártmányok és berendezések gyártásában és ezt a megkívánt magas szinten tudja is teljesíteni.

A zökkenők, amelyek ebben az egyenletes fejlődésben megmutatkoztak, a két világháborúra vezethetők vissza. Ezek a problémák — nem tekintve a kifejezetten katonai célú szektorokat, amelyeknek fejlődésére ezek az időszakok még hasznára is voltak — más országokban is megmutatkoztak, pangást, ill. visszaesést okozva az általános fejlődésben. Mindez röviden abban foglalható össze, hogy a magyar erőssáramú villamosipar fejlődésének a története durván három fő szakaszra bont-

ható, amelyek közül az első a megalapozástól, tehát 1878-tól az első világháborúig terjed, a második a két világháború közötti időt foglalja magába, míg a harmadik a második világháború utáni időszaknak felel meg.

Az erősáramú villamosipari kutatás a villamosipart szolgálja, ezért ennek a története is a legszorosabb összefüggésben van vele.

A villamosipari kutatás természetesen összefüggésben van a világ villamosiparának mindenkori fejlettségi állapotával, valamint fejlődési tendenciáival is, mely utóbbi természetesen alapvetően függ össze az alaptudományok (esetünkben elsősorban a fizika, de nem kis mértékben a kémia és a matematika) általános fejlődésével.

Ily módon ha a magyar erősáramú villamosipari kutatás fejlődését kívánjuk röviden felvázolni, a fenti három periódusnak az alapulvétele mellett néhány szóval — több esetben — a világviszonylatban való általános fejlődésre is utalnunk kell, mint olyan háttérre, amelytől természetesen a magyar fejlődés sem vonatkoztatható el.

*Első periódus:* a megalapozástól az első világháborúig.

A hazai villamosiparnak ezt az úttörő, vagy ősi szakaszát ugyanaz jellemezte, mint ami a villamosipar általános fejlődését általában is jellemezte ebben a korszakban: nevezetesen az úttörő munkával járó széles körű, változatos lehetőségek. Erről a korról *Bláthy Ottó Titusz*, a magyar erősáramú villamosipar e szakaszának egyik legnagyobb alakja, idős korban 1933-ban, félévszázados Ganz-gyári működése alkalmából történt megünneplésekor, szerénységből, de lényegében mégis igen találóan úgy nyilatkozott (értelemszerűen idézve), hogy „kezdetben nem is volt olyan nehéz dolgunk, mint amilyen dolgunk ma van és még inkább lesz a jövőben. Ha a problémákat fáknak tekintjük, a célt pedig az erdőirtásnak, úgy kezdetben azért volt könnyebb dolgunk, mert ahová a fejszénk sújtott, fát talált a sűrűben; úgyszólván csak ütnünk kellett és valamit mindig eltaláltunk”.

Ily módon sok kisebb-nagyobb fa dőlt ki, de néhány nagy fát is sikerült kidönteni; ebbe a korba esnek a hazai villamosiparnak a következő, azóta már nemzetközileg is közkincsévé vált energetikai eredményei: a zárt vasmagú transzformátor (1885), a paralel energiaelosztási rendszer (1885), a szinkron generátorok — sok szakértő által akkor még lehetetlennek minősített — paralel járása (1887) és még egy sor, ha nem is ilyen kiemelkedő, megalapozás jellegű, de mégis ebben a periódusban jelentősnek mondható fejlesztési eredmény.

Mi jellemezte ezt a periódust kutatás szempontjából? Miután ebben az időszakban a klasszikus fizika elektrotechnikai elvei ki voltak már építve, és az elektrotechnika főbb alapelvei tisztázottak voltak, elsősorban azok helyes alkalmazásáról volt szó. Az elektrotechnikát külön alátámasztó, kiegészítő fizikai, ill. alkalmazott fizikai kutatásra úgyszólván nem is volt szükség. A mai értelemben vett villamosipari kutatás, ill. fejlesztés némenklatúrájával az, amire mégis szükség volt, ma zömmel inkább gyártmányfejlesztésnek minősülne. Miután ez zömmel a mindenkor éppen kifejlesztés alatt álló gyártmányok, ill. berendezések kidolgozására, tökéletesítésére: fejlesztésére irányult, ezt azok csinálhatták, akik magát a fejlesztést is kézben tartották és a kísérletek irányítására egy személyben alkalmasak is voltak. Röviden: a kutatás-fejlesztés még nem vált szét kutatásra és fejlesztésre és a kutató-fejlesztő munka még nem igényelte a mai értelemben vett „team-work”-öt. Ezért még a nagyobb gyárakban is ritkán végezte ezt a munkát külön szerv, vagy ha mégis, úgy annak jellege alapján véve fejlesztésirányítás volt.

Ezért, bár Magyarországon már kialakult egy világcég: a Ganz Villamossági Művek (és ez élen járt a már említett munkában), annak sem volt kifejezetten kuta-



tási részlege; a szükséges „kutatásokat” itt is a nagy műszaki vezetők (*Mechwart, Zipernovszky, Bláthy, Kandó*), ill. az egyes osztályokban a konkrét fejlesztő munkával kapcsolatban végezték el. Még kevésbé merült fel országos kutatási intézmény létrehozásának a gondolata, annál is kevésbé, mert a nemzetközi szintű Ganz Villamosági Művek mellett más jelentősebb villamosipari vállalat abban az időszakban nem is volt hazánkban.

*Második periódus:* a két világháború közötti időszak.

Az első periódusban a gyakorlatilag egyeduralkodó nagyvállalat, a Ganz Villamosági Művek, rövid visszaesés, ill. stagnálás után újra élre tört és a fentiekben vázolt pozíciónak a további kiépítése révén csakhamar (már 1926-ban) nemzetközi viszonylatban is ismét a világcégek sorába emelkedett. Ez nem utolsó sorban köszönhető volt a gyár kiváló elektrotechnikusa, konstruktőre, Kandó Kálmán elgondolásai és tervei alapján megvalósított új 50 periódusú nagyvasúti vontatási rendszernek. Kandó rendszere az akkori rendszerek (egyenáram, egyfázis) mellett egy olyan újfajta rendszer volt, amelyet közvetlenül az országos hálózatról lehetett működtetni. Ez a rendszer részleteiben is sok újat hozott (így pl. elsőnek alkalmazta és valósította meg a foyadékkal hűtött forgórészű nagygépeket, méghozzá vontatási üzemben!).

A magyar piac felvevőképesége egyébként más, kisebb-nagyobb cégek létrejöttét is indokoltta tette, amelyeknek nagy része külföldi alapítású volt. Különösen a Siemens, az AEG, majd a BBC kapcsolódtak be igen intenzíven a magyar villamosipar továbbfejlődésébe, főként az energetikai cikkek gyártása vonalán. De létesültek kábelgyárak, akkumulátorgyárak és más gyárak is.

Mi jellemezte ezt a periódust a kutatás szempontjából?

*Bláthy* fentebb idézett hasonlatát folytatva, az vált jellemzővé, hogy ebben az időben a problémák rengetegében egyre ritkultak azok a fák, amelyeket egy-egy „favágó” egyedül is leteríthetett, és a ledöntött szálfák helyén hirtelen felnőtt sűrű bokrok között az egyes ember már nem volt képes utat vágni. Olyan bonyolultabb problémakomplexumok kerültek mind nagyobb számban előtérbe, amelyeket nemcsak, hogy nem uralhatott egy-egy tehetséges elektrotechnikus, de amelyek egyre inkább a fejlesztés-kutatás kettébontását is igényelték: külön fejlesztésre és külön kutatásra.

A fejlődésnek ez a menete a dolog természeténél fogva mindenütt egyformán megmutatkozott. Ezért világszerte egyre több és több vállalati kutatószerv jött létre. Ezt a folyamatot egyre inkább erősítette az is, hogy mindinkább kezdtek felismerni: a kutatás nem egy „szükséges rossz”, amit az adott időben való jobb konkurenciaképesség miatt kell finanszírozni, hanem olyan bázis, amely egyúttal a távlati megerősödésnek is az elengedhetetlenül szükségszerű alapja.

A fejlődés még itt sem állt meg, mert az egyes vállalatokon túlmenően maguk az egyes államok — akkoriban elsősorban a nagyipari államok — is többé-kevésbé felismerték a kutatás ipari potenciál-megalapozó szerepét és általános iparfejlesztési (sőt katonai) jelentőségét és az állami, ill. országos jellegű kutatóintézetek létesítése is megindult. Ezek egyrészt az alapkutatás céljait szolgálták, de kifejezetten műszaki irányú ilyen intézmények is létrejöttek, ill. fejlődtek nagyarányú országos intézményekké, amelyeket elsősorban az alkalmazás igényei hívtak életre (pl. Bureau of Standards, National Physical Laboratory, Technisch-Physikalische Reichsanstalt, Laboratoire Central d'Électricité stb.).

Mi volt a helyzet ebben a periódusban Magyarországon?

A villamosipar az elveszített első világháború után, az abból adódó nehézségek következtében, a maga módján kereste azt a megoldást, ami az élvonalban való

megmaradását — és ezzel a jó minőséget garantáló exportképességét — az új körülmények között is, a legegyszerűbben biztosíthatja. A nagyarányú önálló (akár vállalati, akár állami) kutatásra való felfejlődés helyett más lehetőségek „párhuzamos kapcsolásával” igyekezett azt elérni, hogy gyártmányai mégis korszerűek és versenyképesek legyenek.

Az egyik ilyen lehetőség az volt, hogy — miután egyidejűleg a gyártól igényelt gyártmányféleségek száma is egyre nőtt — a saját önálló fejlesztésre való beállást azokra a területekre redukálta, ahol azt — részben előző fejlődése alapján — a legkönnyebben tehetette (így elsősorban a nagytranszformátorok és forgógépek, főként turbógenerátorok, a nagyvasúti villamos mozdonyok, a fogyasztásmérők és még néhány más területre korlátozta), részben olyan területekre, ahol számára a kutatás-fejlesztés kombinált vitele még megengedhetőnek látszott.

Megjegyzendő, hogy ebben az időszakban a fejlesztés módja is más volt, mint a későbbiekben. Erre a periódusra ugyanis még az volt a jellemző, hogy új géptípusok kialakítása nem prototípusok előzetes gyártása útján történt, hanem úgy, hogy konkrét rendelésre, kellő óvatossággal és biztonsággal való méretezés útján gyártották le az első darabokat. Az így elkészült gépek gondos mérése alapján állapították azután meg a típus, ill. az új sorozat végleges adatait.

A szinten maradás másik lehetősége az volt, hogy a magyar villamosipar más gyártmányokkal kapcsolatban is (pl. nagyfeszültségű megszakítók, mérőváltók és más energetikai berendezések, sőt kábelgyártás területén) licenciák, ill. anya—leányvállalat formával próbálta a gyártmányfejlesztési problémákat megoldani.

Míndez természetesen arra is vezetett, hogy az önálló kezdeményezés lehetősége nehezebbé vált. E periódus vége felé már voltak olyan megmozdulások, amelyek önálló hazai (vállalati, vagy központi állami) villamosipari laboratórium létesítését sürgették. Miután ebben az időben prohibítív importnehézségek nem gátolták azt, hogy a hazailag ki nem fejlesztett cikkeket egyszerűen külföldről szerezzük be, a hazailag önállóan, vagy licencia alapján gyártott anyag minősége pedig jó volt, ezeknek a törekvéseknek nem volt olyan imperatív jellege, ami gyors intézkedést igényelt, ill. vont volna maga után. Ezek a törekvések a második világháború idejére időszerűtlenné váltak. Ezzel a második periódus le is zárult.

*Harmadik periódus:* a második világháborút követő időszak.

A második világháborút követő időszakban Magyarországon a kutatást illetően radikálisan új helyzet állt elő. Röviden: a régi licenciacapcsolatok megszűntek, a leányvállalatok leváltak anyavállalataikról és önálló vállalatokká alakultak. Új kapcsolatok kialakítására nem lehetett várni. Pillanatnyi parancsoló szükségesség volt a saját lábra állás (ami elvben természetesen nem zárta ki azt, hogy — miután mindent önállóan fejleszteni amúgy is lehetetlen — a későbbiekben újabb licencia- és más kapcsolatok szükségessé ne válhassanak).

A kutatás vonalán ez lényegében azt jelentette, hogy amit a két világháború között még lehetett, tovább már nem volt lehetséges nélkülözni. Létkérdéssé vált, hogy a gyártmányfejlesztés modern eszközeit a gyári, ill. központi fejlesztő laboratóriumok, ill. kutatólaboratóriumok hálózatát Magyarországon is megteremtjük. A gyárak növelték erőfeszítéseiket, hogy fejlesztő részlegeket létesítsenek, ill. ha már ilyen volt, olyan szintre emeljék, amely legalább a legszükségesebb követelményeknek megfelel. A szó szorosabb értelemben vett kutatás önálló megindulását két dátum jellemzi.

— 1948-ban a Ganz Villamossági Művek létrehozta „Kísérleti és Kutatási Osztályát”, amit rövid időn belül főosztállyá minősített.

- 1949-ben az állam megkezdte az új szükségleteknek megfelelő állami központi kutatóintézetek létesítését (amelyeknek a száma, a legkülönbözőbb alaptudományi, ipari kutatási és nem természettudományos irányú kutatóintézeteket is beleértve, ma már több százat tesz ki) és ennek keretében már akkor — tehát az elsők között — megalapította a Villamosipari Központi Kutató Laboratóriumot, mai nevén: a Villamosipari Kutató Intézetet is.

Ez utóbbi a már említett Ganz Villamosági Művek Kísérleti és Kutatói Főosztályából alakult, de Magyarországnak ez a reprezentatív nagyvállalata is létesített egy újabb nagyobb laboratóriumot, amely lényegében a saját fejlesztési munkáját támasztja alá olyan területeken, ahol a fejlesztéssel való összefonódottság miatt vagy más oknál fogva a gyár nem kívánja külső kutatóhelyek (központi kutatóintézetek, egyetemi tanszékek stb.) munkáját igénybe venni. A további fejlődést még az is jellemzi, hogy

- 1968-ban a Villamosipari Kutató Intézet a Magyarországon bevezetett ún. új gazdasági mechanizmus célkitűzéseinek megfelelően — „központi kutató” jellegét megtartva (az Intézet továbbra is közvetlenül a Kohó- és Gépipari Minisztériumhoz tartozik) — gazdaságilag is önállóvá vált, amennyiben költségvetését a bevételeiből kell fedeznie, ami azt jelenti, hogy az Intézet kizárólag megrendelésre végez kutatómunkát, éspedig mind az állam számára (hosszú lejáratú távlati kutatások), mind a gyártó vállalatok számára (rövidebb lejáratú és aktuális kutatások).

Az azóta eltelt idő megmutatta, hogy az Intézet ily módon is prosperálni tud, ami megnyugtató bizonyítéka annak, hogy léte és működése megfelel a legalapvetőbb gazdasági feltételeknek.

A második bevezető kérdés, amiről a tulajdonképpeni beszámolóim előtt még szólnom kell, így fogalmazható meg: hogyan is jutottunk el idáig, más szóval milyen nehézségekkel kellett megküzdeni az alapító rendeletről az Intézet tényleges megszervezéséig, ill. kiépítéséig.

A fő nehézség az volt, hogy hazai viszonylatban jóval később tisztázódtak csak a kutatóintézetek létesítésével kapcsolatos elvi kérdések, mint általában más országokban, ami érthető is, ha arra gondolunk, hogy az egész problémakör egy vesztett háború után hirtelen szakadt az országra, amelynek újjáépítése érdekében pedig nem halasztható, gyors intézkedésekre volt szükség.

A párt és a kormányzat nem habozott, hogy a legszükségesebb intézkedéseket haladék nélkül meg is tegye (1949/3600 sz. rendelet). A későbbiekben azonban még hosszú ideig tág tere nyílt a különféle nézetek megütkezésének, amelyeknek egy része még a szükséges — és a hozzászólás jogához tulajdonképpen kötelező — tisztánlátást is, nem egy esetben nélkülözte. Ilyenek voltak például a kutatás és fejlesztés fogalmainak a sokak előtt való tisztázatlansága, a kettő szétválasztásának a külföldi gyakorlat által már régen szentesített szükségessége; a gyári és a központi kutatás szerepe, ill. annak alternatív vagy együttes szükségessége. Még olyan ki nem mondott nézet is volt, hogy a kutatóintézeteket egyes kiemelkedő személyek szaktudása, ill. irányítókézsége is pótolhatja, ami — mint azt az előzőkben láttuk — régebben lehetséges is volt, de amely nézet az időközben felfejlődött technika következtében már nem volt megalapozott.

Több-kevesebb csata és az ezzel járó felesleges akadályoztatás és késedelem árán végül is győzött az az álláspont — ami egyébként meg is felelt a 3600-as rendelet intencióinak —, hogy központi kutatóintézetekre és vállalati fejlesztő laboratóriumokra egyaránt szükség van. Tehát nem vagy-vagy, hanem is-is, valamint az — a ma már hazai viszonylatban is kialakult szinte magától értetődő — álláspont,

hogy a kutatóintézetek fő feladata a kutatás, míg a fejlesztő részlegek (intézetek, laboratóriumok) fő feladata a gyártmányfejlesztés.

Mint ahogy az a külföldi példák és fejlődés alapján várható volt, ez a sok „probléma” azóta le is került a napirendről.

A harmadik, most már érdemi kérdés, amire ezek után válaszolni kellett, az a következő: milyen irányban kell az erősáramú ipar bázis kutatóintézetének fejlődnie. E kérdésre a válasz az Intézet profiljának kialakítása volt.

Erre vonatkozóan a 15 éves jubileumunk alkalmából írt beszámolómból idézem a következőket:

Az Intézet általános rendeltetése: az erősáramú villamos gyártóipar folyamatos, korszerű fejlesztését — a világszintet szem előtt tartó és arra törekvő — folyamatos, korszerű kutatómunkával alátámasztani.

Közelebbi rendeltetése, mint központi, iparági kutatóintézetnek, elsősorban az erősáramú villamos gyártóiparnak, mint egésznek a kutatási igényeit kielégíteni. Iparági kutatás alatt azonban természetesen nemcsak azt a túlságosan leegyszerűsített meghatározást értve, hogy iparági kutatás az, ami az iparág összes vagy legalábbis több vállalatát érinti, hanem azt, hogy iparági kutatási feladat minden olyan kutatási feladat, amely az iparág helyes fejlesztését elősegíti és a legcélszerűbben, vagy kizárólag az iparág központi kutatóintézetében végezhető el.

Működési területe (osztályainak jellege) kezdetben a gyártóipar egyes fő gyártási ágaihoz igazodott (gépek, transzformátorok, készülékek stb.), azonban az egyes gyártási ágakat átfogó, a szó szorosabb értelmében vett kutatási osztályok beindítása sem váratott sokáig magára. Az első ilyen új — már az alapításkor megindított osztály — a szigetelőanyag-vegyészeti osztály volt, amit viszonylag rövid idő múlva egy szigetelőanyag-technológiai osztály létesítése követett, majd pedig — hazai viszonylatban teljesen új szektorként — egy automatika és szabályozási osztály létesítése, és egy félvezető osztály egészített ki. Utóbbi bővítések a kutatási súlypontképzést, ill. a hazai viszonylatban új gyártási szektorok bevezetését is célozták, amely szempontok a későbbiekben döntővé váltak.

Ez a fejlődés végül is a gyártási ágak szerinti csoportosításból túlnyomóan az átfogó, gyártási szektorok feletti, ill. egyes új szektorok bevezetését és fokozott megerősítését célzó, fokozatos átszervezést vont maga után. Az így kialakult kutatási főirányokat jelenleg a következő laboratóriumok (főosztályok) képviselik:

1. Szigetelőtechnikai Főosztály
2. Villamos Berendezés Főosztály
3. Félvezető Főosztály
4. Villamos Készülék Főosztály

Ezek a főosztályok két különböző helyen települnek:

— Központi laboratórium (Budapest, XV., Cservenka Miklós u. 86.) az 1., 2., és 4. Főosztályt foglalja magába.

— A 3. (Félvezető) Főosztályt az ott folyó kutatás igen kényes telepítési igényei miatt (igen tiszta levegő, rázkódásmentesség) külön helyeztük el Budán (Bp., XII., Istenhegyi u. 29.). Mindkét telephely további bővítése folyamatban van.

Az így kialakult kutatási főirányokat az jellemzi, hogy túlnyomóan gyártási szektorok feletti, éspedig

— vagy olyanok, hogy azoknak nem felel meg egy-egy gyártási szektor (így pl. nincs és nem is lehet — hacsak nem alkatrész vonatkozásban — szigetelőtechnikai gyártás vagy automatikai és szabályozástechnikai, ill. ipari elektronikai gyártás vagy tropikalizációs gyártás), mert ezek úgyszólván minden

gyárban jelentkező feladatok (nem gyártási szektorok, mint pl. a transzformátorgyártás, vagy a gépgyártás);

- vagy olyanok, amelyek összetartozó gyártási szektorokat, ill. alkalmazási területeket fognak át komplex módon (mint pl. félvezető-technika, villamos berendezések a legkülönbözőbb ipari célokra, a közlekedés számára stb.);
- vagy olyanok, amelyek ugyan nem „gyártási szektor felettiek” — mint a Villamos Készülék Főosztály esetében —, de eléggé szerteágazó, hosszabb idejű, erőteljesebben művelendő gyártmányfejlesztést támasztanak alá, átfogó egységes fejlesztési irányelvek alapján, a szükséges (viszonylag költséges) próbaberendezések egyszeri létesítésére, mint közös célú alapberendezésre támaszkodva.

A komplex kutatási témák többnyire egy-egy főosztályon belül jelentkeznek oly módon, hogy több osztály szervezett együttműködése válik szükségessé. Vannak azonban olyan témák is, amelyek több főosztály együttműködését igénylik, sőt, olyan feladat is van, ami csak az összes főosztály szervezett együttműködésével oldható meg. (Ilyen feladat volt pl. a 3000 LE-s szilícium egyenirányító mozdonnyal kapcsolatos kutatás.)

Az Intézet kutatás-szervezési vezérelve tehát döntően arra irányult, hogy megkeresse azt az állandónak vagy legalábbis hosszú lejáratúnak ígérkező, kevés számú kutatási kört, amely a hazai erőáramú ipar fejlődését a legjobban elősegíteni látszik.

A kutatás módjának vezérelvei a következők:

- az ipari kutatást egyre több területen műszaki alapkutatással is alá kell támasztani;
- az ipari kutatás eredményeit, ahol csak lehetséges, előbb-utóbb legalább a prototípusokig, egyes esetekben a kis sorozatgyártásig kell kifejleszteni, bizonyos esetekben a célgépek kifejlesztését is ideértve.

Ennek megfelelően az ipari kutatóintézetnek egyrészt — éppen a leg-élenjáróbb területeken — aktuális (szükségyszerű) műszaki alapkutatással is kell foglalkoznia. Kívánatos, hogy ezen felül még nagy távlatra irányított műszaki alapkutatással is foglalkozzék. Mérésről arra kell törekedni, hogy saját kísérleti műhellyel (ill. műhellyekkel) rendelkezzen, az egyes fő profiljainak megfelelő mértékben és felszereléssel.

A folyó témákat tudományosan megalapozó távlati kutatás az egyes laboratóriumokban, az átfogó jellegű témák kutatása pedig az Intézet távlati fejlesztési osztálya keretében folyik.

Laboratóriumi, ill. főosztályi szinten már régebben létrehoztunk egy elméleti csoportot a Villamos Berendezés Főosztály keretében és fokoztuk az alapkutatás jellegű munkákat a szigeteléstechnikai laboratórium keretében is, amit a jövőben igyekszünk még szervezetebb formában kiépíteni.

A félvezető-kutatás vonalán — csakúgy, mint a készülékkutatás területén — az alapkutatás az ipari kutatás állandó szükségyszerű velejárájaként jelentkezik, ami külön szervezési formát nem igényel.

A Távlati Fejlesztési Osztály keretében folyó távlati alapkutatás tekintetében kiemelhetjük a tüzelőanyagelem-kutatások megindulását, amely szektor a villamosenergia ún. közvetlen előállítását célzó kutatások megindítását jelenti.

A kísérleti műhelyek kérdését az Intézet elsősorban a félvezető elemek kifejlesztésével kapcsolatban kívánja megoldani. Az építkezés már meg is indult.

A villamos berendezések és készülékek komplettebb realizálása érdekében meglevő műhelyünket kívánjuk ilyen irányban fejleszteni, szigeteléstechnikai vonatkozásban pedig — addig is, amíg a megtervezett, de még meg nem épült félüzemi

laboratóriummunka megvalósítható lesz — az érdekelt gyárakkal lépünk szoros összeköttetésbe állandó jelleggel kihelyezett bevezető részleg útján (mint az például a Villamosszigetelő és Műanyaggyár esetében történt).

Speciális technológiája miatt egészen különálló kísérleti laboratóriumot építettünk a villamos kerámiák felfejlesztése érdekében. Ez 1968 végére készült el. Ebben az épületben helyeztük el szigetelőtechnikai laboratóriumunk már ma szükséges félüzemi részlegeit is.

A kutatási témák kijelölése során szem előtt tartott vezető szempontok általában a következők voltak:

- a hazai nyersanyagbázis minél jobb és racionálisabb kihasználása; ezzel összefüggésben
- a nyersanyag export—import-egyenleg minél kedvezőbb kialakítása;
- exportképes korszerű gyártmányok kidolgozása;
- a távlati kutatási terveknek a távlati iparfejlesztési tervekhez való alkalmazkodása;
- a külföldi és hazai kutatóintézetekkel való szoros kapcsolat kihasználása, ugyancsak a kutatás racionalizálásának érdekében.

Ami kutatási eredményeink közzétételét illeti, ezeket nemcsak hazai, hanem külföldi szakfolyóiratokban és hazai, valamint külföldi előadások formájában is ismertetjük. Emellett 1966 óta saját kiadvánnyal is rendelkezünk „A Villamosipari Kutató Intézet Közleményei” címmel.

Az utóbbi évekkel kapcsolatban mindezt még azzal kell kiegészítenem, hogy az új gazdasági mechanizmus miként befolyásolta az Intézet tevékenységét. Az utolsó és talán a legfőbb kérdés az, hogy miután megállapítottuk, hogy az Intézet gazdasági létét az új mechanizmus nem veszélyezteti, sőt, az pro futuro még előnyére is válhat — nem veszélyezteti-e az az Intézet fejlődését a tudományos kutatás szempontjából.

Ezzel a kérdéssel érdemes kissé részletesebben is foglalkozni.

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

Az Intézet tevékenységi és szolgáltatási körének tágításával igyekszik erre a helyzetre felkészülni. Szolgáltatási köre a kivitelezési és mérési lehetőségekkel bővül. Sok rendelés elvállalását ugyanis az nehezíti meg, hogy a kutatás eredményeként megszülető termék egy sor olyan részletet tartalmaz, amelynek gyártására az ipar még nincs felkészülve. Ilyenkor lényegesen meggyorsítja az eredmények realizálását a saját kísérleti üzem, amely részben vagy egészben előállítja az első darabokat.

Talán itt célszerű megemlíteni azt is, hogy az Intézet nagyteljesítményű mérések céljaira létrehozott próbaterme nemcsak a közvetlen kutatómunkát segíti elő, hanem vizsgálati és mérési lehetőségeivel a termelő vállalatoknak is rendelkezésére áll, akár a mi eredményeinkről, akár saját fejlesztésükből származó gyártmányok vizsgálatáról van szó.

De térjünk vissza az új gazdasági mechanizmusnak a kutatás jellegére és tartamára gyakorolt hatására.

Induljunk ki a pillanatnyi helyzetképből. Ez azt mutatja, hogy viszonylag sok

a gyártási és fejlesztési tétel; ennél ugyan sokkal több a kutatási-fejlesztési tétel (régii kutatási eredmények alapján, vagy új fejlesztési igényekkel párosultan), de kevés a valóban tisztán kutatási téma.

Miután a tisztán fejlesztési tételek és a kutatási-fejlesztési tételek megkülönböztetése nem egyszerű feladat, részletes statisztikai adatok megadásának nem volna sok értelme. Durván azonban annyi mégis megállapítható, hogy az első három tétel összesen mintegy 60...70%-ot tehet ki, amivel szemben tehát mintegy 30...40% tiszta kutatásnak számítótétel áll. Ehhez még hozzá kell tenni azt is, hogy ez utóbbi tételek legnagyobb része ma még központi finanszírozású, és úgy látszik, hogy a vállalatok részese a távlati kutatások megrendelésében csak viszonylag lassan fog előtérbe kerülni.

Bár a kívánatos helyzetre még nehezebb volna konkrét számokat mondani, mégis megkockáztathatjuk azt a becslést, hogy a központilag finanszírozott tételek volumene az új mechanizmusnak a már kibontakozott fázisában sem lesz kevesebb 20...30%-nál, és a vállalatok várható távlati kutatási megrendeléseik főként a jelenlegi fejlesztés-kutatási tételek helyébe lépve fogják a távlati kutatások összesített százalékát megemlíteni.

Így racionálisnak látszana a következő összetétel:

	Becslés	Átlagban	Összesen
Állami távlati kutatások	20...30%	25%	
Vállalati távlati kutatások	10...20%	15%	
Rövidebb távú kutatások	20...30%	25%	
Kutatások összesen:			65%
Fejlesztés és gyártás	30...40%		35%
<b>Összesen:</b>			<b>100%</b>

A lényeg az, hogy az egész durván vett  $\frac{1}{3}$  kutatás  $\frac{2}{3}$  fejlesztés és gyártás arányoknak kellene megfordulnia  $\frac{2}{3}$  kutatásra és  $\frac{1}{3}$  fejlesztésre és gyártásra. Ahhoz, hogy ez kialakulhasson, becslésünk szerint még mintegy 2...3 évre lesz szükség.

De miért tartjuk ezt az átalakulást kívánatosnak, hiszen kétségtelen, hogy a jelenlegi %-os összetétel mellett is igen hasznos munkát végez az Intézet az iparág számára és el is tudja tartani magát. De lehet-e csupán ennyi az Intézet célkitűzése? Nyilvánvalóan nem! A cél ugyanis nem az, hogy a kutatóintézet megéljen (ez legfeljebb átmeneti cél lehet), hanem az, hogy a kutatóintézetben rejlő potenciális energiát maximálisan kihasználhassuk.

Rögzítsük le tehát még egyszer, hogy mire is kell képesnek lennie egy kutatóintézetnek (azonfelül természetesen, hogy az aktuális fejlesztésben is nagy segítséget kell, hogy nyújtson az iparnak):

1. Olyan kutatási szektorokat kívánatos elsősorban létesíteni, amelyek több gyárat, vagy az erősáramú iparág egészét szolgálják ki és ezzel a folyamatban levő, vagy közeli fejlesztéseket tudják széles körben alátámasztani a szükséges kutatásokkal.
2. Legfőképpen azonban úgy kell a központi kutatóintézet egyes kutatólaboratórium egységeit kialakítani, hogy azok ne csak a meglévő (már ismert) gyártási ágakhoz, ill. azok gyártmányaihoz igazodjanak, hanem alkalmasak legyenek arra is, hogy a gyártásban még nem levő újdonságok kifejlesztéséhez is meg tudják adni a szükséges, magas szintű kutatási alapot (pl. új típusú tirisztoros hajtások, szabályozások, újfajta anyagok, mint pl. villamos kerámiák stb.).

3. Még ezen is túlmenően az Intézet személyi és felszereltségi felkészültségének arra is alkalmasnak kell lennie (sőt, elsősorban erre kell alkalmasnak lennie), hogy olyan egészen új gyártási ágak, ill. műszaki alapelvek megalapozására is alkalmas legyen, mint pl. annak idején hazai viszonylatban a szigetelőanyag kutatás megalapozása, és a félvezetőtechnika megalapozása volt. Ilyen speciális területek voltak még: a legkülönbözőbb korszerű hajtásszabályozások, a szünetmentes áramforrások, a legkülönbözőbb célú egyenirányító, ill. váltóirányító berendezések (pl. nagyteljesítményű villamos mozdonyokhoz, földalatti vasúthoz, városi villamos vasutak táplálásához stb.) és ilyen feladat jelenleg a számítógépes technika bevezetése az erősáramú villamosiparba.

Talán azt sem árt végül ismételtelen leszögezni, hogy az Intézetnek a jövőben is kell gyártási tevékenységet is folytatnia. Ennek a legfőbb indokai a következők:

- Lehetőséget kell biztosítani arra, hogy a kutatás eredménye a prototípusig és nem egy esetben a kis sorozatgyártásig terjedjen (meggyőzőbb átadás a gyáraknak, kevesebb nehézség a gyártás bevezetésénél).
- Olyan esetekben, amikor a kutatás eredménye viszonylag szűkkörű igényt elégít ki (pl. mérő- és ellenőrző berendezések, bizonyos fajta szabályozások), amikor tehát az ipari bevezetés nem látszik indokoltnak, de az igény fennáll, a kutatóintézeteknek kell a kisorsozatok gyártásáról is gondoskodnia.

Miután képet nyújtottam az intézet célkitűzéseiről, munkaterületeinek kialakításáról, kutatásainak és eredményeinek általános jellegéről, helyénvalónak látszik, hogy az Intézet egyes laboratóriumainak a jelentősebb eredményeiről legalább rövid, példaszzerű áttekintést adjak. (A rövidség kedvéért csupán utalok a legutóbbi 15 éves jubileumi beszámolómban szereplő tételekre.)

Az egyes főosztályoknak az utolsó 5 évben elért legkiemelkedőbb eredményeit az alábbiakban foglalom össze:

## 1. Főosztály

- Az erősáramú villamos kerámiaipar kutatási-fejlesztési és technológiai megalapozása; a legkülönbözőbb alkalmazások gyárszerű megvalósítása.
- A műanyag szigetelések több irányú továbbfejlesztése (pl. műanyag bandázs-szalag kidolgozása és előállítása, epoxi alapú minőségi rétegelt lemez előállítása, folírozott lemezek fejlesztése stb);
- minőségi, melamin-gyanta alapú présporok kifejlesztése és gyártás bevezetése;
- a szigetelőanyagok és szigetelések öregedésének vizsgálata motorett és derivatográfias módszerrel;
- különféle félautomatikus, szigetelőanyag-vizsgáló mérőberendezések kidolgozása és előállítása;
- korszerű főzőlapok kifejlesztése és kísérleti gyártásának megkezdése.



## 2. Főosztály

- Félvezető egyenirányító berendezések a legkülönbözőbb célokra. (3000 LE-s szilícium egyenirányítós mozdony fő- és segédegyenirányító berendezéseinek kidolgozása és gyártás bevezetése, a földalatti vasút egyenirányító berendezéseinek a tervezésében való részvétel. A helyiérdekű vasutak egyenirányító állomásának kidolgozása és a gyártás bevezetése, vegyipari alkalmazások stb.);
- komplex nagy teljesítményű hajtások és egyedi nagy pontosságú hajtások és szabályozások (blokk- és bugasor hajtások és egyéb kohászati hajtások, különböző rendeltetésű tirisztoros hajtások stb.);
- járművillamossági berendezések (komplett vonatvilágítási rendszer kidolgozása, nagyvasúti feszültségszabályozók, fénycső- és borotva-inverterek, hajózási szabályozóberendezések kidolgozása stb.);
- tirisztoros inverterek különféle célokra (pl. szükségáramforrás);
- kompaundált generátorsorozat kialakítása;
- forgógépes szünetmentes áramforrások frekvencia- és töltés-szabályozása;
- félvezetős ívkemence-szabályozók;
- hálózati feszültségszabályozók továbbfejlesztése;
- korszerű, ún. kis Epstein-készülék kifejlesztése és előállítása.

## 3. Főosztály

- A félvezető elemek (diódák, tirisztorok) fejlesztéséhez és gyártásához szükséges technológiák fokozatos, teljes (vertikális) kiépítése, a hazai egykristály-szükséglet ellátásának megvalósítása, polikristály-gyártás előkészítése;
- vezérelhető dióda- (tirisztor-) sorozatok kifejlesztése és előállítása;
- a nemzetközi gyakorlatnak megfelelő összes ellenőrző mérés végrehajtására alkalmas berendezéssorozat teljes kifejlesztése a tirisztorokra vonatkozóan is;
- a termovillamos félvezető elemek szinterelt technológiájának és jóságai fokának a továbbfejlesztése;
- túlfeszültség-levezető elemek és egyéb nemlineáris védelmi elemek továbbfejlesztése;
- villamos hajtású városi kisautó-modell kifejlesztése (mintapéldány bemutatva az 1968. évi BNV-on);
- elektrodinamikus formázás megvalósítása.

## 4. Főosztály

- Az NNGf biztosítók gyártási technológiájának a teljes kidolgozása és gyártásának bevezetése. (Mind a gyártmány, mind a gyártási technológia előnyösen exportálható);
- az NNGfe nagy megszakító-képességű és a teljes áramtartományra kiterjedően megbízhatóan működő áramkorlátozó olvadóbiztosító-sorozat kidolgozása a DIN 43 625 előírásai szerinti külső méretekkkel és nagy rugóerejű kioldószerkezettel;  
(a teljes áramtartományban működő biztosítókra vonatkozó szabvány kidolgozásában és annak nemzetközi elfogadtatásában való közreműködés);

- a kiszűzültségű kapcsolókészülékek alapvető kérdéseinek szisztematikus tisztázása (a legkedvezőbb áramút, legkedvezőbb be- és kikapcsolási sebesség, visszapattanás, az áramköri paraméterek befolyása, az árammegszakítás módjának tanulmányozása váltakozó és egyenáramú áramkörökben);
- a külföldi vizsgáló laboratóriumokban (KEMA, CESI, BECHOVICE, IPH) végzett összes nagyfeszültségű és nagyteljesítményű vizsgálatokon való részvétel és vizsgálatok egységes értékelése;
- a kiszűzültségű váltakozó- és egyenáramú zárlati laboratóriumok üzembe helyezése, különleges mérőszközök és berendezések kidolgozása.

Külön említtem meg a tüzelőanyag-elemek nehéz területén elért értékes részeredményeket, amelyek egy részének publikálása a közeljövőben várható.

Bevezetésemben azt írtam, hogy 20 év „már elegendő idő ahhoz, hogy egy tudományos kutató intézet felfejlődjék — egyrészt tudományos kérdések és felszerelés, másrészt végleges működési területeinek a kialakítása szempontjából is — és tudományos rendeltetésének megfelelő, átütőképessé, világviszonylatban is nívós tudományos kutató intézetté váljék”.

Nyilvánvalóan nem az én feladatomban annak az elbírálása, hogy az így értelmezett fejlődést milyen mértékben sikerült megvalósítanunk. Legfeljebb utalhatok arra, hogy az intézet számos külföldi elismerést is elkönyvelhet, így elsősorban *Antonov* szovjet miniszterét, valamint *Petrov* professzorát, aki a Szovjetunió egyik vezető szakértője, de külföldi gyárvállalatokét is, így pl. a leningrádi Elektroszila gyárét és a berlini Borsig gyárét is, akikkel közvetlen együttműködésben voltunk, illetve vagyunk. De kapitalista viszonylatban is nem egy elismerésben volt részünk; olyanban is, aminek a kihatásai messzesemenő anyagi előnyökkel jártak az ország számára.

Az intézeti munka nívóját és népgazdasági eredményességét hirdeti számos olyan intézeti, illetve illetőleg intézeti eredményeken alapuló exportcikk, amely elsőosztályú villamosiparral rendelkező országokban (Franciaország, Svédország) is versenyképesnek bizonyult, ill. egészen távoli országokba is eljutott (India, Kína).

Megemlítem végül még azt is, hogy az eredmények általános értékelését megkönnyíti a műszaki tudományos elismerések és kitüntetéseknek az a hosszú sora, amiben az Intézet dolgozói az eltelt 20 év folyamán részesültek. Ezek közül csak annak a kiemelésére szorítkozom, hogy ez alatt az idő alatt Kossuth-díjban az Intézet négy tagja részesült.

Befejezésül szeretnék még néhány szóval arra kitérni, hogy milyen módon igyekeztem a fentiek szerint értelmezett felfejlődést elérni. Egyrészt azért, mert úgy gondolom, hogy az mások számára is hasznos elemeket tartalmaz, de azért is, mert ezen az úton tudom bevezetni az arra adandó válaszomat, hogy mire is vonatkozott az a megjegyzés, hogy „ez a 20 éves jubileum egyúttal egyfajta határkő is az Intézet történetében”. A felfejlődés témájával kapcsolatban ismét vissza kell térnem az intézet alapításáig, sőt még az alapítást megelőző néhány körülményre is.

Működésem, különösen pedig kutató intézeti vezetői működésem során óriási előny volt számomra, hogy mérnöki képzésem mellett az alaptudományokban is széles körű ismeretekre tudtam szert tenni, amit a Műegyetemen töltött hosszú évek mellett elsősorban a Franciaországban, Párizsban a Sorbonne-on végzett fizikai tanulmányaimnak köszönhetek, ahol a sokoldalú, világhírű tudós: *Charles Fabry* professzor volt a mesterem és ahol olyan nagy neveket volt módomban hallgatni, mint például *Mme Curie*, *Perrin*, *De Broglie*, *Brillouin*, *Raman* és mások.

Kezdetben a saját, személyes kutató intézeti gyakorlatomon kívül csak néhány, széles körű tudással rendelkező idősebb szakember segítségére támaszkodhattam, akik mellé — de azoktól függetlenül is — főként az újnak számító területeken olyan

fiatalokat igyekeztem beállítani, akik lehetőleg már valamilyen egyetemi (tanszéki) továbbképzésben is részesültek (pl. fizikából, kémiából stb.). Az új vezetőgárdát, akik a szaporodó létszám további betanításában a szükséges segítséget is már meg tudták adni, főként ebből, a vezetésre alkalmas, és már a kutatásban is begyakorolt keretből választottam ki. Azt, hogy ez a káderképzési mód, ill. az ezt biztosító válogatásmód lényegében sikeres volt, két tény is bizonyítja.

Az egyik az, hogy ez az „alapgárda” az idősebb szakértők fokozatos kihalásával valóban át is tudta venni a vezetést, sőt, még javítani is tudta annak következtében, hogy a kutatásban nőtt fel. A másik az, hogy közülük — az idők folyamán — nem egy országos, sőt nem egy esetben nemzetközi hírnévre is szert tett, amellyel nemcsak, hogy egy má kialakult, befutott és elismert, jelentős kutatóintézet hírnevét is öregbíteni tudta, de saját szakterületének elismert szakértőjeként a hazai ipar fejlesztése tekintetében is — és az iparvállalatok, valamint a felső iparvezetés elismert szakértőjeként is — jelentős szerephez jutott.

E válogatásmód sikerességét magam is közvetlenül tapasztaltam abban az egyre növekedő segítségben, amit ez a vezetőgárda a főosztályvezetőkkel az élen, nekem az Intézet vezetésében nyújtani tudott. Kérem, fogadják ezért az Intézet kiépítésében nyújtott segítségükért megkülönböztetett köszönetemet.

Ezt a segítségnyújtást mint eredményt azért is ki akartam domborítani, mert nézetem szerint jól kiépített Intézetben a felfejlesztés során a hangsúlyt a jól lépcsőzött és ennek megfelelő magasfokú tudással és irányítókészséggel rendelkező vezető-káderek kinevelésére helyezik. Az intézet ennek következtében fokozatosan és szinte automatikusan olyanná válik, hogy vezetését előbb-utóbb azzal a megnyugvással lehet átadni, hogy az olyan értelemben felkészült, mint egy jól összehangolt „zenekar”, amely már karmester nélkül is tudna játszani, de aminek a teljes kiteljesedéséhez mégiscsak kell a rátermett karmester, aki a vezetés jelentette többletet nyújtani képes és aki az új feladatok kijelölésére is alkalmas és azokat végre is tudja hajtani, ill. hajtatni.

A VKI „zenekar” úgy ítélem meg, elérkezett erre a fokra s így több mint 40 éves szolgálata után — melyből közel 20 év a VKI szervezésére és kifejlesztésére jutott — nyugodt lelkiismerettel adhatom át a karmesteri pálcát.

Kívánom — és meg is vagyok győződve róla —, hogy utódom a hagyatékként az elmúlt közel két évtized során összegyűlt szellemi és materiális értékeket nemcsak megtartani, hanem az új idő szabta új követelmények szellemében gyarapítani is fogja.

Nem tartom ildomosnak, de szükségesnek sem, hogy az új követelményekről részletesen is szóljak és — a fortiori — hogy azokra nézve ez alkalommal bármiféle tanáccsal is szolgáljak. Mégis rá szeretnék mutatni néhány olyan irányzatra, ami, ahogy mondani szokás „a levegőben van” és pedig azon a jögcímen, hogy ezeken a vonalakon az Intézet már eddig is tett bizonyos kezdő lépéseket, illetőleg — ha módjában állott volna — szeretett volna ilyeneket tenni. Az egyik ilyen irányzat az, hogy az intézet munkájában a sokoldalú hozzáértést „team-work”-szerűen egyesítsük (villamosmérnökök mellett a kellő helyen fizikusokat, vegyészeket, gépészmérnököket és gyártási szakértőket alkalmazzunk rendszeresen, vagy alkalmi komplex együttműködés céljából) és általában ne csak a kész gyártmányok kooperatív kialakítására törekedjünk, de már kezdettől fogva is így indítsuk útra az egyes bonyolultabb kutatási feladatokat. E komplex együttműködés magasabb formája az osztály, illetőleg főosztályközi komplex munka, amire sikeres példaként a 3000 LE-s félvezetősz mozdony kidolgozásával kapcsolatos kutatásokat hozhatom fel, mint amelyben valamennyi főosztály részt vett.

Egy másik ilyen irányzat, az iparvállalatokkal való közvetlen kapcsolatfelvétel mind elmélyültebb kiépítése éspedig nem csak műszaki, hanem a kölcsönös előnyökre alapított gazdasági kapcsolatok kiépítése tekintetében is. Ez az Intézet által már régebben követett irányzat szerencsésen torkolt bele az új gazdasági irányítási rendszerbe. Ez tehát ily módon intézeti saját próbálkozásból hivatalos feladattá vált.

Nagyon szeretném végül, ha egy másik régebbi műszaki—gazdasági elgondolásom is hasonló pozitív kifejtésre vezetne. E téren — sajnos — bevezető lépéseket nem volt módunkban tenni, mint azt az előző irányzattal kapcsolatban megtehettük, ugyanis ebben az esetben csak egy már kialakult országos álláspont, illetőleg meglevő államközi megállapodáson nyugvó kormányhatározat után reagálhatnak az intézmények, illetve vállalatok. Amire célok, az a KGST eddigi koordináló munkájának a kiszélesítése, vagy olyan más nemzetközi megállapodásokkal való „megfejelése”, ami a műszaki tudományos kapcsolatokat és a gyártási feladatmegoszlást egy magasabb integrációs szint keretében foglalja össze.

Amidőn az Intézet hagyományos és újszerű feladatainak a végrehajtásához sok szerencsét kívánok, ígérem, hogy a jövőben, mint az Intézet főtanácsadója, a magam részéről is, tőlem telhetően, a legnagyobb segítséget fogom nyújtani.

Befejezésül szeretnék még köszönetet mondani mindazoknak, akik az elmúlt 20 év folyamán felettes hatóságunk, a KGM részéről lehetővé tették, illetőleg elősegítették az Intézet mai szintjére való felfuttatását.

Örömmel közölhetem, hogy névsoruk — a miniszterektől, a szakminiszter helyettesektől kezdve, különféle beosztású más vezetőkön keresztül, számos beosztott dolgozóig, akik mind szívükön viselték a VKI fejlesztésének az ügyét — olyan hosszú listát tenne ki, amely a szokásos keretet messze túllépné és ezzel a kiemelés jellegét is veszélyeztetné. Ezért utalva többszöri más helyen való névszerinti köszönetnyilvánításainkra, ismételt köszönetem kifejezése mellett szíves elnézésüket kérem, hogy a névszerinti felsorolást ezúttal mellőzöm.

„Last but not least” a legőszintébb köszönetemet fejezem ki valamennyi munkatársamnak, akik az elmúlt közel 20 év folyamán hozzásegítettek ahhoz, hogy az Intézet neve belföldön és külföldön egyaránt jó csengésű legyen és akiknek a szívós és rátermett munkája nélkül azok az eredmények, amivel az Intézet a hazai villamosipar fejlesztéséhez hozzá tudott járulni, nem lettek volna elérhetőek.

Mondani szokták, hogy egy Intézet hírneve olyan, amilyenné azt az annak keretében dolgozók tenni tudják. Szilárd meggyőződésem, hogy a Villamosipari Kutató Intézet hírneve a jövőben is csak emelkedhet.

# *Dr. Urbanek János 20 éven át vezette a Villamosipari Kutató Intézetet*

DR. GÁGYOR PÁL

Dr. Urbanek János műegyetemi magántanárt, a Ganz Villamossági Gyár Kutatási Főosztályának vezetőjét, 1949 májusában bízta meg kormányzatunk a Villamosipari Központi Kutatólaboratórium, későbbiekben Villamosipari Kutató Intézet megszervezésével, illetve vezetésével.

Dr. Urbanek János nyugdíjba vonulásáig, 1968 áprilisáig vezette az Intézetet mint annak első igazgatója.

Ezen alkalomból szeretnénk rövid visszapillantást adni dr. Urbanek János pályájáról és az azzal szorosan összefonódott Villamosipari Kutató Intézet fejlődéséről.

Dr. Urbanek János a budapesti Műegyetemen végezte el gépészmérnöki tanulmányait 1927-ben. Ezután a Műegyetemen a Villamosgépek és Mérések Tanszékén tanársegédként dolgozott. Ugyanezen évben állami ösztöndíjjal Párizsba ment, ahol három évet töltött a párizsi egyetem egyik kutatóintézetében.

1930-ban a Sorbonne-on tett vizsgájával, kitűnő minősítéssel szerezte meg a párizsi egyetem doktori fokozatát, az alkalmazott fizika tárgyköréből. Doktori értekezésével elnyerte az akkor első ízben kiadott „Prix Arthur Capel” tudományos díjat is.

Műegyetemi munkahelyére visszatérve a megkezdett kutatások folytatása mellett, mint a tanszék tanársegédje, később adjunktusa, főként villamosgépekkel, valamint villamos és mágneses mérésekkel foglalkozott, de működött az elméleti villamosság-tan és a világítástechnika területén is. Eredményeit számos hazai és külföldi közleményben hozta nyilvánosságra.

1941-ben műegyetemi magántanári képesítést szerzett. Egy évvel később jelentette meg a „Világítástechnika” című könyvét, amely abban az időben hézagpótló jellegűnek számított.

1944 nyarán a Ganz Villamossági Gyár szolgálatába lépett a próbaterem helyettes vezetőjeként. 1948-ban a gyárban létesített kísérleti és kutatási osztály — későbbiekben főosztály — élére nevezték ki. Ebben a minőségben nyerte a VKI megszervezésére és vezetésére vonatkozó megbízatását.

Ezen időponttól kezdve teljes energiáját az Intézet szervezésére és fejlesztésére fordította, fenntartva a Műegyetemmel való kapcsolatot, ahol évekig működött, mint meghívott előadó.

Előadásainak összefoglalását adta „Bevezetés az elméleti villamosság-tanba” című ismert könyvében. A villamosság-tan egyenleteinek írásmódjára és egység-rendszereire vonatkozóan a Műszaki Kiadónál, illetve az Akadémiai Kiadónál jelent meg egy-egy könyve.

Jelentősebb műszaki eredményei:

- a nagyteljesítményű árammegszakítók óriás porcelánjainak módosítása, amely a gyártási selejtet a pécsi porcelángyárban minimálisra csökkentette;
- igen sokféle átkapcsolási lehetőséget biztosító keresztrendszerű kapcsolótábla, amely igen kis helyszükséglettel valósítható meg;
- a turbógenerátorok hűtőgépes kiegészítő hűtése, amely lehetővé teszi a meddő teljesítmény nagyobb, a hatásos teljesítmény kisebb mértékű növelését. Egy ilyen kivitel, teljesítmény—fordulatszám-szabályozással kiegészítve, jelenleg került üzembe sikerral a Kelenföldi Erőműben;
- a turbógenerátorok hűtőgépes hűtéséért, valamint „Bevezetés az elméleti villamosságtanba” című tankönyvéért dr. Urbanek János 1954-ben Kossuth-díjban részesült;
- a fentiekben vázolt műszaki tudományos működésen túlmenően, dr. Urbanek János legnagyobb érdemének a VKI megszervezését és annak nemzetközi szintre való fejlesztését tekintjük.

Miben foglalhatók össze azok a motívumok, amelyek a fentiek elérését, az eredmények biztosítását lehetővé tették, s amelyek az erősáramú ipari kutatás területén az ő nevéhez fűződnek.

Első és fő érdemként elmondhatjuk, hogy tudományos és műszaki felkészültségével, optimizmusával és kitartásával, a lehetőségek mindenkor józan mérlegelésével, számos személyi és tárgyi akadály áthidalásával elérte azt, hogy nulla szintről indulva a hazai erősáramú iparág sokrétű feladatainak megoldására alkalmas olyan bázisintézetet valósított meg, amely a feladatok megoldásához viszonylag gyorsan alkalmazkodni tud.

Ezen feladat megoldása során kezdetben lényegében csak saját elgondolásaira támaszkodhatott és bizonyos mértékig az akkori idősebb osztályvezetőkre, akik ipari áttekintéssel rendelkeztek, de kutatási praxisuk igen csekély volt.

E területen csak a későbbiekben kialakult, már a kutatásban felnőtt fiatalabb vezetőgárda jelentett lényegesebb változást és ez a nagyobb arányú intézetfejlesztést is lehetővé tette.

Dr. Urbanek János igen lényeges érdeme volt, hogy az Intézetet magas tudományos szinten vezette, amely az Intézet több tudományágra kiterjedő működési körét tekintve igen lényeges teljesítmény. Kezdetől fogva gondosan törekedett arra, hogy az Intézet eredményeinek, jelentéseinek és közleményeinek tudományos szintje mindenkor a legmagasabb legyen. Ezzel a legtöbb esetben sikerült elérnie, hogy az Intézet munkáját igénybevevő gyárak, vállalatok a szolgáltatott eredményekkel elégedettek voltak.

Az Intézet fejlesztésének három tényezője: felkészült káderek, a korszerű felszerelés és a megfelelő elhelyezés közül a leglényegesebbnek a fiatal műszaki káderek nevelését és munkájuknak helyes irányba való terelését tartotta. Ezzel kapcsolatban óvakodott attól, hogy részletkérdésekbe való beleavatkozással csökkentse önálló alkotó kedvüket. Nyíltan meg kell mondani azt is, hogy saját személyének az eredmények terén történő előtérbe állításával soha a legkisebb mértékben sem igyekezett beárnyékolni a fiatalabb szakemberek erőfeszítéseit.

A fentiekkel sikerült elérnie azt, hogy az Intézetben olyan önálló kutatásra alkalmas gárda alakult ki, amely az Intézet jelenlegi négy fő kutatási területét: automatika és szabályozástechnika, szigetelés technika, félvezetőtechnika és villamos készülékfejlesztés, önállóan képes vinni.

Az elhelyezéshez szükséges épületek létesítését már 1950-ben megkezdte és egyéb

tényezőkön múlt, hogy az Intézet végleges elhelyezését fennállásának csak 15. évében nyerte el. Az Intézet beruházásainak irányítását saját kezében összpontosította. Az Intézet felszerelése, ha jelenleg nem is mindenben a legkorszerűbb, eléggé kiépített ahhoz, hogy a leggyakrabban előforduló igényeket a kellő szinten kielégíteni legyen képes. Az Intézet elhelyezése jelenleg olyan, hogy területi gondjai hosszú időre nincsenek.

Az intézetvezetés terén elért érdemeit kormányunk a Magyar Népköztársaság Érdemrend arany fokozatának és 1968-ban a Munka Érdemrend arany fokozatának adományozásával ismerte el.

Műszaki tevékenységének ismertetése után néhány szóval vázoljuk emberi tulajdonságait is. Ezek közül elsősorban humanizmusát kell kiemelnünk. Az Intézetet a legnehezebb pillanatokon és a legveszélyesebb helyzeteken átségítette töretlen optimizmusa. A műszaki tudományokon túllépő érdeklődési köre, amely részben a képzőművészetek, részben a szellemi tudományok felé irányult, hozzásegítette ahhoz, hogy a kérdéseket egy magasabb nézőpontból értékelje.

Dr. Urbanek János jelenleg, életművének is nevezhető enciklopédia megírásán fáradozik. A készülő könyv az erősáramú villamosipari anyagokat tárgyalja atomfizikai szempontból, különös tekintettel a tulajdonságok és szerkezeti felépítés összefüggéseire. Amikor a könyv befejezéséhez erőt és egészséget kívánunk, egyben őszintén óhajtjuk, hogy jelenlegi minőségében — mint az Intézet tanácsadója — még sokáig támogassa az Intézetet további feladatainak megoldásában.

A kohó- és gépipari miniszter 1968 áprilisában dr. Urbanek János egyik legtehetségesebb munkatársát, dr. Lukács Józsefet bízta meg az Intézet vezetésével.

Dr. Lukács József 1948-ban fejezte be egyetemi tanulmányait. 1949-ben „Sub laurea” arany gyűrűvel műszaki doktorrá avatták. 1957-ben megszerezte a „műszaki tudományok kandidátusa”, 1968-ban a „műszaki tudományok doktora” tudományos fokozatot.

Dr. Lukács József az Intézet alapításától kezdve különböző vezetőbeosztásokban dolgozott. Személyében széles körű műszaki ismeretekkel rendelkező, határozott, jó szervező, fegyelmet tartó igazgató került az Intézet élére.

Az Intézetben kezdetben folyadékhűtési, nagyfeszültségű és szigetelőanyag, később réz—alumínium impulzushegesztési, majd pedig nemlineáris ellenállásokra vonatkozó kutatással foglalkozott. Az 1950-es évek végén létrehozta a félvezető laboratóriumot, amely a hazai erősáramú félvezető kutatás bázisa lett.

A réz—alumínium összekötők és nemlineáris ellenállások területén végzett munkájáért 1953-ban Kossuth-díjat kapott, a Félvezető Laboratórium létrehozásáért, továbbá fejlesztéséért 1959-ben és 1966-ban a „Gépipar Kiváló Dolgozója” kitüntetésben részesült.

Dr. Lukács József eddigi munkássága, műszaki felkészültsége, vezetői rátermettsége biztosíték arra, hogy az Intézet vezetése jó kezekbe került. Őszintén kívánom, hogy az Intézet dr. Lukács József irányítása mellett jelentős kutatási és fejlesztési eredményekkel járuljon hozzá a magyar erősáramú ipar általános fejlődéséhez.





# SZIGETELÉSTECHNIKAI FŐOSZTÁLY



# 1.

## A VKI Szigeteléstechnikai Főosztályának munkássága

LEYRER RICHÁRD

### 1. Áttekintés

Az irodalmi adatokat figyelemmel kísérve megállapítható, hogy az elmúlt évek folyamán csak kevés alapvetően új szerkezetű szigetelőanyag jelent meg a piacon. A szigetelőanyag-gyárak tevékenysége elsősorban a már nagyrészt eddig is ismert és alkalmazott szigetelőanyagok tulajdonságainak javítására, továbbfejlesztésére és az alkalmazási területek kibővítésére irányult.

Hazai vonatkozásban ez a lélegzetvételnyi szünet igen kedvező lehetőségeket teremtett, mert lehetővé vált a hazai szigetelőanyag-gyártás felfejlesztése, ill. korszerű szintre emelése.

A KGM illetékes vezetői mindinkább átértékelték, hogy a villamosipar korszerű szigetelőanyagok nélkül nem képes a megfelelő ütemű fejlődést folytatni, ezért jelentős anyagi támogatással biztosították a hazai szigetelőanyag-ipar gyorsuló ütemű továbbfejlődését.

A szigetelőanyagok gyártási bázisáulki jelölt Villamosszigetelő és Műanyaggyár 1964 óta biztosítani tudja a villamosipar néhány alapvetően fontos szigetelőanyagát (Mikape, rétegelt termékek, lakkok és kiöntőgyanták), amelyek alapját képezhetik a korszerű szigetelőanyagok továbbfejlesztett változatainak.

A villamosiparban azonban sokféle, egymástól igen eltérő tulajdonságú szigetelőanyagot alkalmaznak a legkülönbözőbb felhasználási területeken. Az egyes anyagokkal szemben különböző követelményeket támasztanak, így pl. egyik esetben a magas hőállóságot vagy jó kúszóáram-szilárdságot igénylik, a másik esetben a jó mechanikai szilárdság vagy a kiváló villamos szigetelőképeség a döntő. Egy azonban általánosan jellemző a villamosiparra, mégpedig az, hogy az igényelt mennyiségek viszonylag csekélyek. Ez természetesen azt jelenti, hogy a különleges minőségi mutatókkal rendelkező szigetelőanyagok nagyüzemi gyártása, ill. feldolgozása sok esetben nem gazdaságos.

Az új gazdasági mechanizmus bevezetése több vonatkozásban előnyösen hatott a Szigeteléstechnikai Főosztály fejlődésére. Lehetővé vált ugyanis, hogy az előbb említett problémát legalább részben megoldjuk elsősorban azzal, hogy az egyes szigetelőanyagok kidolgozásához létrehozott kísérleti berendezéseinket félüzemi szintre továbbfejlesztve kísérleti üzemi szinten, gazdaságosan, bizonyos fokú termelési tevékenységet folytassunk, ill. módunkban áll olyan kisüzemi és üzemi technológiai jellegű kísérletsorozatok lefolytatására, amelyekre a múltban csak ritkábban — többnyire csak más üzemben — volt lehetőség. Ezzel sikerült elérnünk, hogy az általunk kidolgozott új anyagokat, technológiai eljárásokat, termékeket, berendezéseket az iparban szélesebb körben felhasználják és munkánk eredménye nem csupán zárójelentésekben, hanem megvalósult gyártmányokban jelentkezik.

Előnyösen mutatkozik meg a félüzemi termelés abban a vonatkozásban is, hogy az újabb szigetelőanyagok és gyártástechnológiák kidolgozása során kutatóink

kénytelenek a gyártási paraméterek sokkal nagyobb skáláját kidolgozni, az egyes felhasználási területeket, azok különleges problémáit sokkal behatóbban megismerik, és így mód nyílik az Intézet és az üzemek közötti szorosabb kooperáció kialakítására.

Az új gazdasági mechanizmus hatása kedvező a Főosztály munkájára, mert az üzemek az erőteljesebb és gyorsabb ütemű fejlesztés érdekében sokkal aktívabban igénylik a korszerű szigetelőanyagok, technológiák kutatását.

Mindezen tényezők tehát kedvezően befolyásolták a Főosztály fejlődését, amelyre jellemző, hogy 1964-ben a Főosztály két osztályból állt, kb. 30 fővel, míg jelenleg három osztálya és egy félüzemi telepe van és kb. 100 munkatársat foglalkoztató főosztállyá növekedett. A szigetelőtechnikai főosztály lényegében az Intézet Technológiai és Vegyészeti Osztályából fejlődött ki. A fejlődés első 15 évét nem kívánom ismertetni, miután erről a VKI 15 éves jubileuma alkalmából rendezett előadásorozat keretében (I. Elektrotechnika 57. évf. 1964. 11—12. sz. 499—503.) részletesen beszámoltam. Itt csupán az azóta eltelt időszak döntő szakaszait szeretném a továbbiakban röviden ismertetni.

1965-ben a Lövház utcai és Lehel úti részlegek kiköltöztek az újonnan épült pestújhelyi telephelyre, és korszerű, kulturált körülmények között folytathatták munkájukat.

1966 tavaszán a Fővárosi Művészi Kézműves Vállalat solymári telephelyén létrejött az elektrokerámia kísérleti gyártását végző üzem. Ezzel egyidőben hoztuk létre a Szigetelőtechnika III. osztályt, amelynek főprofilja az elektrokerámia és az anorganikus beágyazómasszás szigetelések fejlesztése.

1967 tavaszán a VSZM területén új telephelyet alakítottunk ki, amelynek elsősorban az volt a célja, hogy a VSZM-mel a hazai szigetelőanyag-gyártás bázisvállalatával a kapcsolatot elmélyítsük.

1967. év végén a KGM támogatásával, több millió forint beruházás keretében megindult Pestújhelyen egy kísérleti félüzem építése. Itt a solymári kísérleti üzem áttelépítése után a kerámia kísérleti gyártása folytatódik majd. Itt helyezzük majd el a présporok előállításával és feldolgozásával, valamint az epoxi öntőgyanták feldolgozásával foglalkozó kísérleti-üzemű részlegeket is.

## 2. A Főosztály tematikája, műszaki és tudományos eredménye

Mint korábban — a legutóbbi 5 éves időszakban is az volt a célkitűzésünk, hogy a villamosipar részére jobb, korszerű, a követelményeket mind szélesebb körben kielégítő szigetelőanyagokat biztosítsunk. Bővítettük a már eddig kidolgozott szigetelőanyagok választékát és erőteljesen fokoztuk a félkész gyártmányok újabb, korszerű feldolgozási technológiájával kapcsolatos kutatásokat. Ezzel szemben az olyan területeken, amelyek kutatása túlságosan egyedi jellegű volt és igen költségesnek látszott (mint pl. a turbórúd-szigetelő anyagok kutatása), a kutatást szüneteltettük.

A témák sokrétűsége és szerteágazó volta miatt beszámolómban csupán a legfontosabb újabb eredményeinket szeretném felidézni.

A csillám és csillámpapír bázisú szigetelések terén elsősorban a magasabb (F és H) hőosztályú termékek kifejlesztése volt a célunk. Ennek keretében kidolgoztuk az F és H hőosztályú üveg—csillám, ill. csillámpapír kombinációjú horonyszigetelő és fázisszigetelő anyagokat.

Ugyancsak magas hőmérsékleti igénybevételeket hivatott kielégíteni a szilikon-szilikát kötésű fűtőmikanit, amely elsősorban a villamos kenyérpírtók és a vasúti

fűtőkályhák száltartó szigetelő lemezeként vált jelentőssé, mivel nedvességgel szemben sokkal ellenállóbb, mint az eddig gyártott fűtőmikanit típusok.

Új igényként jelentkeztek a csillámpapír alapanyagának — a muszkovitnak — a helyettesítésére irányuló kutatások. A muszkovit tőkés importból származik. Néhány módosítással és új technológiai eljárás kidolgozásával flogopit alapon is sikerült megfelelő minőségű csillámpapírt, ill. kommutátormikanitot kidolgozni.

A rétegelt termékek kutatása vonalán egyik legjelentősebb eredményünk volt a BL 3 típusú folírozott lemez laboratóriumi szintű kidolgozása papírváz alapon. A különböző, magas követelményeket kielégítő papírvázás rétegelt termékek, így pl. a KRPB és hidegen lyukasztható, rétegelt, szendvics típusú termékek kutatásában igen biztató eredményeket értünk el.

Üveg—epoxi rétegelt lemezek terén először külföldi, majd második lépcsőben hazai nyersanyagokból sikerült olyan típust kifejlesztünk, mely 150 °C-on mérve, eredeti mechanikai szilárdságának max. 70%-át megtartja, így világviszonylatban is élvonalbelinek számít.

Nem közvetlenül a rétegelt termékek csoportjába tartozik, de felépítésében hasonló elemeket tartalmaz az F hőosztályú párhuzamos üvegszálvázás bandázs-szalag, az Epoband szalag, amely villamos forgógépek tekercsfejeinek bandázsolására, lekötésére alkalmas. Jelenleg továbbfejlesztése folyik a H hőosztályú termékek kidolgozása irányában. Az F hőosztályú szalag félüzemi gyártása már folyik. Laboratóriumi szinten hasonlóan eredményesen zárultak a H hőosztályú, párhuzamos szálú, üveg vázanyagú horonyzáró ékek kifejlesztésére irányuló kutatásaink.

Jelentős eredményeket értünk el a sajtolóanyagok fejlesztésében. Az elmúlt évek folyamán folytatott igen alapos kutatómunka alapján sikerült kifejleszteni egy teljesen hazai bázisú, melamin-epoxi gyantájú, kombinációs sajtolóanyagot, amely tulajdonságaiban, feldolgozástechnológiájában jól egyezik a hasonló típusú, legkorszerűbb külföldi sajtolóanyagokkal. Az „Epomel” 150, ill. 156 faliszt, ill. azbeszt vázanyagú sajtolóanyagok nagyüzemi gyártása az Egyesült Vegyi Műveknél kezdődött meg. 1968 végéig kb. 100 t sajtolóanyagot gyártottak, ill. használtak fel.

Jelentősek azok a lényegükben technológiai kutatások is, amelyek a kapcsoló- és készülékgyártásban alkalmazott sajtolóanyagok kiválasztására, valamint optimális feldolgozási technológiájukra vonatkoznak.

Munkatársaink az erősáramú kerámiák fejlesztése területén is igen eredményes munkát végeztek. A már régebben kidolgozott és kisüzemileg gyártott alumínium-szilikát bázisú kerámiafajták mellett megjelent a „Hypokerámia”, amely üvegvadék és kristályszerkezetű anyagok egymásrahatása útján jön létre. Az új anyagfajta, amely feldolgozási technológiájában leginkább a műanyagok fröccstechnológiájához hasonlítható, igen kiváló tulajdonságú: a kerámiáknál alacsonyabb hőmérsékleten égethető, zsugorodása kismértékű. Kedvező mechanikai és villamos paraméterei széleskörűen alkalmassá teszik a villamos készülékek és műszerek gyártásában való felhasználásra.

Az intenzív fejlesztés eredményeként a kristály—üvegest részek modifikálásával, előnyös tulajdonságok kifejlesztésével, a gyártástechnológia kisüzemi szintű kialakításával sikerült elérni, hogy a hazai villamosipar szinte minden gyártó vállalata valamely formáját alkalmazza. A gyors alkalmazását elősegítette az, hogy a termékeket — a laboratóriumban kikísérletezett gyártástechnológia szerint — az osztályhoz tartozó solymári kísérleti telepen azonnal félüzemi szinten gyártani kezdtük. Így nagyon rövid idő alatt tudtunk a megrendelők kívánságainak megfelelő alakú és tulajdonságú késztermékeket rendelkezésre bocsátani. Jellemző a solymári kísérleti üzem fejlődésére, hogy míg 1966-ban összesen hat dolgozó fog-

lalkozott a hypokerámia termékek előállításával, ma összesen 16-an készítik a különböző alkatrészeket, és az osztály saját szerszámszerkesztővel és kísérleti szerszám-készítő műhellyel rendelkezik.

Meg kell említeni a főzőlapgyártás területén végzett kutatások eredményeit is. A korszerű főzőlapgyártás megköveteli, hogy a viszonylag nagy fűtőtéljesítményű fémspirálokat vékony szigetelőanyag-réteggel körülágyazva sajtoljuk a fémházakba. A szigetelőanyagoknak a magas üzemi hőmérsékleten sem szabad jelentős mértékben vezetővé válnia. Mindazon követelményeket, amelyeket a felhasználók a főzőlapok szigetelésével kapcsolatosan támasztottak, sikerült megoldani, és jelenleg már folyik az új típusú főzőlapok kisüzemi gyártása. Biztató kísérletek folynak olyan főzőlap-típus kidolgozására, amely öntvénymentes és műszaki—gazdasági paraméterei kedvezőbbek.

A műanyagok technológiai jellegű kutatásai terén ki kell emelni a mágneskapcsoló tekercsek és kistranszformátorok epoxi-fröccssajtoló anyagokkal történő szigetelésére vonatkozó kutatásokat. Kényes villamos elemek (pl. vékony huzalokból készített tekercsek) burkolását és szigetelését eddig csupán öntéssel lehetett megvalósítani, viszont az öntési technológia — mivel túl hosszadalmas — nagy darabszám esetében nem gazdaságos. Az epoxi-fröccssajtoló anyagok alacsony nyomáson történő sajtolásával a problémát gazdaságosan tudtuk megoldani, és új utat nyitotunk a beágyazási technológiának sorozatgyártásban való bevezetéséhez.

A műgyantából öntött támszigetelők gazdaságos technológiájának kidolgozását összekötöttük hazai bevezetésünkkel, hogy a nagyüzemi gyártás megindulásakor megfelelő tapasztalatokkal rendelkezünk a korszerű műgyantaöntő üzemek kialakításához.

Részben saját, részben a vállalatok ellenőrző és kutató munkáját tettük lehetővé azokkal az új villamos vizsgálóberendezésekkel, amelyek a szigetelőanyagok kúszóáram-szilárdságának, valamint kis- és nagyfeszültségű ívállóságának vizsgálatára készítettünk.

Kúszóáram-szilárdság vizsgálatára alkalmas berendezésünk, amellyel az MSZ, DIN és más módszerek szerinti vizsgálatok egyaránt elvégezhetők, az 1967. évi BNV-n vásári díjat nyert. A készülékből a legfontosabb villamosipari vállalatok részére szállítottunk, sőt még exportra is lehetőségünk nyílt.

Az ívállóságvizsgáló berendezések közül a kisfeszültségű a DIN előírásai szerinti vizsgálatok, a nagyfeszültségű készülék viszont az ASTM előírásainak megfelelő vizsgálati módszerek lefolytatására alkalmas.

Végül szeretném megemlíteni azon kutatásokat, amelyek a szigetelőanyagok öregedésére, és az öregedés folyamán létrejövő szerkezeti elváltozások vizsgálatára vonatkoznak. Ezeket a vizsgálatokat két irányban folytatjuk. Egyrészt komplett szigetelési rendszerek formájában motoretteken végezzük a vizsgálatokat, másrészt egyes szigetelőanyagokon a termikus behatásokra létrejövő anyagi jellemzők változását vizsgáljuk derivatográffal, ill. az infravörös spektroszkópia módszereivel. Erről a munkánkról kollégáink számos publikációban, több alkalommal külföldi kongresszuson is beszámoltak.

### **3. Kooperáció, nemzetközi együttműködés**

A kutató munkában igen sok intézménnyel alakítottunk ki kooperációt. Legfontosabb partnereink a Műanyagipari Kutató Intézet, valamint a Műszaki Egyetem és az ELTE különböző tanszékei.

Nemzetközi téren élénk kapcsolatot tartunk a pozsonyi VUKI szigetelőanyag-kutató intézettel, a hennigsdorfi ZSK szigetelőanyag-kutató bázissal, és a berlini Bergmann—Borsig művekkal. 1968 folyamán sikerült együttműködési szerződést kötni és azt megindítani a moszkvai VEl-vel.

#### **4. A Szigetelőtechnikai Főosztály továbbfejlődése és távlati perspektívái**

A Főosztály továbbfejlődése szempontjából nagy jelentőségű, hogy a KGM 1968-ban a „Korszerű szigetelőanyagok fejlesztése” témakörben az intézettel célprogram-szerződést kötött. Ez a szerződés 3 évre rögzíti azon irányelveket és témaköröket, amelyek fejlesztése a Főosztály legfontosabb feladatait képezik. A célprogram tematikáját a felhasználó vállalatokkal és importáló szervekkel széles körben egyeztetettük, és zsűrizése folyamán a vállalatok kívánságainak megfelelően még kiegészítettük.

A célprogram a következő témakörök fejlesztését írja elő:

- folyamatos varniscső gyártásának kifejlesztése B és F, valamint H hőosztályra;
- szigetelőanyagok öregedésének tanulmányozása;
- F és H hőosztályú bandázs-szalag kifejlesztése;
- korszerű villamosipari présanyagok kidolgozása epoxi bázison;
- speciális rétegelt termékek kifejlesztése;
- csepegtetéses impregnálás kidolgozása;
- porlasztásos horonyszigetelés kidolgozása;
- újabb típusú elektrokerámiai anyagok kifejlesztése;
- korszerű főzőlapbeágyazó anyagok kifejlesztése.

Ez a felsorolás képezi lényegében az elkövetkező évek munkaprogramjának gerincét.

E témakörök mellett nagy erőt kívánunk fordítani a legújabb szigetelőtechnikai kérdések tanulmányozására, ill. kutatására:

Új és igen érdekes lehetőségeket rejt magában a műanyagok és hypokerámiák társítása révén létrejövő új konstrukciós megoldás — az „organokerám” szigetelések kidolgozása;

Ugyancsak új lehetőségeket rejt magában a szigetelőanyagok vezetőkre történő elektroforetikus felvitelének módszere;

Rendkívül előnyösnek látszik az epoxi-fröccssajtoló anyagok felhasználási területeinek bővítése.

1969-ben megindul a termelőmunka a Pestújhelyen újonnan felépített kísérleti üzemben, ahol lehetőség nyílik arra, hogy kidolgozzuk az elektrokerámiai anyagok korszerű változatainak gyártástechnológiáját, itt megindíthatjuk a présporok félüzemi gyártására irányuló kísérleteinket és megszerezhetjük a műgyanta szigetelők sorozatgyártására vonatkozó üzemi tapasztalatokat is.





## 2.

### **A villamosívet igénybevételi tényezőként alkalmazó szigetelőanyag-vizsgáló berendezés gyártmánycsaládja**

MISZLIVETZ JÓZSEF—OBER FERENC

#### **ÖSSZEFOGLALÁS**

A műanyagok, sőt a legutóbbi években a különböző keramikus anyagok rohamos fejlődése a villamosipari szigetelőanyagok olyan széles skáláját hozta létre, hogy egy adott alkalmazás esetében a műszakilag és gazdaságilag is legmegfelelőbb anyagfeleség gyors és korrekt kiválasztásával a korszerű vizsgálati módszerek nélkülözhetetlenek. Így került sor a villamosívet igénybevételi tényezőként alkalmazó szigetelőanyag vizsgáló berendezések gyártmánycsaládjának a kifejlesztésére. A család két tagja a kisfeszültségű, nagy áramerősségű szénelektrodás, illetve a nagyfeszültségű, kisáramerősségű wolfram-elektrodás vizsgálóberendezés.

A gyártmánycsalád minden egyes tagjának közös tulajdonsága, hogy a különböző módon létrehozott villamosszikrát, illetve ívet alkalmazza igénybevételi tényezőként, ami végeredményben az anyag elroncsolódását okozza.

A kisfeszültségű, nagy áramerősségű ívállósági vizsgálat alkalmazására a hasonló feszültség- és áram-igénybevételnek kitett alkatrészek vizsgálatánál, valamint általában gyorsabb, de durvább minősítés esetében kerülhet sor.

A nagyfeszültségű, kis áramerősségű módszer az anyagok finomabb besorolását teszi lehetővé. A vizsgáló berendezés konstrukciója a szabványos vizsgálatokon túlmenően — a vizsgálati fokozatok számának bővítése és a variációs lehetőségek folytán — kutatási célokra is messzemenően alkalmas.

#### **ГАММА ОБОРУДОВАНИЙ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ В КАЧЕСТВЕ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ДУГУ**

*Й. Мисливец—Ф. Обер*

##### **Резюме**

Бурное развитие пластмассовых материалов и в последние годы развитие различных керамических материалов привело к созданию такого широкого ассортимента изоляционных материалов, при котором быстрый и корректный выбор технически и экономически наиболее выгодного материала невозможен без применения современных методов испытаний. При этих условиях нами была развита гамма испытательной аппаратуры изоляционных материалов, использующая в качестве нагрузки электрическую дугу. Одно из устройств представляет собой низковольтное испытательное устройство с большой силой тока и угольными электродами, другое — высоковольтное устройство с малой силой тока и вольфрамовыми электродами.

Вся гамма испытательных устройств характеризуется тем, что в качестве нагрузки используют электрический разряд т. е. электрическую дугу, создаваемую различными способами, что, в конечном счете, приводит к разрушению материала.

Высоковольтный метод с применением низкой силы тока используется для более точной классификации материала. Конструкция испытательного устройства, кроме стандартных испытаний, дает возможность широкого ее использования для исследовательских целей путем расширения испытательных каскадов и использования вариационных возможностей.

## ERZEUGNISGRUPPE VON ISOLIERSTOFFPRÜFANLAGEN, DIE ALS BEANSPRUCHUNGSFAKTOR DEN ELEKTRISCHEN LICHTBOGEN ANWENDEN

*J. Miszlivetz—F. Ober*

### Zusammenfassung

Die rasche Entwicklung der Kunststoffe und in den letzten Jahren der keramischen Werkstoffe bietet eine derart breite Skala von Isolierstoffen für die Elektrotechnik, dass bei der schnellen und richtigen Auswahl der für den gegebenen Anwendungsfall in technischer und ökonomischer Hinsicht am besten entsprechenden Werkstoffe die modernen Prüfungsmethoden bereits nicht mehr entbehrt werden können. Auf dieser Grundlage kam es zur Entwicklung einer Erzeugnisgruppe von Isolierstoffprüfanlagen, die als Beanspruchungsfaktor den elektrischen Lichtbogen benutzen.

Zu dieser Erzeugnisgruppe gehören unter anderem die mit Niederspannung und grosser Stromstärke arbeitende Kohlenelektroden-Prüfanlage bzw. die mit Hochspannung und niedriger Stromstärke arbeitende Wolfram-Elektroden-Prüfanlage.

Eine gemeinsame Eigenschaft aller zu dieser Erzeugnisgruppe gehörenden Prüfanlagen besteht darin, dass die auf verschiedene Weise erzeugten elektrischen Funken bzw. Lichtbögen als Beanspruchungsfaktoren verwendet werden, was letzten endes zu einer Zerstörung des Werkstoffes führt.

Die Anwendung der Lichtbogenfestigkeitsprüfung mit niedriger Spannung und hoher Stromstärke kann für die Prüfung von ähnlichen Spannungs- und Strombeanspruchungen ausgesetzten Bestandteilen sowie im allgemeinen bei schnelleren, jedoch größeren Qualifizierungen in Betracht kommen.

Die mit hoher Spannung und kleinerer Stromstärke arbeitende Methode ermöglicht eine feinere Einreihung der Werkstoffe. Die Konstruktion der Prüfanlage eignet sich über die Standardprüfungen hinaus aufgrund der Erweiterung der Prüfungsgrade und Variationsmöglichkeiten weitgehend auch zu Forschungsaufgaben.

## A SERIES OF INSULATION TESTING EQUIPMENT USING THE ELECTRIC ARC AS A LOAD FACTOR

*J. Miszlivetz—F. Ober*

### Summary

The rapid progress of plastics and during the recent years, also that of different ceramics resulted in the development of a very wide range of different electrical insulation materials which, in turn, made up-to-date testing methods indispensable for the quick and proper selection of the dielectrics most suitable for a given application from both technical and economical viewpoints. This requirement called for the development of a series of insulation testing equipments applying the electric arc as a load factor. The two members of the series are the low-voltage, high-current carbon electrode tester and the high-voltage, low-current tungsten electrode tester. It is a common property of both members of the series that the electric spark, resp. arc struck by different methods and resulting eventually in the deterioration of the material is used as a load factor.

The low-voltage, high-current arc resistance test is used on testing parts subjected to similar voltage and current loads and in general, for quicker but less accurate qualification work. The high voltage low-current method enables the finer grading of materials. In addition to standard tests, the design of the tester also enables its utilization for research work, by the extension of the number of testing steps and by the possibilities of variation.

## 1. Általános rész

A különféle villamosipari gyártmányok új konstrukcióit a méretcsökkentés, a teljesítmény- és élettartam növelése, valamint a cserélhetőség szempontjai szerint kell kialakítani. Ezeket a célokat csak úgy lehet elérni, ha a berendezésekhez a célnak legjobban megfelelő szigetelőanyagokat választják ki.

A műanyagok, sőt a legutóbbi években a különböző keramikus anyagok rohamos fejlődése a villamosipari szigetelőanyagok olyan széles skáláját hozta létre, hogy meghatározott alkalmazás esetében a műszakilag és gazdaságilag is legmegfelelőbb anyagféleség gyors és korrekt kiválasztásához a korszerű vizsgálatok nélkülözhetetlenek.

Mind a szigetelőanyag-gyártó, mind pedig a felhasználó vállalatok szempontjából elengedhetetlen a szigetelőanyagok tulajdonságainak pontos ismerete. A különböző klímaterületek, de egy klímaterületen belül is a különféle ipari szektorok (mint pl. a hideg- vagy melegüzemek, bányászat, szabad vagy zárt alkalmazási helyek, továbbá a szállítás, tárolás) olyan követelményeket jelentenek a szigetelőanyagok jelentős többsége és a belőlük készült alkatrészek számára, ami még jobban kidomborítja tulajdonságaik pontos ismeretének szükségességét. Az export és import csak tovább élezik ezeket a problémákat. Az előzőekben említett okok vezettek arra, hogy világszerte igen nagy mértékben fejlődésnek indult a szigetelőanyagok minőségével és vizsgálati módszereivel kapcsolatos szabványosítás. Igen sok korszerű, a gyártási és alkalmazási problémákra figyelmet fordító szabvány készült. A vizsgálatokhoz szükséges berendezéseket azonban a szabványok általában csak elvileg ismertetik. A vizsgálóberendezések konstrukciójának kialakítása és elkészítése igen sok esetben a szabványt, ill. a vizsgálati módszert alkalmazni kívánó ország feladata. Csak fokozza a nehézségeket, hogy egyrészt a szabványok hatályba lépéséig viszonylag nagy az átfutási idő, másrészt az ilyen, jellegükönél fogva speciális problémák megoldásához kevés a szakember. Éppen ezért világszerte keresettek a jól bevált, korszerű vizsgálóberendezések.

Mindezek alapján a Villamosipari Kutató Intézet az utóbbi két évben egyik fontos feladatául tűzte ki több olyan szigetelőanyag-vizsgáló berendezés elkészítését, ill. korszerűsítését, amelyek nemcsak Magyarországon, hanem iparilag fejlettebb országokban is keresettek. Így készült el 1967. évben a korszerű kúszóáramszilárdság-vizsgáló berendezés.

1968-ban újabb két — a villamosívet igénybevételi tényezőként alkalmazó — szigetelőanyag-vizsgáló berendezés kifejlesztésére került sor. Az egyikkel a VDE 0303/10.55 Teil 5 szerint a kislefeszültségű, nagy áramerősségű, míg a másikkal az ASTM D 495-61 szerint a nagyfeszültségű, kis áramerősségű vizsgálati eljárás valósítható meg.

Az ívállóság meghatározásának célja, hogy a szilárd szigetelőanyagokat osztályozza a villamos ívfénnyel szemben tanúsított viselkedésük alapján. A kis- és nagyfeszültségű ívállóság-vizsgálat tulajdonképpen csak kiegészíti, de nem pótolja egymást. A szigetelőanyagokra és a belőlük készült alkatrészekre vonatkozóan vagy az egyik, vagy a másik, vagy mindkét vizsgálati módszer előírják. Nem szabad elfeledkezni arról, hogy egy meghatározott fajtájú — pl. kislefeszültségű — ívvel lefolytatott vizsgálat eredményeiből semmiféle következtetés sem vonható le másfajtájú ívvel kapcsolatos igénybevételre.

Érdekességként említjük\*, hogy több elvi hasonlóság miatt — bár az ívállóság

\* *Oburger és Imhof* nyomán

meghatározására vonatkozó módszer a helyileg nagyobb kiterjedésű igénybevétel miatt jóval nagyobb energiát követel — Amerikában az ASTM szerinti vizsgálatot a kúszóáram-szilárdság meghatározására is használják és sok esetben a vizsgálati eredmények is jól megegyeznek. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy ezt a szerintünk eléggé bizonytalan alkalmazást a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság Szigetelőanyag Bizottsága (IEC, TC 15) legújabb ajánlása feleslegessé teszi. Ezekben az ajánlásokban ui. a kúszóáramszilárdság meghatározására az eddigi, általában max. 600 V helyett 2,5...7,5 kV vizsgálati feszültséget javasolnak. Ezek szerint az ASTM eljáráshoz hasonlóan a kúszóáramvizsgálat is részben nagyfeszültségű vizsgálat lesz.

A VDE szerinti kisfeszültségű eljárásnál szénpálca elektródokat alkalmaznak, amelyeket 20 Ω ellenálláson keresztül 220 V-os egyenáramra kapcsolnak. Az ASTM szerinti nagyfeszültségű eljárás szerint ezzel szemben a villamosív váltakozóáramú (12 kV, 10...100 mA) és az elektródok anyaga wolfram.

A VDE eljárás szerint az ívgyújtás után a szénpálcákat lassan addig távolítják egymástól, míg az ív ki nem alszik. A húzott ív hosszából és az ív hatására keletkezett hídból — meleg, vagy hideg állapotban — határozzák meg a szigetelőanyag minősítési jelét. Az erre vonatkozó hat minősítési fokozatot tartalmazza a 2-1. táblázat. Így pl. a VDE 0320/X. 44. §. 17. szerint az összes préspor az L 1 fokozatba tartozik a karbamid bázisúak kivételével, amelyek az L 4 fokozatnak felelnek meg. Mivel az előírások a szénelektrodoknak egymástól való széthúzására vonatkozóan csak a maximális sebességet írják elő, azért az organikus szigetelőanyagok az ív hatását tekintve gyakorlatilag kedvező módon is roncsolódhatnak. A műanyagok ívállóságának meghatározására vonatkozó pontosabb besorolás a VDE eljárás szerint nem lehetséges. Ez inkább a keramikus szigetelőanyagoknál jöhet tekintetbe.

2-1. táblázat

Egyenáramú ívállóság értékelése a VDE 0303 szerint

Fokozat	Húzható ív mm	Vezető-híd		Különleges jelenségek a szigetelőanyagokon
		ív alatti állapotban	lehűlés utáni állapotban	
L1	> 20	igen	igen	←zenesedés vagy égés
L2	< 20	részben igen	nem	repedezés
L3	> 20	részben igen	nem	—
L4	< 20	nem	nem	elroncsolódás
L5	> 20	nem	nem	—
L6	< 20	nem	nem	—

Az ASTM eljárás finomabb besorolást ad meg. Ennél az eljárásnál a szigetelőanyag felszínére 35° alatt felfekvő csúcsos wolfram elektródok között nagyfeszültségű, kis áramerősségű ívet hoznak létre és 1 min-os időközönként az előírt módon (2-2. táblázat) váltogatják, míg a szigetelőanyag el nem roncsolódik. Azért, hogy kis ívállóságú anyagot is tudjanak vizsgálni, kis szaggatott ívárammal kezdik a vizsgálatot és a két ív közötti megszakítási időt fokozatosan lerövidítik. Az ívállóság jellemző adatát két mérésből határozzák meg. Az első mérés során a szigetelőanyag roncsolódásáig eltelt összidőt mérik. A második mérés a vezetőhíd képződése után fellépő

2-2. táblázat

**Be- és kikapcsolási igénybevételi ciklusok ASTM szerint**

Fokozat jele	Áram mA	Ciklusidő	Hőfel-lődés W	Teljes vizsgálati idő s
1	10	¼ s be, 1¾ s ki	3	60
2	10	¼ s be, ¾ s ki	6	120
3	10	¼ s be, ¼ s ki	12	180
4	10	megszakítás nélkül	24	240
5	20		34	300
6	30		45	360
7	40		56	420

felszíni átütési feszültség százalékos növekedését adja meg, ugyanannak a szakasznak a vizsgálat előtti, hasonló értékére vonatkoztatva.

A szigetelőanyagok nagyfeszültségű ív hatására való elroncsolódása során a következő jelenségek figyelhetők meg:

1. Egyes szeretlen anyagok izzóvá és áramvezetővé válnak, de lehülés után korábbi szigetelőképességüket ismét visszanyerik.

2. Egyes szerves szigetelőanyagok látható vezetőhíd képződése nélkül is megrepednek.

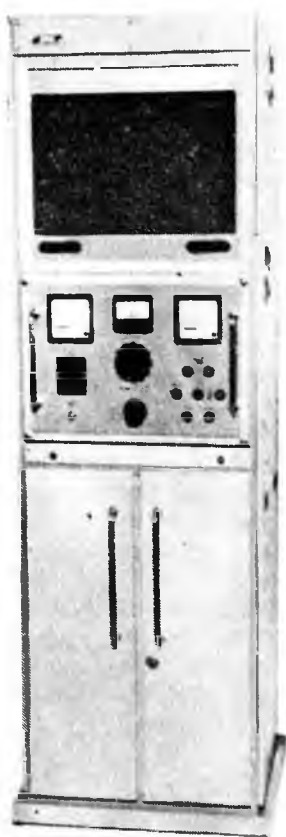
3. Néhány anyagon az elektródok között kúszóút keletkezik.

4. Bizonyos anyagokon felületi elszenesedés következik be, ami végül áramvezető pálya képződését okozza.

2-3. táblázat

**Különböző szigetelőanyagok ívállósága ASTM szerint**

Megnevezés	Összidő, s
Papírvázás rétegelt anyagok	100
Vulkánfíber	100...550
Üvegvasz rétegelt anyagok, poliészter lakkal	80...120
Üvegvasz rétegelt anyagok, melamingyantával	175...190
Üvegvasz rétegelt anyagok, szilikongyantával	150...250
Fenoplaszt présporok szeretlen kötőanyaggal	160...185
Karbamidgyantás préspor cellulóz töltőanyaggal	100...150
Melamingyantás préspor textilvergáldalékkal	115...125
Poliésztergyanta ásványi töltőanyaggal	190
Etoxilingyanta	200
Szilikongyanta	200
Poliésztergyanta	125...135
Polisztirol	60...135
Polietilén	135
Polimonoklór-trifluoretilén	360 felett
Politetrafluoretilén	200 felett
Szilikon szigetelőpaszta	80



2-1. ábra. Kisfeszültségű ívállóság-vizsgáló berendezés

Mindez nagymértékben biztosítja a vizsgálat állandó ellenőrzését és a közvetlen, gyors kiértékelést.

## 2. Kisfeszültségű ívállóság-vizsgáló berendezés

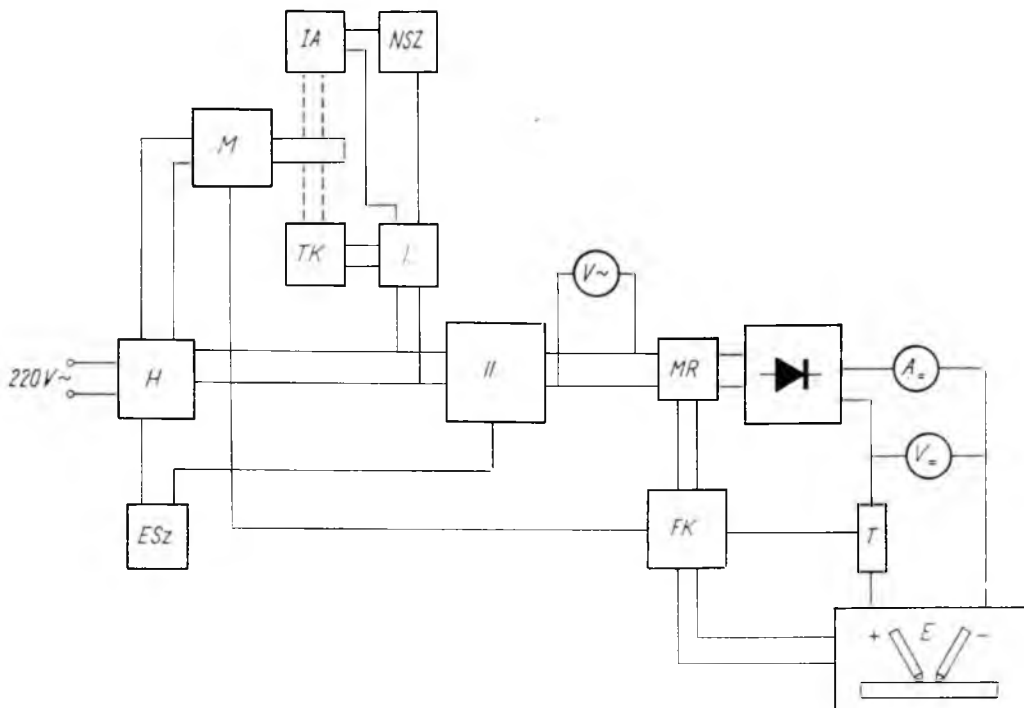
A készülék (2-1. ábra) 220 V, 50 Hz váltakozóáramú hálózatról működtethető, összteljesítmény szükséglete kb. 2,64 kVA. A hálózati váltakozó feszültség — megfelelő biztosítás után — egy toroidtranszformátoron keresztül jut a szilícium diódás egyenirányítóegységre. A vizsgálatot a diódák által szolgáltatott 220 V egyenfeszültséggel és 11 A-es körárammal végezzük. Az ívgyújtás után a szigetelőanyag felületére felfekvő és egymással érintkező szénelektrodák egymástól távolodó vízszintes irányú mozgatása a szabványban előírt 1 mm/s sebességgel az ív megszakadásáig egyenletesen valósítható meg. A húzott ív hosszát mm-re átkalibrált impulzusszámláló mutatja.

A készülék elvi felépítése a blokkvázlaton látható (2-2. ábra). A készülék felépítésénél az ún. fiókos elrendezést alkalmaztuk, ami a javítást és a karbantartást

A 2., 3. és 4. csoportba tartozó jelenségek a vizsgálat végén az áramkör kialakulásakor feszültségcsökkenést okoznak, így a szigetelőanyag roncsolódása felismerhető. A különböző szigetelőanyagok ASTM szerinti ívállóságára vonatkozó jósági sorrendjét a 2—3. táblázat tartalmazza.

A villamos ív igen erősen igénybe veszi a szigetelőanyagot, mivel az anyag felületére vezetett hőmennyiség igen nagy. A követelményeknek elsősorban a kerámikus szigetelőanyagok felelnek meg, hacsak ridegségük nem okozza elroncsolódásukat. Kapcsolók ívöltő kamráinak, szikraoltó kamráknak alkalmas, nem kerámikus szigetelőanyagokra vonatkozó kísérletek és kutatások még nem tekinthetők lezártaknak. Szikraoltó kamraként kerámikus kötőanyagú azbesztgyártmányokat, vulkánfibert vagy vízüveggel bevont prespánt, olajszegény kapcsolók oltókamráiként papírvázis rétegelt anyagokat, textilvagdalként töltőanyagú fenol-formaldehid présport vagy üvegszállal erősített műgyantát, különösen etoxilin gyantát használnak. A felsoroltakon kívül szilikon kötőanyagú azbeszt és üveg gyártmányok jöhetnek tekintetbe. A szilikon kötőanyagoknak az az előnyük, hogy szerkezetükben a szerves szénatomokon kívül (amelyek bomlás esetén a vezetőképeséget növelik) szilícium atomokat is tartalmaznak és ez utóbbiak a szigetelőképeséget javítják. Kisebb kapcsolókban gyengébb igénybevételeknél kőliszt töltőanyagú karbamidgyantás, főleg pedig melamingyantás présportból készült alkatrészeket alkalmaznak.

Mindkét készülék esetében törekedtünk arra, hogy a vizsgálat tárgyilagosságát hátráltató körülményeket, a vizsgáló személy szubjektivitását a lehetőség szerint és a célnak megfelelő automatizálással kiküszöböljük.



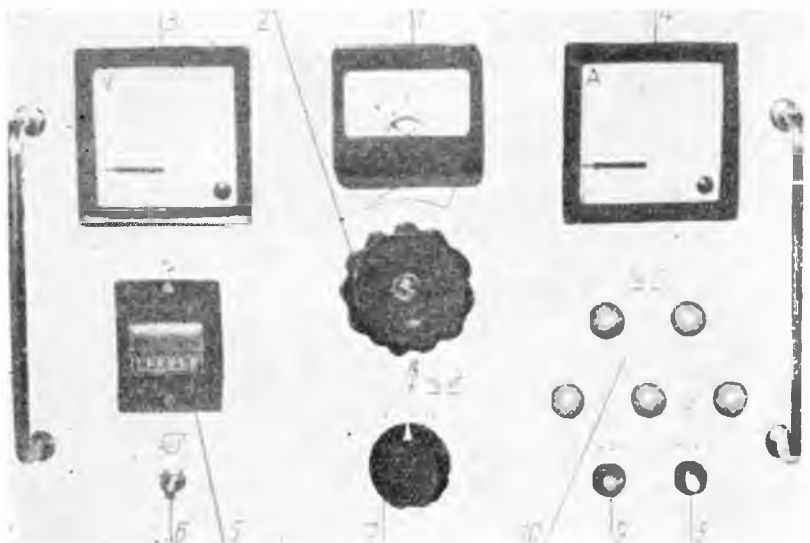
2-2. ábra. Kisfeszültségű, nagy áramerősségű ivállóság-vizsgáló berendezés blokkvázlata

*H* hálózat; *ESz* elszívóberendezés; *M* motor; *IA* impulzusadó; *TK* tengelykapcsoló; *NSZ* milliméter-számláló; *I* transzformátor; *II* toroidtranszformátor; *MR* mágnes; *FK* főkapcsoló; *T* terhelőellenállás; *E* vizsgálóelektródok

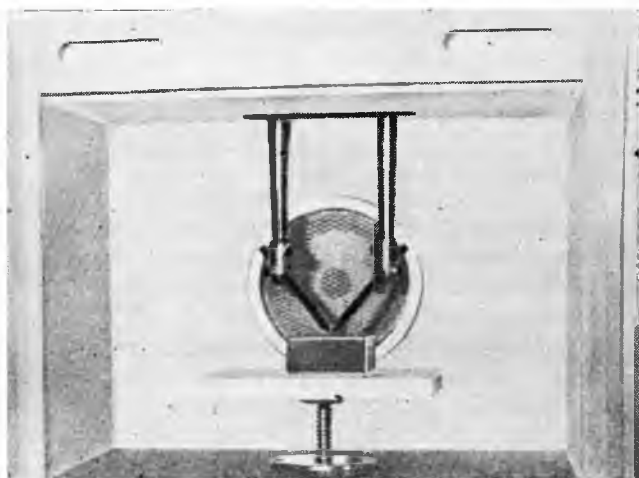
nagymértékben megkönnyíti. A vizsgálati áramot beállító és jelző egységek alkatrészei, továbbá a milliméter-számláló, tengelykapcsoló és az ellenőrző lámpák tápegységei műszerfiókban helyezkednek el. A fiók előlapja egyben a készülék műszerfala is (2-3. ábra).

A műszerfal közepén beépített *I* voltmérő a toroidról levett váltakozófeszültséget mutatja. Ennek nagyságát a toroidtranszformátornak a voltmérő alatt elhelyezkedő 2 forgatógombjával szabályozhatjuk. A Graetz-kapcsolású diódák által szolgáltatott 220 V-os egyenfeszültséget a műszerfal bal oldalán elhelyezett 3 voltmérő mutatja, a jobb oldali egyenáramú 4 ampermérő a 11 A-es köráramot jelzi. Az előlap bal oldalán van az elektródok által megtett utat jelző, mm-re átkalibrált 5 impulzus-számláló. A számlálót tárcsás megszakító vezérli, amely egy aszinkron motorral áttételezés útján hajtott, jobb-bal menetű vonóorsóhoz kapcsolódik. A vizsgálótérben keletkező égéstermékeket a készülékbe beépített elszívóberendezés gyorsan és maradéktalanul eltávolítja. Az elszívó az impulzus-számláló alatt elhelyezkedő 6 kapcsoló útján működtethető.

A 7 főkapcsoló három fokozata: az ún. kontroll állásban a vizsgálati áramkör paramétereit ellenőriztük, középállásban kerülhet sor a vizsgálatra míg a harmadik fokozatban az előző vizsgálat után az egymástól eltávolodott elektródokat hozzuk vizsgálati alapállásba. A műszerfal bal oldalán helyezkedik el a *8 Be* gomb, amelynek működtetésével az ellenőrzés és a vizsgálat megkezdődhet. A vizsgálati folyamat



2-3. ábra. Műszerfal



2-4. ábra. Vizsgálótér

— szükség esetén — a 9 Ki gomb benyomásával megszakítható, az ív megszakadása esetén pedig a vizsgálati áramkör automatikusan lekapcsolódik. A főkapcsoló egyes fokozatainak állását, ill. a vizsgálati folyamatot a 10 ellenőrző lámpák kigyulladásával jelzi.

A vizsgálótér (2-4. ábra) zárt, mérete:  $270 \times 310 \times 440$  mm. Elülső oldala ún. hegesztőüvegből készült az ívfény okozta és a látásra veszélyes károsodások kiküszöbölése végett. A vizsgálótérben helyezkedik el a vizsgálóasztal, mérete:  $160 \times 200$  mm. Az asztal a készülék oldalán elhelyezett kézitárcsa elforgatásával



le és fel mozgatható. A vizsgálóasztal emelésének magassága 30...90 mm-ig terjedhet. A vizsgálóterbe nyúlik be a két elektródtartó rúd, ezeknek hüvelyébe rögzítjük a szénelektrodokat. Az elektródok egyfázisú, 220 V-os villamosmotorral hajtott mechanikai szerkezet útján mozgathatók. A vizsgálathoz 8 mm  $\varnothing$ -jú ívlámpa-szénrudat kell használni. Az elektródtartóba úgy helyezzük el a szénpálcákat, hogy azok egymással és külön-külön a vízszintes helyzetű próbatest felületével 60—60°-os szöget zárjanak be. A szénpálcák végét 90°-os szögbe kell kiképezni.

A berendezés különösebb karbantartást nem igényel. Az áramkörök biztosítói a műszerfiók mögött, a toroidtranszformátor mellett, jobb és bal oldalon vannak.

A készülék mérete: 520 × 520 × 680 mm.

A készülék súlya: kb. 150 kp.

A készülék aljára felszerelt négy görgő biztosítja a könnyű helyzetváltoztatást.

### 3. Nagyfeszültségű ivállóság-vizsgáló berendezés

A készülék 220 V, 50 Hz váltakozóáramú hálózatról működtethető, összteljesítmény szükséglete max. 1,4 kVA (2-5. ábra). A hálózati feszültség megfelelő védelem és kapcsolók után a toroidtranszformátorra jut, amellyel tirisztorokon és soros ellenállásokon keresztül gerjesztjük a 220/12 500 V-os nagyfeszültségű transzformátort. A nagyfeszültségű transzformátor tirisztoros vezérlésével csökkentjük a szekunder oldalon fellépő tranziens jelenségeket. A primer áramkörbe kapcsolt soros ellenállásokkal a szekunderkör áramát állítjuk be.

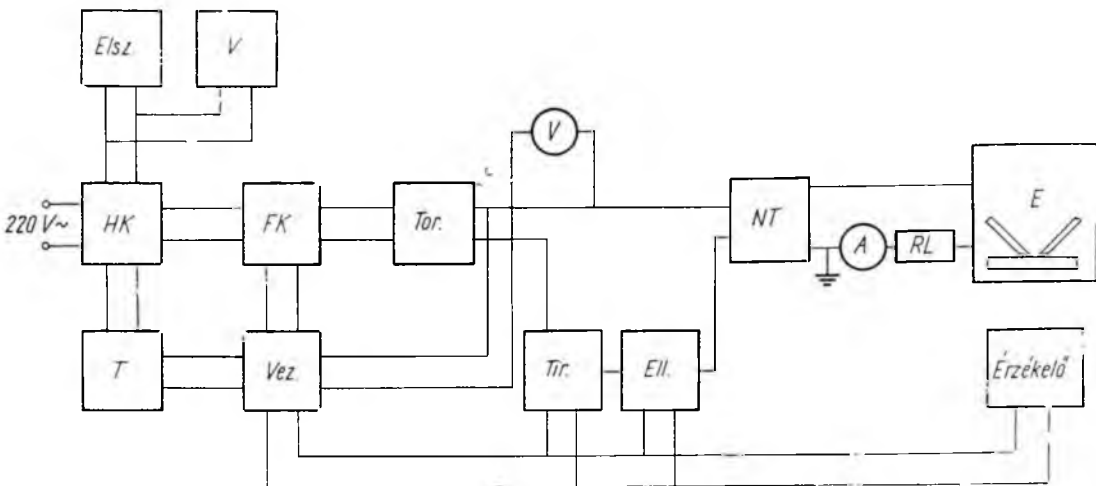
A készülék elvi felépítése a 2-6. ábrán látható. A tirisztorok gyújtására, ill. kioltására — a szabványban előírt időtartamok szerint — a következő megoldást választottuk.

Egy  $n=375$ /min fordulatszámú szinkron motorról áttétel segítségével  $n=30$ /min és  $n=1$ /min fordulatokkal állítottunk elő. Az  $n=30$ /min-os fordulattal hajtunk egy 24 szeletes kollektort, amely a tirisztor gyújtóáramkörébe van beiktatva. A kollektor különböző számú és helyzetű szegmenseinek rövidrezárásával biztosítottuk a szabvány első három vizsgálati fokozatában rögzített be- és kikapcsolási igénybevételi ciklusok  $\pm 1/120$  s-os pontosságát. Az  $n=1$ /min fordulatszámmal két marker vezérelünk, amelyek a különböző áramköröket zárják, ill. bontják. Az egyik marker azokat a jelfogókat működteti, amelyek a szabványban előírt köráramokat állítják be, míg a másik marker a 24 szeletes kollektor szegmenseit kapcsolja a programozás szerint. A markerekkel és a vizsgálóterbe elhelyezett érzékelővel a folyamat teljesen automatikussá válik.

A berendezés automatikus vagy kézi vezérléssel üzemeltethető. Automatikus vezérlés esetén a berendezés a szabványban előírt program szerint működik mindaddig, amíg a próbatest meg nem hibásodik. A próbatest meghibásodását érzékelő



2-5. ábra. Nagyfeszültségű ivállóság-vizsgáló berendezés



2-6. ábra. Nagyfeszültségű, kis áramerősségű ivállóság-vizsgáló berendezés blokkvázlata

Elsz. elszívó; V világítás; HK hálózati kapcsoló; T tápegység; FK főkapcsoló; Vez. vezérlőegység; Tor toroidtranszformátor; Tir. tirisztor; Ell. ellenállások; NT nagyfeszültségű transzformátor; LC rádiófrekvenciás zavarszűrő; E vizsgálóelektródok

áramkör a nagyfeszültséget lekapcsolja, és egy beépített villamos óra segítségével rögzíti a vizsgálat kezdetétől eltelt időt. Az egyszerűbb és gyorsabb kiértékelés céljából digitális számjelt is beépítettünk, amely mindig a megfelelő vizsgálati fokozatokat jelzi. Ha a próbatest a teljes szabványvizsgálatnak megfelelő (ASTM szerinti hét fokozat), akkor a berendezés automatikusan lekapcsol.

A berendezés a szabványos vizsgálaton túlmenően kutatási célokra is alkalmas, amennyiben a hét szabványos vizsgálati fokozaton kívül további hat, összesen 13 vizsgálati állással rendelkezik. Ez esetben a vizsgálati áramot 100 mA-ig tudjuk növelni. Kézi vezérlés esetén tetszés szerinti időknél megfelelően történhet a vizsgálati fokozatok áramerősség szempontjából növekvő sorrendjének váltása. A próbatest meghibásodása esetén a lekapcsolás itt is automatikus.

A próbatest meghibásodását érzékelő szerv nagyfrekvenciás elven működik. A vizsgálat folyamán az elektródok között megjelenő nagyfeszültségű ív elektromágneses hullámokat gerjeszt. Ezek erősítés és egyenirányítás után egy célra kialakított jelzőáramkört működtetnek. A próbatest meghibásodása esetén az áramvezetési viszonyok — a tisztán ív jellegű vezetéshez képest — megváltoznak, amennyiben az anyag felületén részleges vagy teljes áramvezető pálya alakul ki, az anyag minőségétől függően. A megváltozott áramvezetési viszonyok végeredményben az elektromágneses hullámok változását: az ív csökkenését, ill. megszűnését okozzák. A vizsgálat végpontja, vagyis az „átütés” rendszerint teljesen meghatározott jellegű, és az ív eltűnésével egybeesik.

A berendezés a hálózatra csatlakoztatás után a főkapcsolókkal hozható üzemkész állapotba. Az 5 Be gomb működtetésével a 12,5 kV-os vizsgálati feszültség jelenik meg.

A vizsgálati folyamat akkor kezdődik, amikor a vezérlőegység áramkörét annak 7 Be gombjával rövidzárjuk. A vizsgálatot, amely a programozástól függően

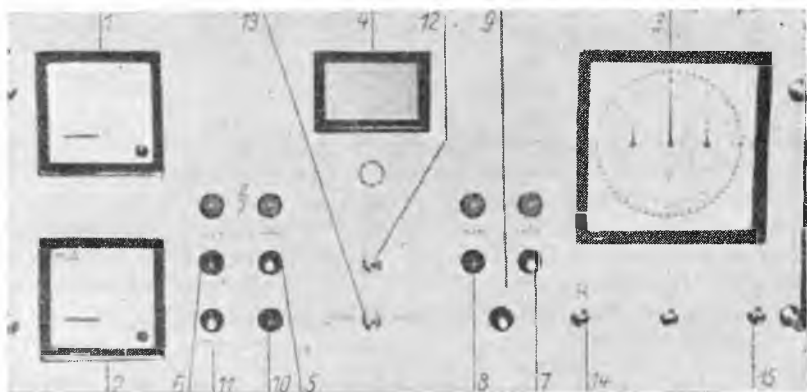
lehet szabványos (hétfokozatú) vagy bővített (13 fokozatú) terjedelmű, automatikusan vagy manuálisan végezhetjük.

A készülék felépítése ún. fiókos elrendezésű, ami a karbantartást és a javítást nagymértékben megkönnyíti.

A készülék három részre tagozódik. Alsó részét az ún. nagyfiók foglalja el. Ebben helyezkednek el az erősáramú alkatrészek és tartozékok: biztosítók, az 1 kVA-os toroidtranszformátor, a tirisztorok, a nagyfeszültségű transzformátor, valamint a különböző jelző- és működtetőáramkörök táptranzformátora, továbbá a nagyfeszültségű transzformátor szekunder áramkörének szabályozóellenállásai és a nagyfrekvenciás *RL*-tagok.

A készülék középső részét a gyengeáramú fiók alkotja, amelynek eleje a műszerfal. Itt helyeztük el az igénybevételi ciklusokat vezérlő automatikát, amely a 10 W-os szinkron motorból, két markerből és különböző jelző- és működtetőáramkörök jelfogórendszeréből áll.

A műszerfalon (2-7. ábra) található a mérőműszerek: az 1 voltmérő, a 2 ampermérő, a 3 villamos stopperóra, a vizsgálati állások 4 digitális számjelzői, valamint a különböző funkciók elvégzéséhez szükséges 11–15 kezelőszervek. Az itt elhelyezett nyomógombokkal a vizsgálati áramkör ellenőrizhető (11) és bármikor megszakítható (8), továbbá az időt és vizsgálati állást jelző készülékek alapállásba hozhatók (10).

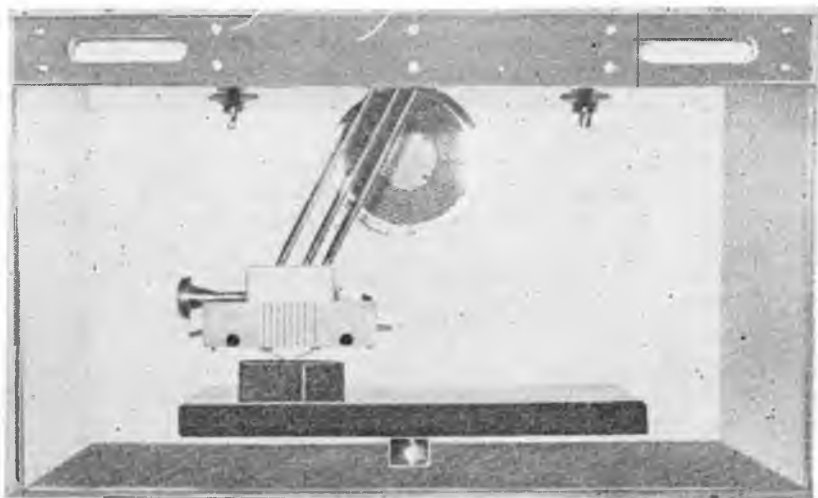


2-7. ábra. Műszerfal

A biztonsági áramkörökkel reteszelt, zárt vizsgálotérben (2-8. ábra) helyezkedik el az érzékelőszerv és a vizsgálóasztal, valamint az elektródok.

A vizsgálotér hátsó falához csatlakozik perforált lemezen keresztül az elszívóberendezés. Az intenzívebb megvilágítást a tetőtérben elhelyezett lámpák biztosítják. A vizsgálotér mérete:  $630 \times 370 \times 370$  mm. A vizsgálóasztal rögzített. A felette elhelyezett elektródok szerkezeti megoldása teszi lehetővé, hogy a szabványos vizsgálatokon túlmenően nagyobb méretű alakos és tagolt alkatrészekben több vizsgálatot is elvégezhessünk az esetleges technológiai és anyaghibák megállapítására. Az elektródtartó gömbcsuklós felfüggesztésével kiküszöböli a térbeli mozgathoz szükséges három irányú vezető-tengelyrendszert. Ez a konstrukció biztosítja, hogy a kontaktushid a térbeli mozgás bármely hossz-, szélesség- és magasság irányú helyzetében mindig önmagával párhuzamosan és vízszintesen mozduljon el. Az elektródok

Így mindig vízszintes síkban érintik a vizsgált darabok felületét. Az elektródtartó tömb jobb és bal oldalán elhelyezkedő rögzítő, ill. szintbeállító gomb a pontos beállást biztosítja. A szabványos méretű és elhelyezését elektródok 50 p-os felületi nyomása külön-külön beállítható.



2-8. ábra. Vizsgálóter

A berendezés különösebb karbantartást nem igényel. A különböző áramkörök biztosítói a nagyfiókon levő 4 db díszcsavar meglazítása után a fiók kihúzásával válnak hozzáférhetővé. A biztosítócsere zavartalanul történhet, mert a fiók kihúzása egyben feszültségmentesítést is jelent. A nagyfeszültségű vizsgálóáramkör földelt rendszerű. A berendezés csak akkor működtethető, ha a védőföldeléses hálózati csatlakozón kívül a készülék hátsó részén, alul elhelyezett földelőcsavart is bekötjük. A készülék aljára felszerelt 4 db görgő biztosítja a könnyű helyváltoztatást. A készülék mérete:  $760 \times 600 \times 1600$  mm.

# 3.

## Csillámpapír alapú villamos szigetelőanyagok

Z. DR. WINDISCH KLÁRA

### ÖSSZEFOGLALÁS

A csillám a villamosipar még ma is egyik pótolhatatlan szigetelőanyaga. A vékony lemezekre hasított csillámot kötőanyaggal ragasztják össze. Az utolsó 50 év fejlődésének legjelentősebb eredménye a végtelenített csillámpapírfólia előállításának és alkalmazási technológiájának kidolgozása.

Nyersanyagként muszkovit- vagy flogopit-hulladékot használnak, amelyet különféle eljárással papírgyártógépen feldolgozható péppé alakítanak.

A csillámpapírból készült szigetelőanyagok csaknem minden területen helyettesítik a hasított csillámból készült szigetelőanyagokat: rideg mikanitlemezeket és formadarabokat, hajlékony fóliákat és szalagokat.

A VKI a baráti országokban az elsők között kezdett foglalkozni a csillámpapír és a csillámpapír alapú szigetelőanyagok előállításával és alkalmazásával. Rövid áttekintés a hazai kutatás, gyártás és felhasználás helyzetéről. A hazai és külföldi készítmények paramétereinek összehasonlítása.

Újabb fejlődési irányok: a szintetikus csillám, mint a csillámpapír-gyártás alapanyaga.

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ НА СЛЮДЯНОЙ БУМАЖНОЙ ОСНОВЕ

*Др. К. Виндиш*

#### Резюме

Слюда и по сегодняшний день представляет собой незаменимый изоляционный материал электропромышленности. Одним из наиболее значительных достижений последних 50 лет является разработка бесконечной слюдяной бумажной фольги и технология ее применения.

В качестве сырья применяются отходы слюды мусковит и флогопит, которые различными технологическими методами на бумагодельной машине преобразуются в массу, пригодную для дальнейшей обработки.

Изоляционные материалы, изготовленные из слюдяной бумаги, почти во всех областях применения могут заменить изоляционные материалы, изготовленные из резанной слюды, ломкие миканитовые пластины и профили, гибкую ленту и фольгу.

Из дружеских стран Исследовательский Институт Электропромышленности первым начал заниматься производством и применением слюдяной бумаги и изоляционными материалами на основе слюдяной бумаги.

В статье дается краткий обзор состояния исследовательских работ в этой области, сравнение параметров отечественных и зарубежных изделий, дается обзор производства и применения этих новых изоляционных материалов и упоминается о новом направлении развития в этой области — применении синтетической слюды в качестве основы для производства слюдяной бумаги.

## ELEKTROISOLIERSTOFFE AUF GLIMMERPAPIERBASIS

Z. Dr. K. Windisch

### Zusammenfassung

Der Glimmer ist auch heute ein unersetzbares Isoliermaterial auf dem Gebiet der Elektrotechnik. Der auf dünne Plättchen gespaltete Glimmer wird mit Bindemitteln zusammengeklebt. Zu den bedeutendsten Erfolgen der Entwicklung in den letzten 50 Jahren gehört die Ausarbeitung der Herstellungs- und Verwendungstechnologie der kontinuierlichen Glimmerpapierfolien.

Als Rohstoff wird Muskovit- oder Flogopitglimmerabfall verwendet, das durch verschiedene Verfahren zu einer auf Papiermaschinen zu verarbeitende Pulpe verarbeitet wird.

Die aus Glimmerpapier hergestellten Isolierstoffe ersetzen bereits auf fast jedem Gebiet die aus gespaltetem Glimmer hergestellten Isolierstoffe: die harten Mikanit-Platten und Formstücke, die biegsamen Folien und Bänder.

In den sozialistischen Ländern war das Forschungsinstitut der Elektroindustrie unter den ersten, die sich mit der Herstellung und Anwendung von Glimmerpapier und Isolierstoffen auf Glimmerpapierbasis beschäftigte.

Der Autor gibt eine kurze Übersicht über den Stand der Forschung, der Produktion und des Einsatzes in Ungarn. Es folgt ein Vergleich der Parameter der in Ungarn und der im Ausland hergestellten Erzeugnisse.

Neue Entwicklungsrichtungen: Synthetischer Glimmer als Grundstoff der Glimmerpapierproduktion.

## MICA PAPER-BASE ELECTRIC INSULATION MATERIALS

Z. Dr. K. Windisch

### Summary

Mica is still one of the irreplaceable insulation material of electrical engineering. The mica split to thin sheets is cemented with binder material. The production of continuous mica paper and the elaboration of the technology of its application is the most significant result attained by the development work of the last fifty years.

Muscovite or flogopite waste is used as raw material which is then processed by different methods to a pulp which can be processed further, in paper making machines.

The dielectrics made of mica paper substitute the insulating materials made of split mica in almost all applications. These dielectrics are perfect substitutes of the rigid micanite plates and forming insulations, flexible sheets and tapes.

The Research Institute of the Electrical Industry was the first organization of all socialist countries which started to deal with the manufacture and application of mica paper and mica paperbase insulating materials.

The author presents a brief review of the domestic research work, production and utilization. A comparison of the parameters of the locally made and foreign products is then given.

The author discusses the more recent trends of development, e. g. the synthetic mica as a basic material of mica paper production.

### 1. A csillámpapírgyártás kifejlődése

A természetes csillám ma is egyike a villamosipar legfontosabb és legrégebb szigetelőanyagának, annak ellenére, hogy az elmúlt évtizedek óta számos esetben természetes szigetelőanyag helyett műanyagokat alkalmaznak.

A csillám jelentős és maradandó helyzetét kiváló villamos és fizikai tulajdonságainak köszönheti: jó villamos szilárdságának, alacsony dielektromos veszteségének, jó felületi és térfogati ellenállásának, kitűnő hőállóságának. Mechanikailag a csillámnak magas a nyíró- és húzószilárdsága. Kémiaiilag közömbös: víz, közhaszná-

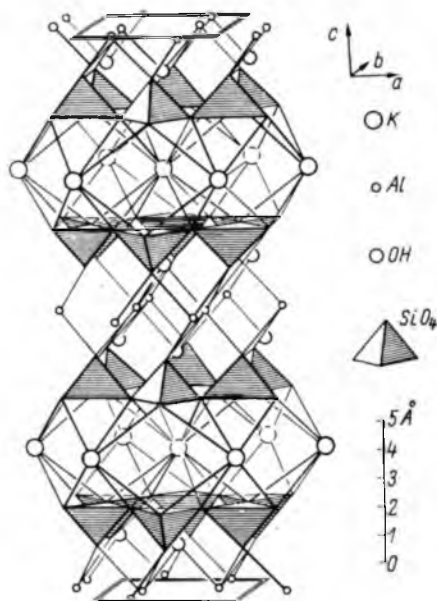
latú oldószerek, lúgok és savak nem támadják meg, a hidrogén-fluorid és a tömény kénsva kivételével. Az olaj bizonyos mértékben megtámadja, behatolva a réteges szerkezet egyes lemezkéi közé. A csillám jó villamos és mechanikai tulajdonságait magas hőmérsékletig, 500..800 °C-ig megtartja. E hőmérséklet felett bizonyos bomlási folyamatok játszódnak le: kristályvizét elveszíti, — kalcinálódik — át-látszatlan, ezüstös fényű lesz, mechanikai és villamos tulajdonságai romlanak.

A csillám igen gyakori ásvány, a föld-kéreg különböző rétegeiben előfordul mint vulkánikus kőzetek, gránit, pegmatit eley-része. Ennek ellenére az iparilag értékesít-hető csillám ritka. Sok fajtája közül a vil-lamosipar a muszkovitot és a flogopitot használja.

Kémiaailag a természetes csillám alumí-niumszilikátnak káliummal, magnéziummal, vassal, nátriummal, lítiummal és egyéb nyom-elemekkel képezett, komplex vegyülete. A muszkovit- vagy kálicsillám hidrogénkáli-umalumínium-szilikát:  $H_2KAl_3(SiO_4)_3$ . Eu-rópában Ausztriában fordul elő. Nagyobb mennyiséget India, Ceylon, Egyesült Álla-mok, Argentína, Madagaszkár és Kanada termelnek. A flogopit- vagy magnézium-csillám hidrogénkáliummagnéziumalumi-nium-szilikát:  $H_2KMg_3Al(SiO_4)_3$ . Lelőhelyei Madagaszkár, Kanada, Mexikó [1].

A csillám monoklin rendszerben kristá-lyosodik, szabálytalan alakú, sík felületű leme-zes kristályokat alkotva. Kristályrácsa két-irányban atomos, egyirányban ionos kötésű. Utóbbi irányban a kristálytengely erő-sen megrövidült. Ez az alakzat a szilikátok körében gyakran előfordul, és a kristá-lyok réteges szerkezetében jut kifejezésre. A szerkezetből következik, hogy a fizikai tulajdonságok a különböző irányokban erősen eltérők. Az atomrácsos kristályok-ban a rácselemek kovalens kötése, vegyértékerőkkel kapcsolódó atomok. Az ion-rácsos kristályokban a kristályelemek ionok. Itt a kötése erősség kisebb, a szomszé-dos ionok távolsága közelítőleg az ionsugarak összege. Ha egy kristály felépítésében mindkét kötésfajta megtaláljuk, a rácsszerkezet különböző irányokban különböző nagyságú kötése erősek működnek, a kristály fizikai sajátosságai erősen anizotropok.

A csillám is ilyen jellegű kétdimenziós, hálós szerkezetű anorganikus polimer; a hasadás olyan síkok szerint történik, amelyeken kevés erős kötés megy keresztül. A kristályszerkezet a következő: egy kisméretű szilícium atomot négy nagyobb oxigén atom vesz körül ( $SiO_4$ -tetraeder). A négy oxigén atom közül három egy síkban van, a negyedik egy hidrogén atommal hidroxil-gyököt alkot, és a tetraeder negyedik csúcsát képezi [2] (3-1. ábra). A három egységben levő oxigén atom és a szilícium atom közt atomos, tehát igen erős, a síkra merőlegesen pedig gyengébb, ionos kötések működnek. Az így kialakult rétegeket az egyvegyértékű kálium ionok tartják össze, amelyek nagyok s így a kötése erő csekély, maguk a rétegek igen erősek és rugalmasak, ezért a hasadás rendkívül tökéletes [3]. A csillám pépesítését a gyen-gébb ionos kötések megbontása teszi lehetővé.



3-1. ábra. A csillám kristályszerkezete

A villamosiparban, fejlődésének kezdetén — Edison idejében — nagyméretű, hasított csillámlapokat használtak szigetelési célokra. Ilyen célra azonban az ipar a bányászott csillámnak csak kb. 5%-át tudta hasznosítani. A gyorsan fejlődő, és egyre növekvő igényű villamosiparnak ezért újabb, a követelményeknek megfelelő méretű forrásokat kellett keresni igényei kielégítésére. 1892-ben Jefferson és Dyer ötlete alapján a kevésbé jöminőségű kisebb méretű csillámot vékony lapokra hasítják és ezekből alkalmas ragasztóanyaggal tetszőleges méretű és vastagságú lemezeket, fóliákat alakítanak ki. A hasított csillámból készülő szigetelőanyagokat lényegében ma is így gyártják, bár mind az alkalmazásra kerülő kötőanyagok, mind a gyártási technológia területén a technika fejlődése lényeges változásokat eredményezett. Gondolunk itt a műanyagok fejlődésére, amely a régebben használt csaknem kizárólag természetes ragasztóanyagokat erősen háttérbe szorította. A műanyag alapú ragasztóanyagok kifejlesztése új szigetelési eljárások kifejlesztését is jelentette, pl. a turbogenerátorok rúdsgigetelésének területén.

Az ipar rohamosan növekedő igényei a csillámszigetelések további fejlesztését igényelték. Ebben a fejlődésben az utolsó évtizedek legjelentősebb lépése a végtelenített csillámpapír-fólia előállítás és alkalmazási technológiájának kidolgozása volt. Ez a felfedezés, és ipari méretekben történő megvalósítása lehetővé tette újabb, nagy kiterjedésű nyersanyaglelőhelyek kiaknázását szigetelőanyagként való feldolgozás céljából, számos új típusú szigetelőanyag kidolgozását jelentette, és állíthatjuk, hogy a csillámpapír ma már csaknem minden területen helyettesíti a hasított csillámból készült termékeket.

Jacques Bardet (1885—1949) francia vegyész készített először a csillámból olyan pépszerű anyagot, amely a cellulóz péphez hasonló tulajdonságú, és a papírgyárakban alkalmazott gépeken feldolgozva, tiszta csillámból álló folytonos és összefüggő lapot képez. Kísérleteinek eredményét közölve, megteremtették a lehetőséget az ipari szinten történő előállításra. 1949-ben Franciaországban a Société des Applications de Mica (SAMICA) Valdoie-i üzeme megkezdte a csillámpapír gyártását. A gyártás megindításával egyidejűleg Svájcban a Schweizerische Isolawerke-nél Breitenbachban, Franciaországban az Usines Diélectriques-nél Delle-ben, Olaszországban a Société Isola-nál Milanóban tanulmányozni kezdték a SAMICA-nak elnevezett csillámpapír alapú szigetelőanyagok gyártását és alkalmazási technológiáját, megoldva sok olyan problémát, amelyet az újszerű anyagok az iparban felszínre hoztak.

A csillámpapír alapú szigetelőanyagokat az iparban folyamatosan vezették be, ma már széles körben elterjedtek, sok tulajdonságukban kedvezően felülmúlva a hasított csillámból készült szigetelőanyagokat. Amerikában az összes csillámkészítmények kb. 30%-a csillámpapír alapú.

A csillámpapír alapanyagát képező csillámpép előállítására többféle, szabadalmakkal védett módszer ismeretes. A következőkben a két iparilag is kidolgozott eljárást ismertetjük:

#### *A természetes csillám megbontása hő- és kémiai kezeléssel (Bardet-féle eljárás)*

Az eljárás nyersanyaga muszkovit csillám, darabos bányahulladék, gyártási vagy egyéb pl. „szélezési” hulladék. A nyersanyagot az esetleg jelenlevő idegen anyagoktól, kődaraboktól szitálással megtisztítják. Ezután a csillámot egy kemecében olyan mértékű hőkezelésnek vetik alá, hogy kristályvizének egy részét elveszítse. A teljes dehidratáció elkerülése céljából a hőkezelés hőmérsékletét és időtartamát ellenőrizni kell. A hőkezelés ideje és hőmérséklete a csillám eredetétől függően különböző. Minden fajta csillámra megállapíthatók a legkedvezőbb hőkezelési körülmények. Általában muszkovit csillám esetében ez kb. 20 min-ig tartó, 800 °C körüli hőmérséklet. A hőkezelés alatt a csillám a hasítási felületre merőlegesen enyhén megduzzad, átlátszatlant, ezüstös fénytűvé és réteges szerkezetűvé válik. Ezután a meleg csillámot nátrium-karbonát-oldatba merítik. Az oldat helyi forrása kiüzi a hőkezelés következtében felduzzadt csillámrészecskék közül a levegőt. Lehűlés után a nagymennyiségű nátrium-karbonátot tartalmazó vékony, kevésbé összefüggő lemezeké halmazát a felesleges szodaoldattal elválasztják. A következő műveletben a csillámot híg savba, célszerűen sósavba helyezik. A csillámrészecskék közé behatoló sav a nátrium-karbonát-oldattal reakcióba lép, és a fejlődő szén-dioxid-gáz a csillámrészecskéket nagymértékben fellazítja. A csillám eredeti vastagságának többszáz-



szorosára is megduzzad. A csillámrészecskék lazán tapadnak össze, és a tömeg mosásával, enyhe mozgatásával elválnak egymástól, zsiros tapintású pépet képezve. Ezzel az eljárással készül a SAMICA, Isomika, Mikape, Remika, Novomika néven forgalomba hozott csillámszigetelők alapanyaga.

Az amerikai General Electric Co. Sche. *Mica mat* néven hoz forgalomba csillámpapír alapú szigetelőanyagokat. A csillámot hőkezelés után melegen vízbe merítik és egy szitán, módosított kalapácsmalomban pépesítik. A szita finomsága az előállítandó pép szemcse méretétől függ.

A pépet a csillámpép tulajdonságainak megfelelően módosított Fourdrinier típusú módosított papírgyártógépen dolgozzák fel, kötőanyag hozzáadása nélkül. A gyorsan ülepedő csillámpépből készült fóliákat szivószekevény fölött átvezetve víztelenítik, nemezre vezetik át, gőzzel fűtött dobokon szárítják, kalanderezik és magra feltekerceslik.

#### *A természetes csillám megbontása mechanikus kezeléssel (Heymann-féle eljárás)*

A természetes csillám mechanikus úton való bontása nagynyomású vízszugárral történik erre a célra alkalmas berendezésben. Nyersanyagként muszkovitot, flogopitot, biotitot esetleg ezek keverékét használják. Jó tulajdonságai miatt a flogopitot előnyben részesítik. A berendezés több, egymás fölé helyezett kamrából áll. A csillámot automatikusan ellenőrzött vibrátor táplálja az alsó kamrába. A kamrák oldalán és tetején rozsdamentes acélsövön keresztül 35 at vagy magasabb nyomású vízszugarat lövelnek, amely a kamrában levő vizet és csillámot állandó nagy sebességű örvénylésben tartja. A lebegő csillámrészecskéket a centrifugális erő kifelé hajtja és hasadási irányukkal párhuzamosan elhelyezkednek a kamrák falán. A csillámpépből papírgyári gépen készítik a csillámpapírt, a Bardet-féle eljárásnál ismertetett módon. Ezt az terméket Romica, Integrated Mica néven hozzák forgalomba. Az előállítók szerint a mechanikusan bontott csillám villamos szigetelés céljára különösen alkalmas, mert az elemi kristályok szerkezete nem roncsolódik el, ellentétben a csillám kalcinálódásával járó hőkezeléses eljárással [4].

A csillámpép néhány mikron vastagságú, hosszúkás lemezes részecskékből áll, amelyek felülete 0,5...1 mm<sup>2</sup> nagyságrendű. Kérdés, hogy a pépből készülő csillámpapír esetében a hosszúkás lemezes szerkezetű csillámrészecskék egyszerű nemezelődéséről van-e szó, vagypedig vannak-e olyan erők, amelyek a részecskék közti tapadást növelik. Elképzelhető, hogy a nemezelődést a feltárásnál a friss felületen képződő felületi erők elősegítik. [5]

A papírgépen előállított fólia vastagsága néhány század és néhány tized mm között változhat (0,04...0,2 mm), fajsúlya az egyes részecskék közti nagy mennyiségű levegőzárvány miatt kb. fele a természetes csilláménak. Szakítószilárdsága a nyersanyag minőségétől és az eljárástól függően igen különböző lehet, elérheti a néhány kp/mm<sup>2</sup> nagyságrendet is (2...5 kp/mm<sup>2</sup>). Átütési szilárdsága a természetes csilláménál kisebb.

A csillámpapírnak nagy előnye a hasított csillámból készült szigetelőanyagokkal szemben: egyenletes vastagsága és folytonossága, a kötőanyag egyenletes elosztásának lehetősége. Megfelelő kötőanyagokkal: sellak, epoxigyanta, alkidgyanta, szilikongyanta, anorganikus kötőanyagok stb. és vázanyagokkal: papír, selyem, üvegvaszon, műanyag fóliák, azbesztpapír, kombinálva a keletkező termékek számos tulajdonságukban felülmúlják a hasított csillámból készületeket. A csillámpapírból minden hasított csillámnak megfelelő termék előállítható: különféle hőosztálynak megfelelő kötőanyaggal ragasztott kommutátormikanit, fűtőmikanit szerves és szervesetlen kötőanyaggal vagy a kettő kombinációjával ragasztva, mikanit profildarabok,

csövek, formadarabok, különféle hősztalýoknak megfelelő mikafólium, mikaszalag stb.

Ha a pépet nedvesen megőrlik, igen finom, lamellás szerkezetű port nyernek, melyet korrózióvédő, hő- és villamos-szigetelőakkokba pigmentként, szerves és szervesetlen présprokba, gumikeverékekbe töltőanyagként lehet felhasználni.

## **2. Csillámpapír alapú készítmények**

A villamos szigeteléssel foglalkozókat, elsősorban a csillámpapírból készíthető szigetelőanyagok érdeklik.

### **2.1 Rideg mikanitlemezek és formadarabok**

A csillámpapír különösen alkalmas rideg lemezek előállítására. A vékony, egyenletes vastagságú csillámpapír-fóliák egymásra rétegezése tömör szigetelőanyagok előállítását teszi lehetővé. E lemezek fajsúlya kicsi, vastagsága egyenletes, átütési szilárdsága nagy.

A réteges, egyenletes szerkezeti felépítés és a csillámpapír elemi részeinek kristályos szerkezete, az egyenletes kötőanyageloszlás miatt az anyag nyomószilárdsága, megmunkálhatósága, pl. „stancolhatósága” igen jó. A lemezek kis mérettűréssel csiszolhatók. Kötőanyagul sellakot, epoxi-, alkid-, szilikongyantát alkalmaznak attól függően, hogy milyen mechanikai tulajdonságokat és milyen hőállóságot kívánnak a terméktől. A csillámpapír alapú rideg lemezek kötőanyagának kiválasztása jelentősebb, mint a hasított csillámból készülnél. 130...155 °C hőállóságú termék előállítására az epoxigyanták alkalmasak, jó tapadóképességük, szívósságuk előnyösen érvényesül. 180 °C hőállóságig szilikongyantákat, ezen felül, pl. fűtőmikanit céljára szervesetlen kötőanyaggal, szerves és szervesetlen anyagok kombinációjával készült ragasztókat használnak.

Formadarabok előállítására a szükséges hősztalýnak megfelelő kötőanyagokat használik. A rideg készítmények fő alkalmazási területei: kommutátor- és fűtőmikanit, csövek, profildarabok, rávasalt szigetelések.

### **2.2 Hajlékony fóliák és szalagok**

A csillámpapír kiválóan impregnálható rugalmas gyantákkal is. A fóliák és szalagok egyenletessége, hajlékonysága, feldolgozhatósága jobb mint a hasított csillámból készülnéké, villamos tulajdonságai pedig azzal egyenértékűek.

A hajlékony fóliákat és szalagokat általában hordozóanyaggal készítik. A hordozóanyag és a kötőanyag az alkalmazási területtől és a kívánt hősztalýtól függ. A csillámpapír részecskéi egymáshoz és a hordozóanyagokhoz jobban tapadnak, mint a hasított csillám, ezért még a gyengébb tapadóképességű szilikonlakkokkal és üvegvázzonnal is jól feldolgozható fóliák és szalagok állíthatók elő.

A csillámpapír alapú fóliák és szalagok fontosabb alkalmazási területei: generátorok és nagyobb gépek tekercsszigetelése, horonyszigetelések, turbogenerátorok és nagygépek folytonos rúdszigetelése. Helyes technológiával, a levegőzárványok és nedvességnyomok kiküszöbölésével, igen egyenletes vastagságú, homogén, tömör, rugalmas szigeteléseket lehet készíteni, amelyek a réz hőtágulását követik, és a rétegek elvándorlása a „creeping” jelensége nem lép fel. Az egyes részecskék kevésbé vannak a hőtágulás okozta feszültségnek kitéve, mint a hasított csillámból készült

rendszerekben, ahol a csillámlemezek egymáshoz képest könnyen elmozdulhatnak. Az ilyen szigetelés a hőtágulás következtében megrepedhet, belsejében üregek képződhetnek.

A csillámpapír viselkedése ionizáció esetében is előnyös. Az ionizáció következtében a kötőanyag a legfelső rétegből ég ki, és a csillámpapír mint egy védőréteg megvédi a szigetelést a további bomlástól. Hasított csillám esetében, ha a kötőanyag a felületről kiég, a csillámrészek leválnak és a bomlás a szigetelés teljes széteséséig folytatódhat.

### 3. A hazai gyártás és gyártmányok ismertetése

A Villamosipari Kutató Intézet a baráti országokban az elsők közt kezdett foglalkozni a csillámpapír előállításával és a csillámpapír alapú szigetelőanyagok kifejlesztésével. A kísérleteket egyrészt az anyag újszerűségének felismerése, másrészt az a törekvés indította el, hogy a népgazdaság részére a drága hasított csillám helyett olcsó muszkovit bányahulladékból, hazai gyártási hulladékból értékes szigetelőanyagokat állítsunk elő.

Kísérleteink során lényegében a Bardet-féle „szódás-savas” eljárást dolgoztuk ki *MIKAPE* elnevezéssel. Tekintettel arra, hogy kísérleteink során a pépesedést megelőző részfolyamatok igen szemléletesen mutatkoztak, ezeket a következő ábrákon mutatjuk be.

Első kísérleteinkhez kb. 6 cm<sup>2</sup> felületű 1...1,5 mm vastagságú muszkovit bányahulladékot használtunk (3-2. ábra).



3-2. ábra. A csillámpapír-gyártás első kísérleteinek nyersanyaga: muszkovit bányahulladék



3-3. ábra. Hőkezelt csillám

A hőkezelés következtében a csillám megduzzad, az elemi lapocskák láthatóvá válnak. A térfogatnövekedés következtében a csillámlemez eredeti vastagságának 40...50-szeresét is elérheti (3-3. ábra). A csillám a „szódás-savas” kezelés következtében eredeti vastagságának többszázszorosát is elérheti. (3-4. és 3-5. ábra). Ez kevergetésre és mozgatásra szétesik és rostos szerkezetű pépet képez [6] (3-6. ábra).

Az anyagból kötőanyag nélkül papírszerű lapokat lehet készíteni. E lapok mechanikai és villamos tulajdonságait a 3-1. táblázat tartalmazza (első oszlop).

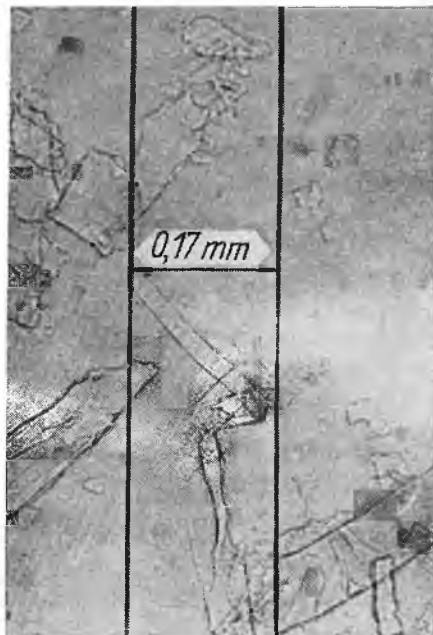
Mint látható — a tömör, jól kialakult réteges szerkezet miatt a csillámpapírlapoknak kötőanyag nélküli állapotban is igen jó a villamos szilárdsága. Fajsúlya — laza szerkezete miatt — alacsonyabb, mint a csillámé 1,6 g/cm<sup>3</sup> (2,7...3,0 g/cm<sup>3</sup>



3-4. ábra. Hő- és vegyi kezelésnek alávetett csillám



3-5. ábra. Hő- és vegyi kezelésnek alávetett csillám kinagyított részecskéje



3-6. ábra. A csillámpép mikroszkopikus felvétele százszoros nagyításban. A csillám réteges rostos szerkezete az apró részecskénél is kifejezetten látszik

helyett). Mechanikai tulajdonságai miatt azonban kötőanyag nélkül szigetelőanyagként nem használható. Megfelelő vázanyagokkal és kötőanyagokkal társítva az előbbieken felsorolt alkalmazási területek ismeretesekek.

A laboratóriumi kísérletek alapján létesítettünk a Mechanikai Műveknél — igen szerény körülmények közt — egy kísérleti üzemet. Ezzel az egyszerű, számos helyen átalakításra, a gyártási tapasztalatok alapján módosításokra szoruló (illetve beruházásokkal felújítandó) technológiával és berendezéssel gyártottak sellakkal ragasztott kommutátormikanitot. Később a Mechanikai Művek a „szódás-savas” technológiáról áttért a „sósavas” eljárásra. E szerint a hőkezelés után csak sósavas vegyi kezelés következik. A gyártás jelenleg is ezzel az eljárással történik. A kezeletlen csillámpapírral kapcsolatos vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy a csillámpapír mechanikai és villamos tulajdonságai, a termelési százalék az azonos típusú (Bardet-féle) eljárás különböző fajtái esetén is mások. Befolyásolja a minőséget a kiindulási anyag is. A jó mechanikai tulajdonság különösképpen a vázanyagokkal gyártott készítményekhez, pl. szalagokhoz nagy jelentőségű. Gyengébb mechanikai tulajdonságokkal rendelkező papírból szabványos minőségű kommutátormikanitot vagy hőálló mikanitot lehet készíteni, de alkalmatlan pl. csillámszalag gyártására.

A különböző, hazai és külföldi kezeletlen csillámpapírok tulajdonságaira vonatkozó összehasonlító vizsgálati eredményeinket a 3-1. táblázat közli.

3-1. táblázat

**Muszkovitból készült, hazai és külföldi kezeletlen csillámpapírok mechanikai tulajdonságai**

Megnevezés	Csillámpapír-fajták				
	VKI szódás savas	VKI savas	MM-ben gyártott	VSZM-ben gyártott	Remika CSSZK
Vastagság, mm	0,06	0,07	0,04	0,06...0,08	0,05
Négyzetméter-súly, p/m <sup>2</sup>	100,7	114,2	63,7	97,3	82,7
Látszólagos fajsúly, p/cm <sup>3</sup>	1,66	1,59	1,57	1,39	1,61
Szakítószilárdság, kp/mm <sup>2</sup>	4,5	2,2	—	0,5...1	2,02
Átütési szilárdság, kV/mm	37,5	30,5	15,8 átvezet	12,6	23,0 egyes helyeken átvezet
Termelési %	75...87	60...65	50	50	67

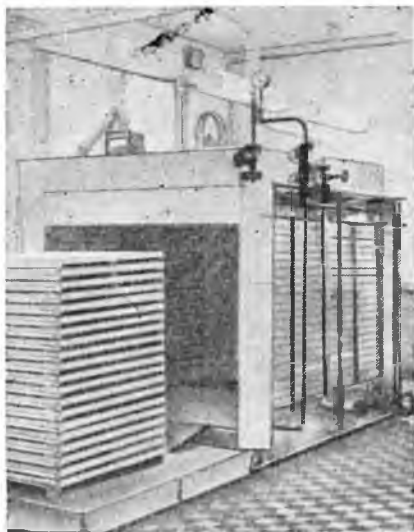
A csillámpapírból lényegében a hasított csillámból készült lemezekéhez hasonló technológiával sellakk vagy más kötőanyaggal készül a kommutátormikanit. A hazai és külföldi gyártású kommutátormikanitok összehasonlító szabványvizsgálatainak eredményeit a 3-2. táblázatban közöljük.

Laboratóriumban kidolgoztuk az epoxigyantával ragasztott kommutátormikanitot. Az epoxigyanták jó mechanikai tulajdonságaik: tapadóképességük, szívósságuk miatt különösen alkalmasak csillámpapírból készült lemezek ragasztására. Ezen esetben a kötőanyag nagy szerepe van, mint a hasított csillám esetén. Kísérleteink során legjobbnak bizonyult a CIBA gyártmányú Araldit LY 556-os gyanta HT 976-os Härter-rel, mert ennek legjobbak a mechanikus, termikus és villamos tulajdonságai. A kommutátormikanit lemezek a sellaknál szokásos 8% helyett 5...5,5% kötőanyaggal elkészíthetők vele. Zsugorodásuk a magyar szabványban megengedett értéknél lényegesen alacsonyabb, megengedett érték 20 °C-on, 600 kp/cm<sup>2</sup> nyomáson: 10%; 160 °C-on, 600 kp/cm<sup>2</sup> nyomáson: 12%. Ugyanezen értékek epoxigyantával ragasztott kommutátormikanit esetében 3,8, ill. 4,3%.

Az ipar fűtőmikanit igényének kielégítésére kidolgoztuk a csillámpapír alapú hőálló szigetelőlemezt, amely egymásra rétegzett szervesetlen és szilikon kötőanyagú csillámlapokból készül, és technológiai és alkalmazhatósági szempontból igen előnyös tulajdonságokkal rendelkezik. A szigetelőlemez összetétele és felépítése a lemez préselését igen tág, 150 °C-tól 350 °C-ig terjedő hőmérséklet-tartományban teszi lehetővé. A préseléshez hagyományos gőzüzemű etázsprések használhatók.

A préselési hőmérséklet kiválasztása lehetővé teszi a megmunkálási szempontok messzemenő figyelembevételét. Pl. alacsony hőmérsékleten préselt lemezből annak rugalmas, kevésbé rideg voltát kihasználva formadarabok vághatóak, majd ezek hőkezelésével hőálló idomok alakíthatók ki. A sikeres laboratóriumi kísérletek nyomán Intézetünk már 1964 és 1965-ben félüzemi mennyiségben állított elő hőálló szigetelőlemezt, és kidolgozta az üzemi szintű gyártásra alkalmas technológiát.

Minták jelzése	Gyártó cég	Ragasztó anyag	Névl. vastagság mm	Mérések :			Fajsúly p/cm <sup>3</sup>
				vastagság mm	átlagos tűrés mm	egyek pontokban eltérés mm	
1. Mikapemikanit	Mechanikai Művek Budapest	sellak	1,0	1,04	+0,04	+0,09...0,06	2,1
2. Novomikanit	LEW „Hans Beimler” Hennigsdorf NDK	sellak	1,0	1,08	+0,08	+0,10...0,00	2,5
3. Remikanit	Elektroisola Tábor CSSZK	epoxilakk	0,8	0,83	+0,03	+0,04...0,00	2,5
4. Remikanit	Elektroisola Tábor CSSZK	epoxilakk	0,7	0,71	+0,01	+0,02...0,00	2,4
5. Mikapemikanit	VSZM Budapest	sellak	0,5	0,56	+0,06	+0,09...,00	2,1
6. Mikapemikanit	VK1 Budapest	epoxilakk	0,8	0,82	+0,02	+0,06...0,000	2,1



3-7. ábra. Hőálló szigetelőlemez kísérleti üzemi gyártására alkalmas berendezés

Az üzemi technológia megvalósítására megépítettük azt a berendezést, amely az üzemi követelményeknek megfelelően továbbfejleszhető [7] (3-7. ábra). A hőálló szigetelőlemez egyelőre vasúti fűtőtestekben és villamos hőkészülékekben, pl. kenyérpírtóban, fűtőszámtartóként használják.

A muszkovit hulladék beszerzési nehézségei miatt foglalkozni kezdtünk csillámpapírnak másfajta csillámból történő előállításával. Tekintve, hogy világviszonylatban a flogopitból készülő csillámpapír alapú szigetelőanyagok egyre nagyobb jelentőségűek [10] a kísérleteinket flogopittal végeztük. Az eljárást a hazai lehetőségeket szem előtt tartva dolgoztuk ki, vagyis lényegében az eddigi módszert alkalmaztuk annak ellenére, hogy flogopitból inkább a nagynyomású víz-sugárral mechanikus úton való foszlatással (Heymann-féle eljárás) készítenek csillámpapírt (pl. Romica gyűjtőnéven ismeretes szil-

szerint

Próbafelsz.	Zsugorodás %, ha a nyomás 600 kp/cm <sup>2</sup> és a hőmérséklet		Hőmérséklet és nyomás elleni ellenálló képesség	Rétegződés	Kötőanyag tartalom %	Megjegyzés
	20 °C	160 °C				
jó	19,6	21,6	A zsugorodás-vizsgálatánál kötőanyag vagy csillámkicsuszást nem észleltünk	jó (10%)	8,9	A zsugorodás-vizsgálatnál a párhuzamos értékek erősen szóróznak
jó	10,6	11,3		jó	5,0	
jó	5,5	6,6		jó	5,7	A zsugorodás-vizsgálatnál a párhuzamos értékek rendkívül jól egyeznek
jó	4,7	5,3		jó	6,7	
jó	9,1	12,1		jó	7,9	
jó	3,8	4,3		jó	5,4	

getelőanyagok). Megállapítottuk, hogy a rendelkezésünkre álló koreai eredetű flogopitból ilymódon készült csillámpapírok mechanikai tulajdonságai igen rosszak, csaknem mérhetetlenek (3-3. táblázat).

Ennek egyik oka a flogopitnak a muszkovitétől eltérő kristályszerkezete. Villamos tulajdonságai a muszkovitból készült papírénál alacsonyabbak. A kezeletlen muszkovit, ill. flogopit alapú csillámpapír összehasonlító mechanikai és villamos tulajdonságait 3-3. táblázatban hasonlítottuk össze.

A flogopitból készült csillámpapír tulajdonságainak javítása céljából a csillámpépet melaminvegyülettel [8] kezeltük oly módon, hogy a csillámpépet 0,5% dimetilolmelamint tartalmazó vízben szuszpendáltuk, 30 min-ig állni hagytuk, és ezután készítettük el a fóliákat a szokásos módon. A csillámpapír csaknem mérhetetlen mechanikai szilárdsága ezzel 1,5...2,0 kp/mm<sup>2</sup>-re növekedett, és elérte egy jó minőségű muszkovitból készült üzemi gyártású csillámpapír mechanikai szilárdságát. A fóliákból sellakk kötőanyaggal az ismert módon kommutátormikanitot készítettünk, amely a szabványban előírt követelményeket kielégíti (3-4. táblázat).

3-3. táblázat

Kötőanyag nélküli csillámpapírok tulajdonságai

Tulajdonságok	Csillámfajta	
	muszkovit	flogopit
Szakítószilárdság, kp/mm <sup>2</sup>	2...4	—
Villamos átütési szilárdság, kV/mm	13...15	11...14

3-4. táblázat

**Flogopitból készült, csillámpapír alapú kommutátormikanit összehasonlító szabványvizsgálata**

Megnevezés	Minőségi követelmények VSZM 109—64 házi- szabvány szerint	Minőségi követelmények MSZ 18418 szabvány szerint	Mért értékek
Vastagság, mm			0,81
Fajsúly, p/cm <sup>3</sup>	2,2...2,3	2,3...2,6	2,5
Próbafeszültség, kV/mm			
darabvizsgálat esetén	7 l'-ig	7 l'-ig	jó
típusvizsgálat esetén	12 l'-ig	12 l'-ig	jó
Zsugorodás, %			
20 °C, 600 kp/cm <sup>2</sup> nyomáson	10	14	2,6
160 °C, 600 kp/cm <sup>2</sup> nyomáson	12	16	2,9
Hőmérséklet és nyomás elleni ellenállóképesség	A zsugorodás-vizsgál- latnál kötőanyag vagy csillámkicsű- szás nem lehet	A zsugorodás-vizsgál- latnál kötőanyag vagy csillámkicsű- szás nem lehet	jó
Rétegződés, %	max. 20	max. 15	0
Kötőanyagtartalom (Sellak), %	6, ill. 8	3...8	5,8

**4. A fejlődés újabb iránya**

A fejlődés egy újabb iránya említést érdemel: a *mesterséges csillámot* is felhasználják bizonyos esetekben a csillámpapírgyártás alapanyagaként. A mesterséges csillámot 1370...1400 °C-on ömlesztéssel állítják elő (összetétele:  $KMg_3AlSi_3O_{10}F_2$ ). Hőállósága igen jó, mert molekulájában a hidroxil ionokat fluorionok helyettesítik. A mesterséges csillámot tömbök, pelyhek, por alakjában állítják elő. Az egyes részecskék eredeti lemezes alakjukat megtartják. Különleges célokra csillámpapírt is készítenek belőle. Kizárólag ott alkalmazzák, ahol a műcsillám nagy hőállósága és rendkívüli kémiai tisztasága ezt indokoltá teszi [9].

**Irodalom**

- [1] *Oburger, W.*: Die Isolierstoffe der Elektrotechnik. Springer-Verlag, Wien 1957.
- [2] *Vieweg*: Elektrotechnische Isolierstoffe. Springer-Verlag, Berlin 1937.
- [3] *Lakatos—Náray—Szarvas*: Szerkezeti szeretlen kémia I. köt. (Náray-Szabó István: Kristály kémia) Akadémiai Kiadó 1965.
- [4] *Ketterer R. J.*: Mica Paper Insulations — State of the Art. Insulation, **24—32**, (1964. aug.)
- [5] *Diehl E.*: Samica — ein Papier aus Glimmer. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, **35**, 2 (1955)
- [6] *Z. Dr. Windisch Klára*: A csillám pépesítésével előállítható új szigetelőanyag. Elektroisolacolin (CSSZK) 1952. (előadás)
- [7] *Dávid P.—Németh M.*: Villamosüzemű vasúti fűtőtestek fejlesztése és vizsgálata. VKI közleményei 2. köt. 1967. 17. old.
- [8] 153.495 Eljárás villamos szigetelő rétegelt műanyagtestek előállítására melaminformaldehid addíciós termékek alkalmazásával (Szolgálati találmány)
- [9] *Section 3-15*: Mica Products. Insulation Directory/Encyclopedia Issue. 7 June/July 1967. p. 287—302.
- [10] *Kezdi G.—Schmid Dr. R.*: Glimmervlies für Elektroisolation. Maschinenwelt, (1965) Juni. p. 262—267.



# 4.

## Termoanalitikai módszerek a szigetelések öregedésének vizsgálatára

DÁVID PÉTER

### ÖSSZEFOGLALÁS

A termoanalízis névvel legtöbbször az anyagok hőmérséklet szerinti entalpia és/vagy súlyváltozásának módszeres megfigyelését jelölik meg. Ezeknek a vizsgálati eljárásoknak néhány éves múltja van már a villamos szigetelőanyagok öregedésének tanulmányozása területén.

Az 1964. évben az USA-ban differenciáltermoanalitikai, Magyarországon a VKI-ben derivatográfias öregedési vizsgálatok kezdődtek. Az azóta eltelt időszakban eredmények születtek differenciáltermoanalitikai, termogravimetriás és derivatográfias módszerekkel egyaránt, a szigetelések öregedésének, ill. hajlamának kémiai reakciókinetikai interpretálása útján. Ezeket a módszereket rövid áttekintés formájában célszerű összehasonlítani.

A derivatográfias módszer nagyobb felbontóképessége lehetővé tette egyes, az öregedés során egyidejűleg lejátszódó folyamatok külön-külön észlelését és értékelését: pl. PVC-kompaundok esetében. A magasabb hőmérsékleten (pl. 150 °C) végzett gyorsított öregítések alapján, derivatográfias mérésekkel egyes esetekben felírható volt az Arrhenius-egyenlet: az aktiválási energiák számítása és a reakciósebességi állandók alacsonyabb hőmérsékletre történő extrapolálása végett. Ez a magasabb hőmérsékleten végzett gyorsított öregedésvizsgálati eredmények felhasználásához, vagyis a gyakorlatban előforduló, alacsonyabb (üzemi) hőmérsékletre történő átszámításához szükséges.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОАНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ ИЗОЛЯЦИИ НА СТАРЕНИЕ

*П. Давид*

#### Резюме

Под термоанализом, как правило, понимается температурная энтальпия материалов или же систематическое наблюдение за изменением веса. Эти методы испытания используются уже несколько лет в области исследования старения материалов.

В 1964 году в США началось проведение дифференциальных термоаналитических испытаний, а в Венгрии, в рамках института VKI, были начаты дериватографические испытания на старение. За прошедшие годы были достигнуты результаты как в области дифференциально-термоаналитических методов, так и в области термографиметрии, дериватографии путем интерпретации химико-реакционной кинематической способности, т. е. способности старения изоляции. Эти методы сравнивают путем их краткого изложения.

Более высокая разрешающая способность дериватографического метода обеспечила возможность раздельного наблюдения и оценки процессов старения, в частности, при исследовании компаундных масс ПВХ в условиях более высоких температур (напр. 150 °C). На основе проведенных испытаний на старение в отдельных случаях стало возможным применение равенства Аррхениус с использованием дериватографических измерений для расчета энергий активизации и экстраполяции постоянной скорости реакции на более низкие температурные значения. Этот метод позволяет использовать результаты ускоренного испытания старения, проведенного при более высокой температуре, а это дает возможность пересчитать результаты и на более низкую температуру.

## THERMOANALYTISCHE METHODEN ZUR PRÜFUNG DER ALTERUNG VON ISOLIERUNGEN

*P. Dávid*

### Zusammenfassung

Mit dem Begriff Thermoanalyse bezeichnet man meistens die methodische Beobachtung der temperaturbedingten Enthalpie- und/oder Gewichtsänderungen der Werkstoffe. Diese Prüfungsverfahren können bereits auf eine Vergangenheit von einigen Jahren auf dem Gebiet der Untersuchung der Alterung von Elektroisolierstoffen zurückblicken.

Im Jahre 1964 wurden in den USA differenzial-thermoanalytische, im Forschungsinstitut der Elektroindustrie in Ungarn: derivatographische Alterungsuntersuchungen eingeleitet. In dem von diesem Zeitpunkt an gerechneten Zeitabschnitt wurden sowohl mit differenzial-thermoanalytischen als auch mit thermogravimetrischen und derivatographischen Methoden Erfolge erreicht, durch die chemische reaktionskinetische Interpretation der Alterung bzw. der diesbezüglichen Neigung der Isolierungen. Diese Methoden sind zweckmässigerweise in der Form einer kurzen Übersicht zu vergleichen.

Die derivatographische Methode ermöglichte auf Grund ihrer grösseren Auflösungsfähigkeit die getrennte Feststellung und Auswertung einzelner im Laufe der Alterung gleichzeitig ablaufenden Vorgänge; so konnte z. B. bei PVC-Massen auf Grund von beschleunigten Alterungsversuchen bei höheren Temperaturen (z. B. 150 °C) mit derivatographischen Messungen in einigen Fällen die Gleichung nach Arrhenius aufgeschrieben werden: zwecks Berechnung der Aktivierungsenergie und Extrapolierung der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten auf niedrigere Temperatur. Dies ist zur Verwendung der Ergebnisse der bei höheren Temperaturen vorgenommenen beschleunigten Alterungsprüfungen, d. h. zur Umrechnung auf die in der Praxis vorkommende niedrigere Betriebstemperatur erforderlich.

## THERMOANALYTICAL METHODS FOR THE EXAMINATION OF THE AGEING OF INSULATIONS

*P. Dávid*

### Summary

The concept of thermal analysis usually covers the methodical observation of the change in enthalpy and/or weight of materials by temperature. The application of these testing methods already reaches back to a past of a few years in the study of the ageing of electrical insulating materials.

Differential thermoanalytical tests were initiated in 1964, in U. S. whereas in Hungary, the Research Institute the Electrical Industry begun derivatographic ageing tests. During the period which elapsed since that time results were obtained by differential thermal analysis, thermogravimetry and derivatography, by interpreting the ageing, resp. ageing tendency of insulations from the view point of chemical reaction kinetics. It is deemed expedient to compare these methods in form of a brief review.

The higher resolving power of the derivatographic method enabled the separate observation and the evaluation of certain processes which occurred simultaneously on ageing, e. g. in the case of the PVC compounds. Based on the accelerated ageing carried out at higher temperature (e. g. 150 centigrades), the derivatographic measurements enabled, in certain cases, the utilization of Arrhenius equation, for the calculation of the activating energies and for extrapolating the reaction rate constants to lower temperatures. This is necessary to enable the utilization of the results obtained by the accelerated ageing tests performed at higher temperatures, resp. for the conversion of these results to the lower (operational) temperatures which occur in practice.

## 1. Bevezetés: az öregedés tanulmányozásának létjogosultsága

A villamos gépek és berendezések szigetelése üzem közben lassú átalakulást mutat és ha tulajdonságai eközben romlanak: a nem kívánt jelenséget leginkább az *öregedés* kifejezéssel lehet jellemezni.

*A szigetelést felépítő szigetelőanyagok öregedése általában kémiai jelenség [1] és legtöbbször csak hatásában jelenti a szigetelés mechanikai és villamos tulajdonságainak változásait.* Annak ellenére, hogy ez a megállapítás nyilvánvalónak látszik, még sem szokás eléggé kiemelni, pedig a helyes villamosipari szemlélethez e tény tudatosítása elengedhetetlen.

Az öregedés tanulmányozása már az alapanyagokon elkezdődik: lehetőleg stabilis *szigetelőanyagok* előállítása illetve megismerése érdekében. Vizsgálják a *szigetelő félkésztermékek* öregedési hajlamát: általában a valóságot megközelítő igénybevételi viszonyok között. Az üzemi próbák során viszont már a *kész szigetelés* vizsgálják: az egész berendezés élettartamát meghatározó módon. Az üzemi próbák költsége azonban azt követeli, hogy az új, vagy még kellően nem ismert anyagokat, félkésztermékeket lehetőleg még laboratóriumi szinten lehessen alaposan megrostálni: gyorsított öregedésvizsgálati módszerek segítségével. E módszerek irodalma ma már igen bőséges és az ilyen irányú kutatást mindenki szükségszerűnek tartja [2], [3], [4].

A hazai villamosiparra vonatkoztatva különösen fontos a szigetelőanyagok, félkésztermékek és kész szigetelések öregedésvizsgálati lehetőségeinek számontartása, mivel állandó probléma a szigetelőanyagok és szigetelő félkésztermékek importja: tekintettel arra, hogy a hazai gyártás sokszor nem gazdaságos. Míg a szigetelőanyagok igen nagy kiterjedésű, de aránylag kis volument jelentő gyártmány családjának egy-egy tagja csak akkor származik majd a jövőben hazai gyártásból, ha itthoni előállítása gazdaságos lesz, addig a szigetelőanyagok kiválasztása, összehasonlítása, a szigetelések minősítése, ellenőrzése a legkorszerűbb mérési felkészültséget igényli még akkor is, ha a szigetelőanyagok, szigetelési félkésztermékek zöme importból származnék is.

## 2. Termikus öregedés, termikus analízis

A legtöbb szigetelőanyag még manapság is a szerves vegyületek kategóriájába tartozik. Ez az oka annak, hogy az üzemközben ható igénybevételi tényezők közül mai napig a hőmérséklet hatásával foglalkoztak legtöbbet és a szigetelőanyagok és szigetelések osztályozását is hőállóságuk szerint alkották meg [10].

Sokan élesen elválasztják a (kizárólag hőhatásra visszavezethető) termikus öregedést az oxidáció által okozott öregedéstől. Ezt mi nem helyeseljük. A szerves vegyületek stabilitása ugyanis már aránylag kisebb hőmérsékletnövekedés esetén is számottevően csökken és *a lehetséges kémiai átalakulások száma, ill. sebessége a hőmérséklet emelkedésével rohamosan növekedik.* Mivel a leggyakoribb üzemi körülmények egyike a levegő jelenléte, azonkívül a jelenleg elfogadott ún. hőosztályok sem kémiailag közömbös térben végzett mérésekre alapulnak, ezért az oxidációs hatások javarésztét is a hőmérséklet függvényében célszerű szemlélni. Ezek alapján azt javasoljuk, hogy a termikus- vagy hőöregedés kifejezés egy általánosabb meghatározás legyen, amelynek így a esetjei lehetnek a közömbös térben, vagy a levegőben, stb. végbemenő öregedési folyamatok, vagy pl. a PVC bomlása, ahol a termikus sósav-lehasadás a döntő folyamat és az oxidációnak csupán járulékos szerepe

van. Viszont nem termikus jellegű a *kisüléskémiai* öregedés [5] még akkor sem, ha oxidációs hatást jelent. Nem értünk egyet azzal az egyszerűsítéssel sem, ha az öregedés vizsgálatánál kizárólag az oxidáció hatását mérik.

Bár a hőmérséklet okozta elváltozások mérését (pl. súlyvesztését) már régóta alkalmazzák a szigetelések hőregedésének tanulmányozására, mégis, csak néhány éves múltra tekinthet vissza az a kézenfekvő gondolat, hogy a hőregedés jelenségeit a termikus analízissel lehet jobban megismerni. A termikus analízis ismertetésére e helyen nem lehet kitérni, csupán utalhatunk annak kiterjedt irodalmára [6] és a VKI által 1964-ben közzétett ilyen tárgyú, szigeteléstechikával foglalkozók számára összeállított ismertetésre [7]. A termikus analízis számos módszere és változata közül eddig a *differenciáltermoanalitikát* (DTA módszer) és a *termogravimetriát* (TG módszer), valamint részben a kombinációjuknak és továbbfejlesztésüknek tekinthető, hazai eredetű *derivatográfiát* alkalmazták az öregedés vizsgálatára. Az eddigi, ilyen irányú munkákat az alábbiakban ismertetjük: időrend, szerzők, és módszer szerinti csoportosításban.

### 3. Randino és Andreotti DTA módszere

A szerzők nagy érdeme, hogy 1964. májusában megjelent cikkükben [8] először ismertették az öregedési kinetika megismerésére alkalmazott termikus elemzési módszert.

A közlemény az ismert alapokból indul ki: valamely, a gyakorlatban érdekes tulajdonságnak az öregedés során történő változását egy anyagi összetevő keletkezéséhez, vagy eltűnéséhez köti és így a tulajdonságváltozás kinetikája a kémiai reakciókinetika alapján tárgyalható. A kérdéses tulajdonság változását hordozó kémiai átalakulás időbeli lefolyására a  $k$  sebességi állandó a jellemző, amelynek a kérdéses  $P$  tulajdonsággal adódó összefüggése

$$F(P) = kt \quad (1)$$

függvény alakban írható fel, ahol  $t$  a  $P$  tulajdonság egy bizonyos értékének eléréséhez szükséges idő. Ha a  $P$  értékét egy kiválasztott szinten tartjuk, akkor  $t$  csupán  $k$ -nak függvénye.

A  $k$  állandó hőmérséklet függését az ismeretes Arrhenius-egyenlet adja meg:

$$k = Ae^{-E/RT}, \quad (2)$$

ahol  $A$  a reakcióra jellemző állandó,  $E$  az ún. aktiválási energia,  $R$  a gázállandó,  $T$  az abszolút hőmérséklet. (1) és (2) kombinálásával a

$$t = \frac{F(P)}{Ae^{-E/RT}} \quad (3)$$

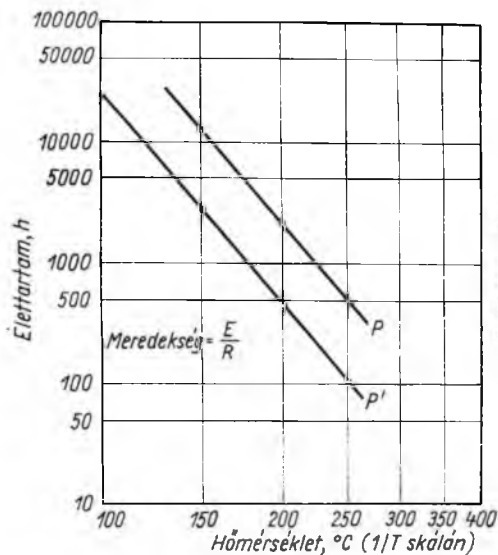
összefüggéshez jutunk, amelynek logaritmikusan alakja:

$$\lg t = \lg F(P) - \lg A + \frac{E}{RT}. \quad (4)$$

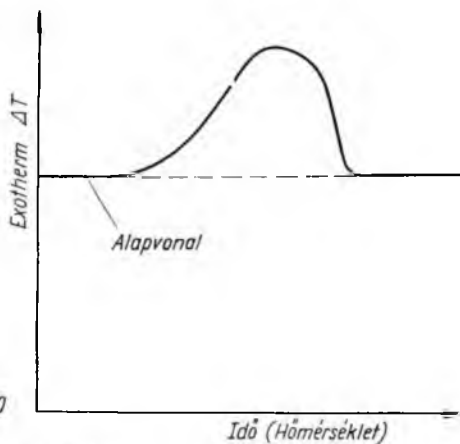
A  $B = \lg F(P) - \lg A$  szimbólumot bevezetve

$$\lg t = B + \frac{E}{RT}. \quad (5)$$

Látható, hogy az összefüggést  $\lg t$  és  $1/T$  koordinátarendszerben egyenes ábrázolja, amelynek meredeksége  $E/R$ . Ez a 4-1. ábrán látható. Az ábrázolás megegyezik a szokásos élettartam-összefüggésekével, hiszen  $t$  a kiválasztott  $P$  érték eléréséhez szükséges időt, vagyis az *élettartamot* méri. [A 4-1. ábrán ugyanazon  $P$  tulajdonság két kiválasztott végső értékéhez (ún. kritériumhoz) tartozó két élettartam-egyenes látható a hőmérséklet függvényében. Mindkettő meredeksége  $E/R$ ].



4-1. ábra



4-2. ábra

A 4-1. ábra alapján belátható, hogy alkalmas módszer segítségével az élettartam-összefüggés vonala megszerkeszthető ha ismeretes legalább egy pontja (tehát egy „klasszikus” módon meghatározott élettartam érték), valamint a meredekség, vagyis az aktiválási energia. Ennek az *aktiválási energiának meghatározására ajánlják a szerzők módszerüket.*

A kísérleti eljárás lényege a következő: a szokásos DTA berendezésben nitrogén áramoltatás mellett egyenletesen fűtik fel a vizsgálandó mintát és egyenletes időközökben, rövid időre oxigént áramoltatnak (injektálnak) nitrogén helyett a készülékbe [9]. A kapott termogram ekkor lényegesen eltér a szokásostól. A 4-2. ábrán egy szokásos, pl. levegő vagy oxigén atmoszférában felvett termogram szemléltető ábrázolása látható. Az alapvonal a galvanométer (vagy más jelző, regisztráló műszer) azon állását jelenti, amikor a vizsgált anyagban sem hőfejlődés sem hőelnyelés nem mutatkozik, ha a felfűtés egyenletes. Az ábrán exotherm irányú DTA csúcs az oxidációs folyamatok jellemző formája.

A 4-3. ábrán látható a szerzők oxigéninjektálás esetén kapott termogramjának vázlatos, szemléltető ábrázolása. Látható, hogy a  $\Delta T$ -vel jelölt kitérések, — amelyek az oxidáció által a mintában okozott viszonylagos hőmérsékletnövekedést jelzik — eltérő nagyságúak, mivel az abszcissa szerinti, különböző hőmérsékletekhez tartoznak és nyilvánvaló, hogy a vizsgált anyag különböző hőmérsékleteken más-más és jellemző hevességgel oxidálódik. Az oxidációnak ez a — különböző hőmérsékleteken előállított és mért — eltérő hevessége nyilvánvalóan szoros kapcsolatban van

az illető anyag hőmérséklet szerinti oxidációs kinetikájával, tehát — a szükséges és megengedhető egyszerűsítések után — a mért  $\Delta T$  értékek arányosnak tekinthetők a megfelelő sebességi állandó értékekkel. Ily módon a  $\Delta T$  értékek hőmérséklet szerinti változása a  $k$  értékek hőmérséklet szerinti változásával párhuzamos és ezért az Arrhenius-egyenlet szokásos, grafikus előállításához a mért  $\Delta T$  értékek  $k$  értékek helyett felhasználhatók.

A (2) Arrhenius-egyenlet, illetve annak logaritmus alakja — ha  $k$  helyett, a vele arányosnak tekintett  $\Delta T$ -t helyettesítjük be — így alakul

$$C\Delta T = CAe^{-E/RT} \quad (6)$$

és

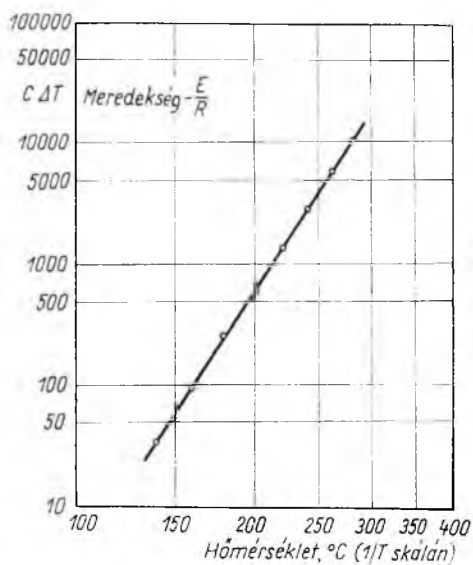
$$\lg C\Delta T = \lg CA - \frac{E}{RT} \quad (7)$$

ahol  $C\Delta T = k$ , a  $C$  arányossági tényező.

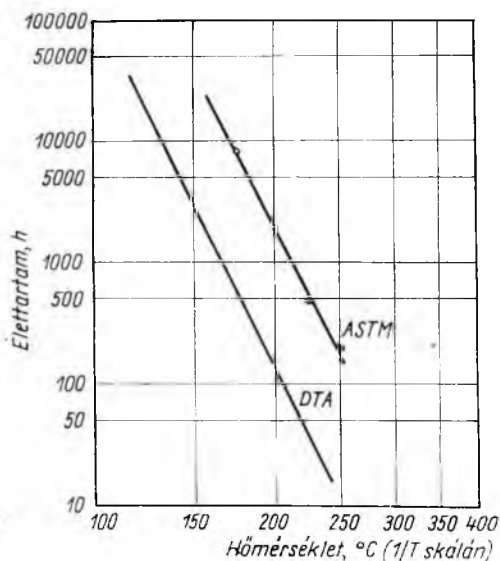
Az Arrhenius-egyenlet, ill. a szokásos élettartam-egyenes ábrázolásához

hasonlóan tehát, a  $\lg C\Delta T$  és  $1/T$  között lineáris összefüggés írható fel, ami az a 4-4. ábrán látható. Itt az egyenes meredekségének előjele ugyan nem a szokásos, de élettartam-összefüggésekkel történő összehasonlításához ettől el lehet tekinteni és a  $\frac{E}{R}$  meredekséggel ábrázoljuk.

Így állították elő a szerzők a 4-5. ábrát, ahol ugyanazon anyag ASTM



4-4. ábra



4-5. ábra

D-1932-61 T szerinti élettartam-egyenese és a DTA módszerrel, fentiek szerint előállított Arrhenius-összefüggés egyenes képe látható: meglepően egyező meredekségekkel. A fentiekben ismertetett módszer tehát az anyag oxidációs készségének különböző hőmérsékleteken DTA módszerrel történő mérésén alapszik, amely eredményekből az illető oxidációs reakcióra vonatkozó Arrhenius-egyenese meredeksége szerkeszthető meg.

Ha feltesszük, hogy anyagunk öregedését üzem közben is döntően az oxidációs folyamat határozza meg, továbbá egyetlen hőmérsékleten elvégezzük a vizsgált anyaggal a szokásos élettartamvizsgálatot, akkor az ebből adódó, meghatározott idő- és hőmérséklet-koordinátákkal rendelkező pont és a meghatározott meredekség segítségével élettartam-egyenese írható fel a kérdéses anyagra.

A módszer alapvető feltételezése tehát, hogy az oxidáció a mérvadó és ez egyetlen reakció formájában megy végbe. (Erre a feltételzésre a jelen tanulmányban ismertetett módszerrel összehasonlító értékelésénél még visszatérünk.)

### A VKI eddig alkalmazott módszere

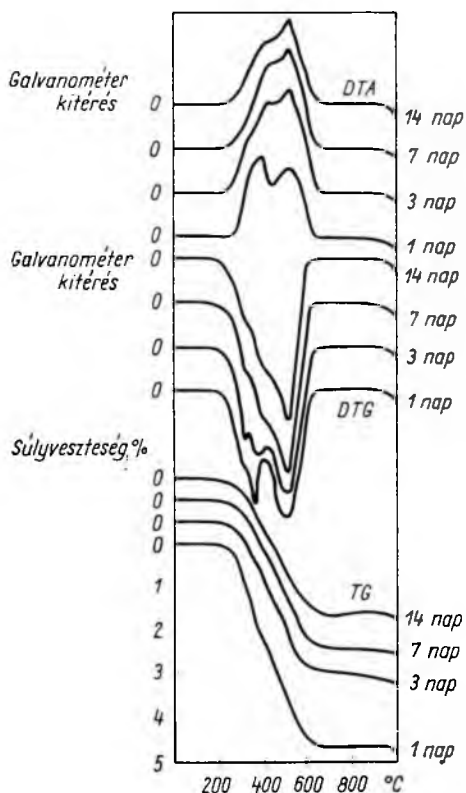
Ugyancsak 1964-ben jelent meg első közleményünk a termoanalízis szigeteléstechológiai és öregedésvizsgálati alkalmazásáról [7]. Külön érdekessége a tanulmánynak, hogy elsőnek tudósít a hazai eredetű termoanalitikai módszer, a *derivatográfia* [6] e tárgykörben lehetséges alkalmazhatóságáról.

E közleményünk egyes, már továbbfejlesztett vonatkozásait 1964. decemberében [11] és 1965. áprilisában [12] előadások formájában ismertettük, továbbá, tekintettel arra, hogy annakidején méréseinket a Budapesti Műszaki Egyetem végezte, eredményeinket az Egyetemmel közösen, két későbbi angol nyelvű közleményben is közreadtuk [13], [14].

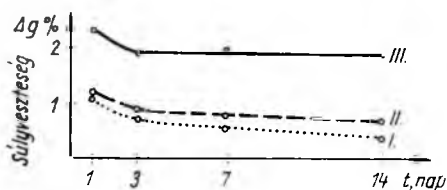
Eddigi eredményeinket egy epoxi típusú ragasztóval készült csillámos szigetelőlemez (mikanit) és egy PVC-keverék példáján mutatjuk be, amelyeket ugyan már korábban közzétettünk [7], [15], de részben új megvilágításban előadva, a jelen összehasonlító értékeléshez szükségesek.

Intézetünkben a termoanalitikai vizsgálatokat hazai eredetű termikus elemző készülékkel, a *derivatográf*al végeztük (vö. [6] 137. old.). A derivatográf egyesíti magában a differenciál termoanalitikai (DTA) és a termogravimetriai (TG) mérések lehetőségét, amellet a külön kiemelkedő tény mellett, hogy a mérést egyazon mintában teszi lehetővé, valamint hogy a termogravimetriás (TG) görbe műszeres deriválása útján nagyobb felbontást ad, mint a közönséges termomérlegek. A derivatográf tehát a vizsgált anyag választott felfűtési program szerinti hőbontását végzi el, miközben méri és regisztrálja a minta súlycsökkenését (TG görbe) a súlycsökkenés sebességét (DTG görbe, a TG görbe idő szerinti első deriváltja), az entalpiaváltozást (DTA görbe) és a minta mindenkori hőmérsékletét.

A 4-6. ábrán négy derivatogram összesített képe látható, amely tömörítve ábrázolja négy, különböző ideig öregített minta hőbomlását. A minták a fent már említett, epoxi kötőanyagot tartalmazó, csillámos szigetelőlemezéből valók, öregítésük levegőn, 200 °C-on történt, rendre 1, 3, 7 és 14 napon keresztül. A négy minta egyesített derivatogramja három egyazon hőmérsékleti abszcisszához tartozó görbecsoportból áll. Az alsó, TG jelű görbecsoport a négy különböző ideig öregített minta súlycsökkenését mutatja a derivatográfban előállított hőmérsékleti program függvényében. A középső, négy görbéből álló, DTG jelű görbecsoport az előbbi TG görbék idő szerinti első deriváltját, vagyis a *súlyváltozások sebességét* mutatja.



4-6. ábra



4-7. ábra

(A DTG görbék — helymegtakarítás céljából — lefelé fordított módon kerülnek felvételre, de a „DTG maximum” és „DTG minimum” kifejezések nem erre a lefelé fordított, hanem a természetes helyzetre vonatkoztatva értendők). Amint látható, valamely DTG maximum mindig a TG görbe egy helyi legmeredekebb szakaszát (helyesebben egy helyi legmeredekebb érintőhöz tartozó inflexiós pontját) jelzi, valamely DTG minimum pedig a TG görbe egy olyan inflexiós pontját, amelyben a súlyváltozás a leglassúbb. A TG görbe ilyen inflexiós pontjai mindig két bomláslépcső közötti határpontot jelentenek és elvileg a derivatogramok kiértékelésekor e pontokkal a bomláslépcsők szétválaszthatók. A gyakorlatban azonban a TG görbék ilyen inflexiós pontjai sokszor nehezen észrevehetőek és felderítésük sok esetben kizárólag a DTG görbe szélső értékei (ill. szingularitásai) alapján lehetséges. A DTG görbe tehát egy olyan segédgörbe, amely a derivatográf nagyobb felbontóképességét és megbízhatóságát nyújtja szemben más módszerek szimpla TG görbéivel. Esetünkben az anyag — amint a DTG görbékéből látható — három lépcsőben bomlik a derivatográfban. E bomláslépcsők határpontjai a DTG görbéről jól leolvashatók, onnan a TG görbékre vetíthetők és ilymódon súlyvesztesség-ordináták rendelkezhető hozzá minden egyes bomláslépcsőhöz vagyis megállapítható az anyag különböző bomlási frakcióinak százalékos mennyisége.

Az öregített minták derivatográfban mutatkozó bomláslépcsőit és a belőlük távozó százalékos anyagmennyiségeket az 4-1. táblázat tartalmazza.

A derivatogram (4-6. ábra) felső, DTA jelű görbecsoportja a négy öregített mintához tartozó négy DTA görbe; e mérés lényegét már *Randino* és *Andreotti* módszerének ismertetése során érintettük. Annak előnyeit, hogy a derivatográf a súlyváltozás hőokozta jelenségeivel egyidejűleg és összevethető módon a DTA görbét is felveszi, már másutt kifejtettük [7], ezeken túlmenően a jelen gondolatmenet szempontjából az ábra DTA görbéire nincs szükség, tehát tárgyalásuktól a továbbiakban eltekintünk.

Amint láttuk, a vizsgált anyag hőbomlása három, jól elkülöníthető lépcsőben történik meg, amelyeket a 4-1. táblázat jellemez. A táblázat adatait a 4-7. ábra szemlélteti. Itt az egyes bomláslépcsőben távozó anyagfrakciók százalékos mennyisége



4-1. táblázat

**Epoxi típusú szigetelés derivatográfias bomlásfrakcióinak alakulása a minták előzetes öregítése szerint**

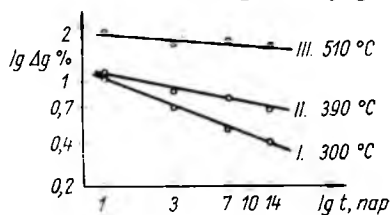
Bomlásfrakció		200 °C-os öregítés ideje napokban			
		1	3	7	14
Jele	Jellemző hőmérséklet, °C	ΔG súlyvesztesség, %			
I.	310	1,1	0,7	0,5	0,4
II.	390	1,2	0,9	0,8	0,7
III.	510	2,3	1,9	2,0	1,9

látható: a minta (előzetes) öregítési időtartamának függvényében. Ezek a görbék tulajdonképpen ún. *öregedési görbék* [2], ahol az öregedés során mért (és annak függvényében ábrázolt) tulajdonság: az egyes frakciókban távozó anyagmennyiség (súlyvesztesség).

A 4-7. ábra öregedési görbéit tekintve, szembetűnik, hogy azok nem párhuzamos lefutásúak, tehát öregítés során a minta bomlásfrakcióit felépítő anyagok egymástól eltérő módon változtak. Ez azt jelenti, hogy a vizsgált esetben az epoxi ragasztó öregedését nem egy, *hanem három öregedési görbe írja le*. Figyelemre méltó tehát a derivatográfias öregedésvizsgálati módszer *felbontóképessége*, mivel egyazon (epoxi) anyagfajta-hoz egyidejű mérésel több öregedési görbét rendel hozzá. Ennek a felismerésnek következményeire a későbbiekben még visszatérünk, de már itt meg kell állapítani, hogy a derivatográf adta nagyobb felbontási lehetőség döntő módon alakította a hőöregedés jelenségeit vizsgáló szemléletünket.

A 4-7. ábra öregedési görbéit — empirikus módon — lineáris alakban írtuk föl: kétszer logaritmikus papíron, amely ábrázolás a 4-8. ábrában látható. Az egyes bomlásfrakciók „öregedését” leíró egyenesekhez odaírtuk azok sorrendjét (római számmal) és az illető bomlásfrakciónak a derivatogramról leolvasott *jellemző hőmérsékletét*, amely a maximális bomlásebességhez tartozik.

A 4-7. ábra öregedési görbéinek ilyen, a 4-8. ábrában látható linearizált alakja szemléletesen mutatja be, sőt természetes közlésébe hozza azt a tényt, hogy a kérdéses epoxi ragasztó öregedése három „rész-öregedésből” tevődik össze. Látható az ábra alapján még, hogy a legalacsonyabb bomláshőmérsékletű frakció (I, 300 °C) öregedési egyenesének meredeksége a legnagyobb, míg a magasabb (II és III) bomláshőmérsékletű frakciók öregedési egyenesének meredekségei a bomláshőmérsékletekkel fordított módon, rendre kisebbek: az adott, 200 °C-on történt öregítés után.



4-8. ábra

Ez a nyilvánvaló összefüggés az anyag frakcióira jellemző bomlási (tehát képződési) hőmérséklet és öregedési hajlam, sebesség (az egyenesek meredeksége) között általában kevésbé figyelembe vett tény és ilyen egyszerű interpretálásához a derivatográfia felbontóképessége — és ugyanakkor termikus jellege — elengedhetetlennek látszik.

A 4-8. ábra szerinti, öregedést leíró egyenesek a

$$\lg \Delta g = b - a \lg t \quad (8)$$

alakban írhatók fel, ahol tehát a  $\Delta g$  súlyvesztés valamilyen frakció öregedés során el nem távozott vagy át nem alakult mennyiségének százalékos kifejezése,  $t$  az öregedés időtartama napokban,  $a$  és  $b$  pedig az egyes részfolyamatokra jellemző állandók.

A (8) összefüggés érdekessége, hogy kellő átrendezés után a

$$\lg t = \frac{b}{a} - \frac{1}{a} \lg \Delta g \quad (9)$$

alakra hozható, amely viszont igen figyelemreméltó formai és tartalmi hasonlóságot mutat az egyébként ismeretes

$$\ln t_T = \frac{B}{T} + \ln D \quad (10)$$

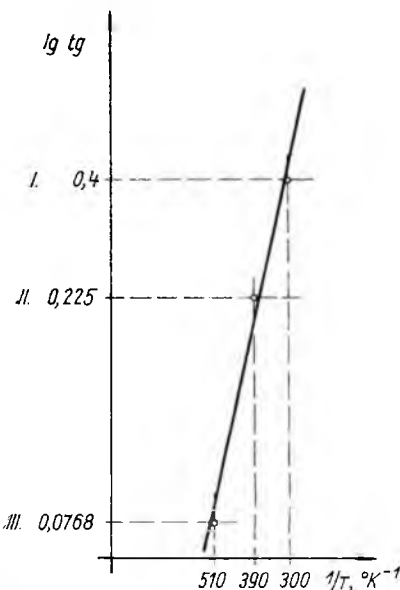
összefüggéssel [2], amelyet szigetelések élettartamára szokás vonatkoztatni. Itt  $t_T$  az élettartam,  $T$  az abszolút hőmérséklet,  $D = \frac{1}{A} \ln \frac{C_0}{C_v}$  az öregedésben mérvado komponens kezdeti és végső koncentrációját tartalmazó szimbólum,  $A$  és  $B$  az átalakulásra jellemző állandó. A (10) összefüggést az  $x = \frac{1}{T}$ ,  $y = \ln t_T$  koordinátarendszerben szokás ábrázolni, ahol az könnyen kezelhető egyenes képét adja. A (9) és

(10) említett figyelemreméltó hasonlósága szembeűnő, ha a  $\Delta g$  és  $D$  koncentráció jelentésű, valamint a  $t$  és  $t_T$  időjellegű tagokat vonjuk párhuzamba.

Visszatérve a 4-8. ábra egyenesének fizikai és kémiai jelentésére, belátható, hogy meredekségük a megfelelő öregedési részfolyamatok sebességét jellemzi, vagyis arányos az illető öregedési reakció  $k$  sebességi állandójával, vagy az illető anyagfrakció — valamilyen egyelőre tetszőlegesen meghatározott — „élettartamával”.

Mivel az ábra egyenesének meredeksége leolvasható, valamint a derivatogramok alapján melléjük rendelt jellemző hőmérsékletek is ismeretesek, az ismert (2) Arrhenius-egyenlethez vagy az ismert élettartam-összefüggésekhez hasonlóan, ábrázoltuk a frakciók öregedési meredekségeit (annak logaritmusát) a hőmérséklet ( $1/T$  skálán!) függvényében.

Ezt az ábrázolást a 4-9. ábra mutatja be, ahol az ordinátán feltüntetett „lg tg” szimbó-



4-9. ábra

lum akár  $I_{gk}$ , akár élettartam lehet és a kapott egyenes meredeksége pedig voltaképpen az *aktiválási energia* (ahogyan azt a 3. részben megmutattuk).

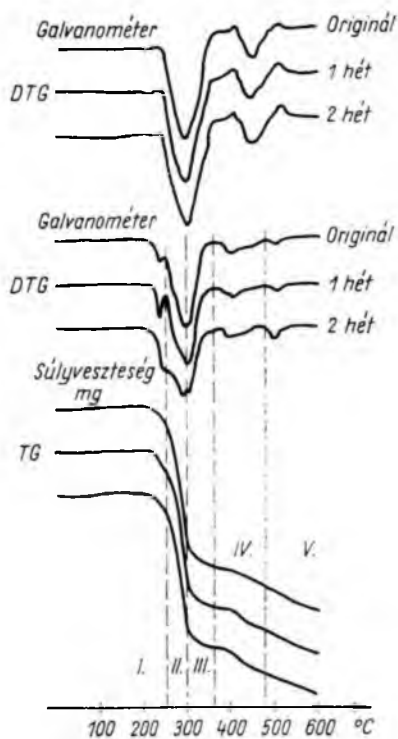
Az aktiválási energia, vagyis a 4-9. ábra egyenese meredekségének ismeretében tehát — kellő elővigyázatossággal — a gyorsított, tehát magasabb hőmérsékleten végzett öregedésvizsgálat eredményeit extrapolálni lehet alacsonyabb, tehát üzemszerű hőmérsékletek irányába. Ezt várja általánosan a gyakorlat is. Eredményünket aláhúzza az a tény, hogy *mérési módszerünk alkalmas több egyidejű öregedési folyamat szelektív értékelésére is*, valamint az, hogy *nem volt szükségünk olyan egyszerűsítő feltételezésre sem, amely az oxidáció kizárólagos döntő szerepére alapozná a vizsgálati gondolatmenetet és módszert* (Vö. a 3. részzel).

Azt, hogy az oxidációt mennyire nem szabad az öregedést meghatározó egyetlen hatásként tekinteni, a következő példával, egy villamos szigetelés céljára alkalmazott PVC derivatográfias öregedésvizsgálatának rövid ismertetésével világítjuk meg.

A villamosiparban — főleg kábelszigetelési célokra — alkalmazott PVC, helyesebben a lágyítót és más segédanyagokat is tartalmazó ún. *PVC-keverékek* öregedését számos tényező befolyásolja, így — döntő módon — a hőmérséklet is. A PVC termoanalitikai vizsgálatának szükségességét és lehetőségeit már 1964-ben kijelöltük (Vö. [7] 577. old. és a kivonat). Közben más derivatográfias vizsgálatokat is végeztek PVC-vel [16, 14], öregedési vizsgálatokra azonban a Magyar Kábel Művek megbízásából került sor, amely munkákról külön közlemény tudósít [15]. Most csupán e vizsgálatoknak az áttekintés szempontjából lényeges elemeit közöljük.

PVC-keverékekből különböző ideig öregített mintákat állítottunk elő és ezeket vetettük alá derivatográfias vizsgálatnak. Nyilvánvaló, hogy — az előző epoxigyantához hasonlóan — a derivatogramban a mintát előkészítő öregítés során el nem távozott, vagy át nem alakult anyagfrakciók és mennyiségek jelennek meg termikus jelenségek és így súlyveszteségek formájában. A PVC és PVC-keverékek eddigi derivatográfias vizsgálatai [16], [14], [5], [15] megmutatták, hogy a hőbomlás során három fő bomláslépcső jelenik meg, amint azt a 4-10. ábra mutatja. Másutt [15] részletezett, megengedhetőnek tűnő első közelítésként feltételeztük, hogy a PVC-keverék öregedését — mint tiszta PVC esetében — a sósav-lehasadás sebessége határozza meg. Ennek alapján, — valamint tudva azt, hogy a sósav az első bomláslépcső-komplexumban távozik —, figyelembe vettük a sósav-lehasadás, az ún. dehidroklórozás irodalomból [17] ismert kinetikáját. Eszerint a bomlás  $3/2$  rendű reakciónak tekinthető, miáltal a bomlás sebességére a

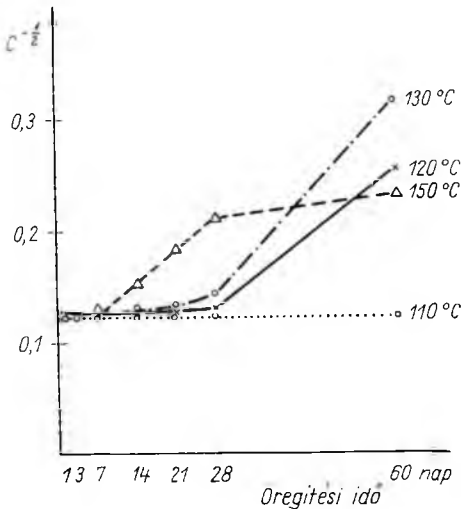
$$-\frac{dC}{dt} = k_T C^{3/2} \quad (11)$$



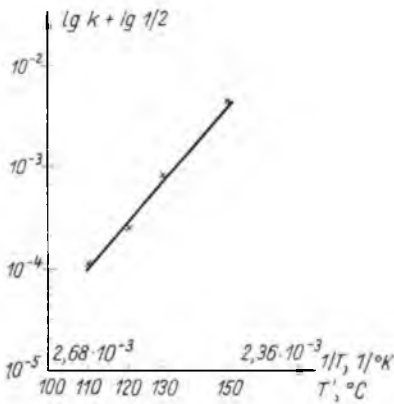
4-10. ábra

kifejezés adódik, ahol  $C$  a  $t$  időpillanatban még elbomlatlan sósav és a  $t=0$  időpillanatban jelenlevő sósav ( $C_0$ ) mennyiségek viszonya,  $k_T$  pedig a sebességi állandó  $T$  hőmérsékleten. A fenti (11) összefüggés integrálásával a

$$C^{-\frac{1}{2}} = C_0^{-\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} k_T t \quad (12)$$



4-11. ábra



4-12. ábra

alakot kapjuk. Ebből következik, hogy az aktuális koncentráció  $C^{-\frac{1}{2}}$  alakja és a hozzátartozó idő ( $t$ ) között lineáris összefüggés áll fenn, ahol az arányossági tényezőt (az ábrázolásból adódó egyenes meredekségét) az  $\frac{1}{2} k_T$  jelenti. Az esetünkben szereplő koncentrációváltozásokat (súlyvesztéseket)  $C^{-\frac{1}{2}}$  alakban, az egyes PVC-típusok és az egyes öregítési hőmérsékletek szerint rendre ábrázolva — az öregítés ideje ( $t$ ) függvényében: egyenest kell kapjunk.

Felrajzolva ezeket a diagramokat, kitűnik, hogy az öregítés legelső (3. nap előtti) és legutolsó (28. nap utáni) szakaszai nem elégítik ki a linearitás feltételét, viszont a kettő közötti 3...28 napok közé eső szakasz igen (4-11. ábra). Ebből az derül ki, hogy a megvizsgált PVC-keverékek öregítésénél a 3...28. nap közé eső szakasz lefutását döntő módon a dehidroklórozás sebessége határozza meg. A 4-11. ábrán egy példaképpen kiválasztott PVC keverék öregedését ábrázoltuk a fenti gondolatmenet alapján. A dehidroklórozásra jellemző középső szakaszok meredekségéből ilymódon a sebességi állandók adódnak.

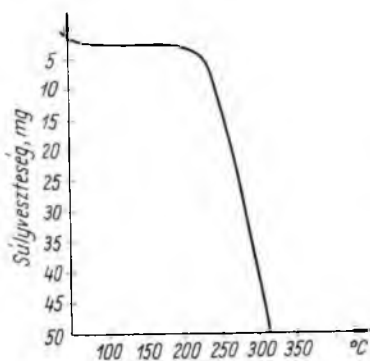
Mivel az előbbieken már utaltunk arra, hogy megengedhetőnek tartjuk a dehidroklórozást az öregedést meghatározó folyamatként tekinteni, ezért a továbbiakban — első közelítésként — ezeket a sebességi állandókat fogadjuk el az egész bomlási, tehát öregedési folyamat jellemzőiként.

A vizsgált PVC-keveréket különböző hőmérsékleten öregítettük, amely különböző öregítési hőmérsékletekhez tartozó jellemző meredekségek, vagyis sebességi állandók a 4-11. ábrából leolvashatók. Ezeket az Arrhenius-féle egyenlet szokásos módján, az öregítési hőmérséklet  $1/T$  skálán felvitt értékeinek függvényében ábrázolva: egyenest kaptunk (4-12. ábra) amely tehát a dehidroklórozási sebességre alapított élettartam-összefüggés képe, amelynek meredeksége a folyamat *aktiválási energiáját* adja meg.

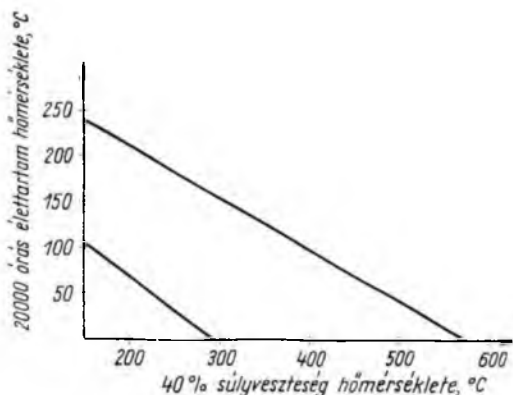
A 4-12. ábra alapján tehát mód nyílik az alacsonyabb hőmérsékletek irányába extrapolálni, amely alacsonyabb (üzemi) hőmérsékleteken igen hosszadalmas öregítési kísérleteket kellene végezni az anyag megismerése érdekében.

### 5. Smith és Koerner TG módszerei

A szerzők 1965-ben megjelent közleménye [18] a termogravimetriára (TG módszer) alapított két módszert közöl, főleg huzalszigetelések vizsgálatára szánva. Az egyik módszer *dinamikus*, vagyis a hőmérséklet egyenletes növelése közben fellépő súlyváltozást méri, a másik *statikus* módszer, vagyis állandó hőmérsékleten, az idő függvényében méri a súlyváltozást. A dinamikus termogravimetriás módszernél a szerzők, figyelembe véve *Bruck* [19] és *Friedmann* [20] közelítéseit, a 4-13. ábrában látható termogravimetriás felvétel linearizálását tekintik első feladatnak. Tekintettel az üzemi hőmérsékletek aránylag alacsonyabb voltára, a szerzők megengedhetőnek tartják a termogravimetriás görbe első szakaszát figyelembe venni. Empirikus úton megállapították, hogy jó közelítéssel egyenest kapnak, ha a százalékos súlyvesztések logaritmusát ábrázolják  $1/T$  függvényében.



4-13. ábra



4-14. ábra

Második lépésként közelítő megállapításként a 40% súlyvesztést jelölik ki, mint a huzalszigetelések szokásos élettartamvizsgálatánál [25] kapott végponthoz tartozó súlyvesztés-értéket. Ennek a 40%-os végpont-súlyvesztés értéknek és a fenti linearizálásnak alapján megszerkeszthető az a hőmérséklet, amely a 40%-os végpont-súlyvesztéshez tartozik, vagyis a dinamikus felvétel végpont-hőmérséklete. Ily módon tehát a dinamikus módszer termogravimetriás görbéjének fenti átalakítása és kiértékelése hőmérsékletértékeket: végpont-hőmérsékleteket szolgáltat amelyeket *nomogram* segítségével lehet a gyakorlati értékekkel korrelációba hozni. Egy ilyen nomogram látható a 4-14. ábrában. Az ordinátatengely egy egyenletes beosztású hőmérsékleti skála, amely fizikai értelmet nyer, amikor a kevésbé hőálló „Formvar” és az igen hőálló a „Poly-Imid” szigetelések [25] szerinti 20 000 órás élettartamhoz tartozó hőmérsékleteket (rendre 105 és 250 °C) bejelölik. Ezután ugyanezen anyagok dinamikus termogravimetriás módszerrel meghatározott végpont-hőmérsékletét (rendre 296 és 577 °C) viszik föl a vízszintes tengelyre, amelyen szintén egyenletes

hőmérsékletskála van. A megfelelő pontokat összekötve, a „Formvar” és „Poly-Imid” anyagok egyenes szakaszai közelítőleg párhuzamosak, amiért is megengedhetőnek látszik a nomogram használata, oly módon, hogy a valamely megvizsgált anyag — fentiek szerinti — végpont-hőmérsékletét a vízszintes tengelyen kijelölve, a „Formvar” ill. „Poly-Imid” egyenes szakaszokkal párhuzamosan húzott vonallal megkeressük a függőleges tengelyen általa kijelölt hőmérsékleti értéket, amely 20 000 h-s élettartamhoz tartozik. Több anyaggal végezve e műveleteket, azok 20 000 h-s élettartamnak megfelelő hőmérsékleti pontjai a függőleges tengelyen jellemző értékeket fognak mutatni, miáltal az anyagok összehasonlítva értékelhetők.

A statikus módszer lényege a sebesség fogalmának egyszerű általánosításával látható be. Tudott dolog a sebesség =  $\frac{\text{megtett út}}{\text{idő}}$  kifejezés, ahol a sebesség az anyag

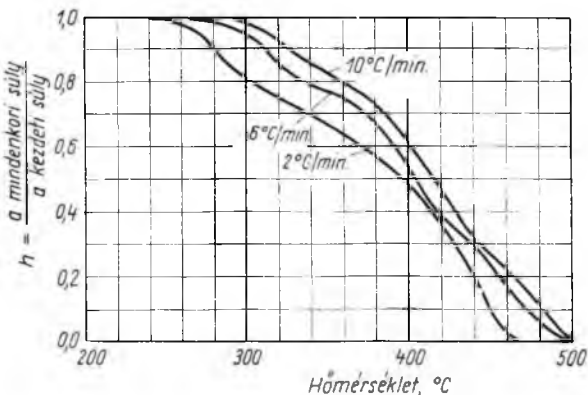
bomlási (öregedési) sebességét, a „megtett út” az elbomlott anyag mennyiségét (súlyvesztés) az idő pedig — teljes romlás esetén — az élettartamot szimbolizálja.

A szerzők szerint, ha már most a [25] alapján végzett, szokásos élettartammérést végezzük el anyagunkon (egy valamely hőmérsékleten) akkor az illető anyagra (és nem egyéb körülményekre) jellemző a romlásig észlelt súlyvesztés („megtett út”). (Ugyancsak e szokásos élettartam mérésből adódik a kifejezés jobboldalának nevezője is). A fentiek alapján a statikus módszer a bomlásebesség, tehát a súlyvesztéssé-  
sebesség valamely kívánt hőmérsékleten történő meghatározására szolgál (és arra alkalmas) és így azt a képletbe behelyettesítve a keresett idő, vagyis az élettartam adódik, a kívánt hőmérsékletre vonatkozóan. Azt, hogy e módszer szabatoságát milyen egyszerűsítések árán lehet biztosítani, az összefoglalásban fogjuk megmutatni.

## 6. D. J. David módszere

A szerző igen figyelemreméltó vizsgálatokat végzett a dinamikus termogravimetriás módszer segítségével [21]. Kísérleteinek és ajánlott módszerének alap gondolata az, hogy az idő szerepét a felfűtési sebesség változtatásával vitte be a kísérleti körülmények közé, Flynn és Wall [22] nyomán.

Elsőként a súlyvesztés megindulásának hőmérsékletét mutatja be, mint jellemző adatot. Különböző felfűtési sebességeken különböző TG görbéket kapott, amelyeknél a súlyvesztés különböző hőmérsékleteken indult meg, amint az a 4-15. ábrából látható.



4-15. ábra

Ezeket a hőmérsékleteket, illetve logaritmusaikat a felfűtési sebesség függvényében ábrázolva egyenest kapott, miáltal a zérus felfűtési sebesség, vagyis a statikus, izoterm-mérés elvi esetére (annak hőmérsékletére) tudott extrapolálni (lásd. a 4-16. ábrában  $T_f$ -et). Ez a  $T_f$  hőmérséklet az az érték, amely alatt tehát a kérdéses anyag (elvileg) nem válto-

zik, illetve súlyából meghatározatlanul hosszú időn ( $t_f$ ) keresztül sem veszít. A szerző 18 fajta anyagra képezte a hőmérsékleti értékeket, amelyek — néhány kivétellel — elég jó egyezést mutattak a [25] szerinti élettartam vizsgálat 20 000 órás élettartamhoz tartozó hőmérsékleti értékével.

A zérus felfűtési sebességre extrapolált hőmérsékleti értékhez ( $T_f$ ) tartozó élettartamot ( $t_f$ ) a szerző aktiválási energia meghatározásával kapja meg, amely utóbbit a [22] szerinti

$$\frac{dc}{dT} = (A/B)f(c)e^{-E/RT} \quad (13)$$

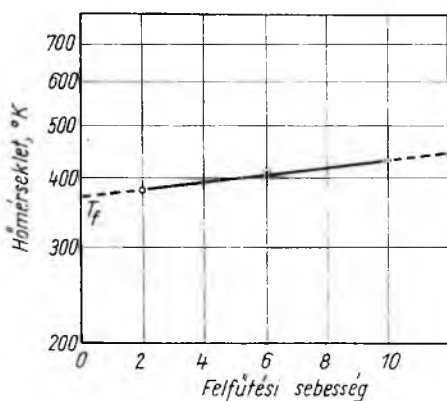
összefüggés alapján számítja. ahol

$c$  az átalakulás mértéke;

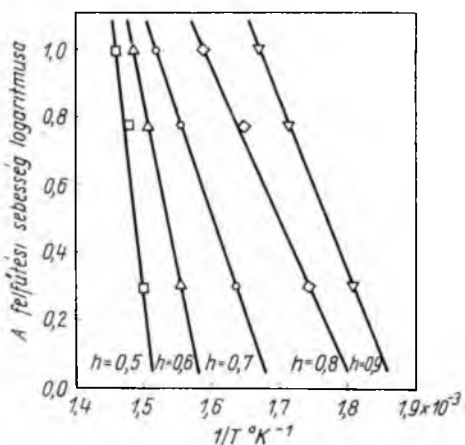
$T$  az abszolút hőmérséklet, °K;

$B$  a felfűtési sebesség;

az  $A$  pedig állandó.



4-16. ábra



4-17. ábra

Az aktiválási energia kísérleti meghatározására a szerző újból a felfűtési sebesség ( $B$ ) változtatásának lehetőségét használja ki.

Különböző felfűtési sebességekkel végzett termogravimetriás méréseknél egy kiválasztott  $h$  értékhez tartozó hőmérsékleti értékeket állapítja meg. Ezután a 4-17. ábrának megfelelő módon ábrázolja a felfűtési sebességek logaritmusait a hőmérséklet ( $1/T$  skálán!) függvényében. Az ábrázolásnál egyeneseket kap, a választott súlyvesztésgértékek (vagyis az átalakulás mértéke  $h$ ) szerinti meredekségekkel és helyzettel. A meredekségekből a (13)-ból levezetett

$$E = -4,35 \frac{d \lg B}{d(1/T)} \quad (14)$$

összefüggés [22], [23] alapján az aktiválási energiákat kapja.

Mivel az aktiválási energiákat önmagukban nem találta elég szoros kapcsolatban levőnek az élettartam értékével, ezért az irodalomból vett [24]

$$\lg \frac{t_f}{t_{fr}} = \frac{E}{R \ln 10} \left( \frac{1}{T_f} - \frac{1}{T_{fr}} \right) \quad (15)$$

kifejezést alkalmazta, ahol  $T_f$  az előbbieken taglalt zérus felfűtési sebességhez tartozó, extrapolációval kapott hőmérséklet, amelyhez tartozó, és a kifejezésből számítandó keresett élettartam  $t_f$ . A  $T_{fr}$  és  $t_{fr}$  a szokásos élettartamvizsgálattal [25] megállapított, összetartozó hőmérséklet és élettartam. A kifejezésben szereplő  $E$  aktiválási energia az előbbieken ismertetett módon adódik (l. a 4-17. ábrát).

A módszer tehát a termogravimetriás felvételek különböző felfűtési sebességgel történő elvégzésén alapszik, amelyekből egyrészt a súlycsökkenés kezdetének hőmérsékleteit megállapítva, azt a zérus felfűtési sebességre extrapolálja, másrészt az aktiválási energiák 4-17. ábra szerinti előállítását adódik. Ily módon (15) segítségével és az illető anyagra vonatkozó, egy hagyományos élettartam-vizsgálat [25] hőmérsékletét és eredményét behelyettesítve a keresett  $t_f$  élettartam számítható.

## Összefoglalás

Megállapítható, hogy az elmúlt néhány évben érdeklődés támadt a termikus analízis öregedésvizsgálati lehetőségei iránt s ennek folytán szaporodtak a tárgykörhöz tartozó közlemények is. Ennek oka talán az, hogy a termikus analízis először is egy anyagvizsgálati módszer, másodsor pedig az *elemzést éppen termikus jelenségeknek keresztül végzi*, vagyis léteznek bizonyos megfelelések a termikus elemző készülékben, mesterségesen felfokozott, drasztikus hőigénybevétel és a valóságos, tehát üzemi (és egyben a legdöntőbb termikus jellegű — lásd a bevezetést —) vagy éppen a gyorsított öregedési viszonyok között. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy az elemző készülékben a valóság hű mását tudjuk — mint vizsgálati körülményt — megvalósítani.

*Randino és Andreotti*, az USA-ban (1964) a DTA módszert választotta a kérdés kísérleti megközelítésére és *oxigén-injektálással mérte az anyag hőmérséklettől függő oxidációs készségét*. Az ennek alapján kapott *aktiválási energia a változások, az oxidáció, vagyis — a szerzők szerint — az öregedés hőmérséklet szerinti meredekségét* adja meg és csupán egyetlen ismert hőmérséklet és idő (élettartam) koordinátákkal rendelkező pontot kell konvencionális élettartam-vizsgálattal meghatározni, hogy a DTA méréssel kapott egyenes konkrét összefüggéssé váljon.

A módszer igen gyors, előregített mintákat nem igényel és objektív, vagyis nincs szükség például a reakciólefutás empirikus linearizálására, sőt konkrét ismeretére sem. Hátránya azonban, hogy *csupán az oxidációs folyamatokon* alapul és *több egyidejű öregedési folyamat interpretálására képtelen*.

*A VKI (Dávid P.)* eddig alkalmazott eljárása (1964) a szintén magyar eredetű *derivatográf* összetett termikus elemzőkészülék és módszer lehetőségein alapul. A vizsgálat *előregített minták* mérésével az anyaghoz egy vagy több termikus öregedési görbét rendel hozzá, amelynek kinetikáját empirikusan vagy irodalmi adatok alapján meghatározva szintén az *aktiválási energia* értéke számítható. Ebből — legalább egy élettartam-vizsgálat eredményének ismeretében — az élettartam értékei számíthatók.

*A módszer előnye az öregedés egyidejű folyamatainak külön-külön észlelhetősége*, valamint, hogy *nemcsak oxidációs folyamatok* mérését teszi lehetővé. *Hátránya hogy előregített minták készítését igényli*.

*Smith és Koerner az USA-ban egy dinamikus és egy statikus módszert ajánl*. A dinamikus módszer a TG görbe csupán alsó szakaszát veszi figyelembe, ennek alapján — a teljes romlásnál sokszor tapasztalt — 40%-os súlyvesztésre extrapolál a megfelelő hőmérsékleti érték képezésére. Ezt a hőmérsékleti értéket *nomogrammal*



számítja át az élettartam-vizsgálat [25] 20 000 órás élettartamhoz tartozó hőmérsékletére.

A statikus (izoterm) módszerrel valamely anyagra egyszer s mindenkorra meghatározzák a romlásig bekövetkező súlyvesztésüket egy szokásosan kapott élettartamérték („idő”) és az ennek megfelelő hőmérsékleten mért bomlásebesség („sebesség”) szorzataként, az „út” = „idő” × „sebesség” képlet alapján. Ezután *ugyanazon anyagról* különböző hőmérsékleten készítenek statikus TG felvételeket és számítják ebből a *bomlási (romlási) sebességeket*. Ezekkel az értékekkel rendre képezik a

$$\frac{\text{romlásig beköv. súlyvesztéség}}{\text{romlási sebesség}}$$

hányadosokat, amelyek értéke a *romláshoz szükséges időt*, vagyis az élettartamot adja.

A dinamikus módszernek inkább hátrányait lehet megemlíteni, mégpedig: a TG görbe önkényes lerövidítését, empirikus linearizálását és ennek alapján az eléggé vitatható 40% súlyvesztésnek (mint romlási súlyvesztésnek) megfelelő hőmérséklet kijelölését. Itt tehát szintén *nincs lehetőség több részfolyamat kiértékelésére*. Előnye viszont, hogy az *oxidáció nem feltétele* a módszernek.

*A sztatikus módszer szintén nem feltételezi az oxidációt*. Erős egyszerűsítésnek tűnik viszont a romlásig bekövetkező súlyvesztés hőmérséklettől függetlennek tekintése.

*D. J. David az USA-ban, 1967-ben dinamikus termogravimetriás módszert írt le*, amelynél a felfűtési *sebesség változtatásával* érvényesítette az *idő* szerepét. Ily módon egyrészt (zérus felfűtési sebességre extrapolálva) az *anyag (elvi) termikus stabilitásának* felső határ-hőmérsékletét, másrészt az *aktiválási energiát* kapta meg, amelyekből már ismert összefüggésekkel a fenti határhőmérséklethez tartozó gyakorlati élettartamértéket számította.

A módszer igen figyelemreméltó, *gyors, az oxidáció nem feltétel és nem tartalmaz olyan empirikus elemet*, amely minden egyes anyagra új összefüggés felírását jelenti. Hátránya, hogy *nem veszi figyelembe a több, egyidejű folyamat* szerepét (bár a tárgyalás során ennek elvi oldalára kitér).

A fenti áttekintés végére érve megállapítható hogy *a termikus analízis öregedésvizsgálati kísérleti alkalmazása nemzetközileg erős iramban halad, ahol az elsők között Intézetünk is szerepel*. Az időbeli sorrenden kívül hangsúlyozni szükséges itt is azt a szemléletünket, miszerint a legtöbb esetben egyidejűleg lejátszódó, több folyamat szabja meg a termikus öregedést. E szemlélet hiányát alá kell húznunk a számunkra eddig hozzáférhető irodalomban. Mindemellett azonban úgy tűnik, hogy a jövőben sikerül majd egyesíteni módszerünk nagyobb felbontóképességét a 6. pontban ismertetett külföldi eljárás [21] gyorsabb és helyenként kevésbé empirikus jó tulajdonságaival.

Befejezésül bemutatjuk a 4-2. táblázatot, amely sűrítve és egyes lényegesnek vélt szempontok szerint foglalja rendszerbe az ismertetett módszereket. A táblázattal módszerünk talán érthetőbben sorolható az öt megillető helyre: elfogultság nélkül, a táblázatos összeállítás tárgyi jellegével.

## Élettartam- és öregedésvizsgálat termikus módszerei

Az öregedésvizsgálati módszer eredete és közzététele	Az alkalmazott termikus módszer elnevezése	A mért anyagi tulajdonság	A változás(ok) sebességének interpretálása	A sebesség hőmérséklet-függésének interpretálása
1964, USA US Naval Applied Science Laboratory <i>J. P. Randino— J. R. Andreotti</i> [8]	<b>Differenciál termoaanalízis (DTA)</b>	<b>Hőmérséklet (entalpia) különbség</b>	—————	A hőmérséklet-különbség értékek logaritmusának $1/T$ szerinti ábrázolása az Arrhenius-egyenlethez hasonló lineáris összefüggést ad, ahol a meredekség az aktiválási energiával arányos.
1964, Magyarország Villamosipari Kutató Intézet <i>Dávid P.</i> [7]	<b>Derivatográfia</b>	<b>Súlyváltozás</b>	Az egyes bomlásreakciókra eső súlyveszteségek előregített minták öregedési idejének függvényében ún. öregedési görbéket adnak: egy anyaghoz annyifélet, ahány bomlásfrakciót mutat a vizsgálatkor. Ezek az öregedési görbék általában linearizálhatók: irodalmi adatok után, vagy empirikus úton.	A linearizált öregedési görbék meredekségei az illető öregedési reakció sebességi állandójával ( $k$ ) arányosak, ezért a meredekségek logaritmusai $1/T$ szerint ábrázolva az Arrhenius-egyenlethez hasonlóan egyenest ad, amelynek meredeksége az aktiválási energiával arányos.
1965, USA Operations Research Laboratory Advanced Products Research Laboratory <i>E. L. Smith— E. C. Koerner</i> [18]	<b>Termogravimetria (dinamikus) (TG)</b>	<b>Súlyváltozás</b>	A TG görbe első szakaszának empirikus linearizálása: a súlyveszteség logaritmusai és $1/T$ közötti összefüggés felrajzolásával, amely az időben lineáris felfűtés folytán végsősoron időfüggvény is.	—————

<p>A termikus mérési eredmények kapcsolata a gyakorlati élettartam-és öregedési jellemzőkkel</p>	<p>Feltételek a módszer használhatóságához ill. egyszerűsítések</p>	<p>Milyen kiegészítő méréseket vagy egyéb műveleteket igényel a módszer</p>
<p>Az aktiválási energia egyúttal az élettartam-egyenes meredekségét is megadja, ezért ez egyenesnek elég csupán egyetlen pontját meghatározni egy élettartam mérésel, az így kapott pont és a meredekség ismeretében az élettartam összefüggés megszerkeszthető.</p>	<p>Csak egy öregedést meghatározó folyamat esetén érvényes! Csak oxidációs reakciók és öregedés esetén érvényes a módszer!</p>	<p>A vizsgált anyagra vonatkozó egyetlen élettartam-mérést.</p>
<p>Az aktiválási energia egyúttal az élettartam-egyenes meredekségét is megadja, ezért az egyenesnek elég csupán egyetlen pontját meghatározni egy élettartam mérésel, az így kapott pont és a meredekség ismeretében az élettartam összefüggés megszerkeszthető.</p>	<p>_____</p>	<p>A vizsgált anyagra vonatkozó egyetlen élettartam-mérést. Előőregített minták készítését.</p>
<p>A vizsgált anyag praktikus értelemben vett teljes romlásához (végpont) 40% súlyvesztéssel rendelkező: empirikusan. A TG görbe első szakaszának lineárizálása útján extrapolál, vagyis megkeresi a 40% súlyvesztéshez tartozó hőmérsékletet. Ezt a <math>T</math> értéket egy nomogram segítségével transzformálja élettartam értéké.</p>	<p>Csak egy öregedést meghatározó folyamat létezése esetén érvényes! Csak a 40%-os súlyvesztés és a gyakorlati teljes romlás esetén érvényes! A nomogram valóság-hú transzformációja esetén érvényes!</p>	<p>A vizsgált anyag egyetlen élettartam-mérését, ahol meghatározzák a végponti súlyvesztéssel: a romlás ideje alatti teljes súlyvesztéssel. A nomogram elkészítéséhez egy jobb, egy kevésbé hőálló anyag élettartam-mérései kellenek: élettartam és hőmérséklet értékek miatt.</p>

4-2. táblázat folytatása

Az öregedésvizsgálati módszer eredete és közzététele	Az alkalmazott termikus módszer elnevezése	A mért anyagi tulajdonság	A változás(ok) sebességének interpretálása	A sebesség hőmérséklet-függésének interpretálása
<p>1965, USA Operations Research Laboratory, Advanced Products Research Laboratory <i>E. L. Smith— E. C. Koerner</i> [18]</p>	<p><b>Termogravimetria (statikus ill. izoterm) (TG)</b></p>	<p><b>Súlyváltozás</b></p>	<p>Az izoterm TG felvétel közvetlenül, kísérletileg adja a bomlás-sebességet.</p>	<p>A bomlássebességek különböző hőfokon történő meghatározása: közvetlenül, kísérleti úton.</p>
<p>1967, USA Mobay Chemical Co. (Robert L. Stone Co.) <i>D. J. David</i> [21]</p>	<p><b>Termogravimetria (dinamikus) (TG)</b></p>	<p><b>Súlyváltozás</b></p>	<p>Különféle felfűtési sebességek mellett készült felvételek jellemző hőmérsékleteinek eltolódásával.</p>	<p>Az azonos bomlási fok (súlyvesztés) hőmérsékletei (<math>1/T</math>) és a felfűtési sebesség logaritmusai közötti összefüggés Arrhenius-egyenlet szerű alakban jelenik meg, amelyből az aktiválási energia számítható.</p>

A termikus mérési eredmények kapcsolata a gyakorlati élettartam- és öregedési jellemzőkkel	Feltételek a módszer használhatóságához ill. egyszerűsítések	Milyen kiegészítő méréseket vagy egyéb műveleteket igényel a módszer
<p>Az élettartam értékek a közismert idő = <math>\frac{\text{sebesség}}{\text{„üt”}}</math> képletből számíthatók, ahol az „üt” a romlásig bekövetkező végpont-súlyvesztés, amely adott egy célszerűen választott, tehát rövid idejű élettartam mérésből.</p>	<p>Csak egy öregedést meghatározó folyamat esetén érvényes! Csak akkor érvényes, ha a különböző hőmérsékleteken a végpont-súlyvesztés ugyanaz!</p>	<p>A vizsgált anyag egyetlen élettartam-mérését.</p>
<p>Az aktiválási energiák megadják az élettartam egyenes meredekségét, így egyetlen konkrét élettartam-mérés hőmérséklet- és idő-koordinátaival az egyenes meghatározott. A kezdeti súlycsökkenés hőmérsékletét — különféle felfűtési sebességeknél — megállapítva, a zérus felfűtési sebességre extrapolálható és a kapott érték a stabilitási határhőmérséklet.</p>	<p>Csak egy öregedést meghatározó folyamat létezése esetén érvényes! A zérus felfűtési sebesség esetére való empirikus extrapolálás megbízhatósága esetén érvényes! A stabilitási határhőmérséklet élettartamra való transzformálására használt empirikus képlet megbízhatósága szintén érvényes!</p>	<p>A vizsgált anyag egyetlen élettartam-mérését.</p>

- [1] *Dakin, T. W.*: Electrical Insulation Deterioration Treated as a Chemical Rate Phenomenon. Trans. AIEE. **67** (1948) I. 113.
- [2] *Németh E.*: Szigetelőanyagok öregedése. Elektrotechnika. **56** (1963) 209. old.
- [3] *Vajda Gy.*: A szigetelések romlása és romlásuk vizsgálata. Budapest, 1964. (Akadémiai Kiadó)
- [4] *Eisler J.*: Bevezetés a nagyfeszültségű technikába. 1965. Akadémiai Kiadó, Budapest
- [5] *Dávid P.*: Villamos szigetelőanyagok termikus és kislüléskémiai öregedésének vizsgálata. Villamosipari Kutató Intézet Közleményei. **2** (1967) Budapest.
- [6] *Paulik F.—Paulik J.*: Termoanalízis. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963.
- [7] *Dávid P.*: A termikus analízis alkalmazása villamos szigetelőanyagok és szigetelések vizsgálatára. Elektrotechnika. **57** (1964) 570. old.
- [8] *Randino, J. P.—Andreotti, J. R.*: Differential Thermal Analysis as Applied to the Deterioration of Electrical Insulation. Insulation **10**. (1964) No. 5. 24.
- [9] *Stone, R. L.*: Differential Thermal Analysis by the Dynamic Gas Techniques. Analytical Chemistry **32**. No. **12** (1960)
- [10] Recommendations for the Classification of Materials for the Insulation of Electrical Machinery and Apparatus in Relation to their Thermal Stability in Service IEC Publ. No. **85** 1957.
- [11] *Dávid P.*: A termikus analízis alkalmazása villamos szigetelőanyagok és szigetelések vizsgálatára. (Előadás). Villamosipari Kutató Intézet Jubileumi Tudományos Ülésszaka, (1964. dec.) Budapest.
- [12] *Dávid, P. K.—Liptay, G.—Erdey, L.*: Derivatographic Study of Electrical Insulators and Insulating Materials. (Előadás) International Symposium on Thermal Analysis, (1965. ápr.) London.
- [13] *Liptay, G.—Dávid, P. K.—Erdei, L.*: Derivatographic Study of Electrical Insulators. Periodica Polytechnica El. **9** (1965) p. 260. (Budapest)
- [14] *Liptay, G.—Dávid, P. K.*: Application of the Derivatograph for Testing Electrical Insulators. Hungarian Scientific Instruments. (1966) No. 7. 7.
- [15] *Dávid P.—Ligethy L.*: PVC keverékek öregedésének termikus vizsgálata. (Előkészületben)
- [16] *Paulik, J.—Wolkóber, Z.—Paulik, F.—Erdey, L.*: Derivatographische Untersuchungen an PVC. Plaste und Kautschuk **13** (1966) p. 336.
- [17] *Madorsky, S. L.*: Thermal Degradation of Organic Polymers. New York (1964) Interscience.
- [18] *Smith, E. L.—Koerner, E. C.*: TGA A Short Cut to the Thermal Rating of Insulating Materials. Proceedings of the Sixth Electrical Insulation Conference. IEEE 32C3-23. (1965 szept.) 160.
- [19] *Bruck, S. D.*: Thermal Degradation of An Aromatic Poly- Piromellitimide in Air and Vacuum. ACSP Polymer Preprints, (1964 ápr.)
- [20] *Friedman, H. L.*: The Kinetics of Thermal Degradation of Char Forming Plastics and Thermogravimetry ACS Polymer Preprints, (1963. Szept.)
- [21] *David, D. J.*: Use Dynamic Thermal Analyses To Reduce Magnet Wire Evaluation Time Insulation. **13** (1967) No. 12. p. 38.
- [22] *Flynn, J. H.—Wall, L. A.*: Polymer Letters **4** (1966) 323.
- [23] *Doyle, C. D.*, Appl. Polymer Sci. **6** (1962) p. 639
- [24] *Doyle, C. D.*, WADD Tech. Report, 60-283, (1960): Nucl. Sci. Abstr. **14** (1960) 15578; ASTIA AD — 243387 L.
- [25] IEEE Publications No. 57, 65, 510, 511.

# 5.

## Hazai anyagokból előállított üveg-epoxi rétegelt szigetelőlemez speciális vizsgálatai

VIZÉR MÁTYÁS

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az Intézet által kikísérletezett ÜVETO típusú üvegvázaz, epoxi kötőanyagú szigetelőlemezt a szabványtól eltérően fokozott igénybevétel mellett vizsgáltuk mind a mechanikai, mind a villamos tulajdonságok változásának megfigyelésére. A gyorsított öregítés és igénybevételi ciklusok befejezésével megállapítottuk, hogy az ÜVETO F lényegesen kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkezik, mint az összehasonlításhoz vizsgált VETRONIT GP-10 típus, és így az import helyettesíthető a hazai gyártmánnyal.

### СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СЛОИСТЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛАСТИН ИЗ ЭПОКСИДНОГО СТЕКЛА, ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*М. Визер*

#### Резюме

Проведены испытания изоляционной пластины с эпоксидным связывающим материалом на стеклянной основе типа ÜVETO, разработанного ВКИ, при усиленной нагрузке с целью определения изменения механических и электрических свойств. По окончании испытаний на ускоренное старение и циклов нагрузки оказалось, что изоляционный материал ÜVETO имеет более высокие показатели, чем сравниваемый с ним материал ВЕТРОНИТ -ГП-10, что дает возможность произвести замену импортного материала отечественным.

### SPEZIALE UNTERSUCHUNGEN DER AUS UNGARISCHEN ROHSTOFFEN HERGESTELLTEN GESCHICHTETEN GLASEPOXI-ISOLIERPLATTEN

*М. Vizér*

#### Zusammenfassung

Die im Institut entwickelte mit Glasfaserverstärkung und Epoxi-Bindemittel hergestellten Isolierplatten vom Typ ÜVETO wurden im Unterschied von den Normvorschriften mit einer verschärften Beanspruchung sowohl hinsichtlich der Änderung der mechanischen als auch hinsichtlich der elektrischen Eigenschaften geprüft. Nach Abschluss der beschleunigten Alterungs- und Beanspruchungszyklen konnte festgestellt werden, dass das Material ÜVETO F wesentlich günstigere Eigenschaften als das vergleichsweise geprüfte Material VETRONIT GP-10 aufweist und so dieses letztgenannte Importmaterial durch das ungarische Erzeugnis ersetzt werden kann.

## SPECIAL EXAMINATIONS ON LAMINATED GLASS-EPOXY INSULATION BOARDS MADE OF DOMESTIC MATERIALS

*M. Vizér*

### Summary

The glass-reinforced epoxy-bonded insulating boards type ÜVETO developed by the Institute, were tested at nonstandard conditions, at enhanced loads in order to study the changes in the mechanical and electrical properties. After having completed the accelerated aging and loading cycles, it was established that the properties of ÜVETO F were considerably better than those of the type VETRONIT GP-10 tested for sake of comparison and it was thus stated that imported boards could be substituted by the Hungarian product.

### 1. Bevezetés

Az erősáramú iparban az üvegszövet—epoxigyanta kombináció előnyei villamos és mechanikai vonatkozásban közismertek. Leginkább nagy villamos gépek gyártásában erősen igénybevett horonyszigetelésekhez, induktorok, ívöltőkamrák, olajszegevény megszakító kapcsolók, bányatranszformátorok és egyéb erősáramú villamos berendezések szerkezeti elemeként használják, főleg ott, ahol az anyag kiváló villamosságizigetelő tulajdonsága mellett igen nagy statikus és dinamikus szilárdság is követelmény.

Az elmúlt években az üveg-epoxi lemezekkel szemben támasztott igények kibővültek. A korszerű erősáramú villamosipar olyan — e kateóriába tartozó — szigetelőanyagokat tud csak felhasználni, amelyeknek mechanikai tulajdonságai huzamosabb 150 °C-os hőigénybevétel után sem romlanak le jelentősen.

A műszeriparban és híradástechnikában is a nyomtatott huzalozás céljaira használt rézfóliával borított, epoxigyantával impregnált rétegelt üvegszövet egyesíti mindazokat a tulajdonságokat, amelyek a korszerű elektronikus programozó, adatfeldolgozó gépek, valamint televíziók és rádiók gyártásának elengedhetetlen feltételei.

Gyors elterjedésének egyik fő oka az, hogy az adott feladathoz legmegfelelőbb termék előállítását a váz- és kötőanyagok sokfélesége biztosítja. Az üvegszövet megválasztásával — az anyagnak, a vegyszeres kezelésnek, a lánc- és vetülékfonalak számának, a szövés módjának figyelembevételével — a mechanikai tulajdonságok tág határok között változtathatók, míg az epoxigyanták és térhálósító szereiknek ma már népes családja a kiváló villamosságizetelés lehetőségét biztosítja. A felsoroltak szem előtt tartásával gyártott szigetelőlemezek széles körben kielégítik a pontossági, méretállandósági igényeket is, és garantálják a tartós igénybevételnél megkövetelt villamos és mechanikai értékek stabilitását.

A Villamosipari Kutató Intézet a Ganz Villamossági Művekkel és a Villamosságizetelő és Műanyaggyárral (VSZM) egyetértésben 1964-ben kezdte meg az üveg-vázás rétegelt lemezekkel kapcsolatos kutatást azzal a céllal, hogy a MSZ 1691 ÜVETO típusaitól eltérő, a felhasználó ipar által megkívánt magasabb követelményeket kielégítő terméket állítson elő a legjobb alapanyagokból.

Az 5-1. táblázat a Pierre Genin cég Szilánnal finiselt 508 jelű üvegszövetével és a CIBA Araldit LY 556 jelű epoxigyanta felhasználásával készült rétegelt szigetelőlemez néhány jellemző adatát tartalmazza, összevetve a vonatkozó szabvány és a megbízó által előírt küszöb-értékkel.



5-1. táblázat

Aralditi LY 556 és Pierre Genin 508 üvegszövet felhasználásával készült szigetelőlemez tulajdonságai

Tulajdonság	Az MSZ 1691 szerint		A felhasználó igénye	A kutatás eredménye
	ÜVETO II.	ÜVETO I.		
Hajlítózilárdság, kp/cm <sup>2</sup>	3000	3500	4000...4500	4026
Ütőhajlítózilárdság, cmkp/cm <sup>2</sup>	200	250	> 100	350
Szakítózilárdság, kp/cm <sup>2</sup>	2200	2500	3500	3500
Nyomózilárdság, kp/cm <sup>2</sup>	2000	2000	2000...2500	2030
Felületi ellenállás, „a + b” előkezelés után, Ω	10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>
Belső ellenállás, „a + b” előkezelés után, Ω cm/cm	10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>15</sup>

Ezt az eredményes kutatást 1966. évben a VSZM-ben üzemeltettük és a tapasztalatok alapján 1967-ben megkezdtük a fejlesztő kutatást a következők tisztázására:

1. Helyettesíthető-e a finiselt import üvegszövet hazai gyártású finiseletlenel?
2. A minőség megtartása mellett lecserélhető-e a külföldi epoxigyanta megfelelő magyar termékkel?
3. Mennyiben hat ki az írezőanyag-maradék a késztermék tulajdonságaira?
4. A hazai anyagokból készült szigetelőlemezen 150 °C-os előkezelés után mért mechanikai értékek elérik-e minimálisan a szobahőmérsékleten mért értékek 50%-át (NEMA előírás)?
5. Mennyiben gazdaságos a hazai anyagokból gyártott termék az importból vásárolttal szemben?

2. Kísérleti rész

A kutatás-fejlesztés összehasonlító jellege miatt munkánk folyamán különböző epoxigyantákat, de azonos térhálósítót és gyorsítót alkalmaztunk. A kísérletsoro-

5-2. táblázat

A kísérletsorozathoz kiválasztott üvegszövet tulajdonságai

Anyag megnevezése	Súly p/m <sup>2</sup>	Vastagság, mm	Finiselés anyaga	Vetülék fonal, db/cm	Láncfonal, db/cm	Írezőanyag maradvány, %	Írtelenítés módja	Gyártó vállalat
üveg-szövet	460...480	0,3	—	10	12	A:0,18 B:0,50 C:1,18	vegy-szeres	Tolnai Szövőgyár
	400...420	0,4	Szilán	7	7	> 0,5	vegy-szeres	Pierre Genin

5-3. táblázat

## A kísérletsorozathoz kiválasztott epoxigyanták és adalékok tulajdonságai

Anyag megnevezés	Gyártó vállalat	Típusjelzés	Fajsúly 20 °C-on, p/cm <sup>3</sup>	Test tartalom %	Epoxi- ekvivalens
Epoxigyanta	CIBA	Araldit LY 556	1,16	99,9	185...190
	SHELL	Epikote 828	1,17	97,3	180...195
	VSZM	Eporezit F-17	1,40	98,6	185...195
	VSZM	Eporezit F-22	1,10	96,4	180...185
Térhálósító	CIBA	Härter HT 976 (diaminodifenilsulfon)			
Gyorsító	CIBA	Härter HT 973 (bórt trifluoridkomplex)			

zatunkhoz kiválasztott alapanyagok specifikációját az 5-2. és 5-3. táblázatban tüntettük fel. A feldolgozás fontosabb paraméterei:

Gyantatartalom a pregregen, %	62...65
Gyantatartalom a termékben, %	32...35
Présnyomás, kp/cm <sup>2</sup>	42
Préselési hőmérséklet, °C	180

A bevezető kísérletek során e paraméterek beállítását végeztük el, és az eredmények alapján az alábbi következtetéseket vontuk le:

- a hazai gyártású epoxigyanták (Eporezit F-17 és F-22) *villamosszigetelő tulajdonságai* — az üvegszövet minőségétől függetlenül — legalább olyan jók, mint az elismerten kiváló CIBA Araldit LY 556 jelű rétegelő gyantáé.
- a *mechanikai tulajdonságokat* tekintve a minőségi sorrend:
  - LY 556 gyanta + francia üvegszövet (Pierre Genin 508)
  - F-17 gyanta + francia üvegszövet (Pierre Genin 508)
  - F-22 gyanta + hazai üvegszövet (francia fonalból a Tolnai Szövőgyárban szöve)
- az Eporezit F-17 és F-22 jelű gyantákból, valamint hazai és külföldi üvegszövetből készült rétegelt termékek mechanikai tulajdonságai egyaránt szorosan megközelítik, villamos tulajdonságai pedig felette vannak a felhasználó által megkívánt küszöbértékeknek, amelyek megfelelnek a National Electrical Manufacturers Association (NEMA) G-11 típusának, ill. a DIN 7727, Hgw 2372. 4. típusnak.

Az előzők ismeretében három különböző irezőanyag-tartalmú (0,18; 0,50; és 1,18%), de azonos minőségű hazai szövesű üvegszövet és két külföldi (LY 556 és Epikote 828) valamint két magyar epoxigyanta (F-17 és F-22) felhasználásával kifejlesztettük az igényeknek mindenben megfelelő szigetelőlemez típusát (jele ÜVETO F). A 0,5% irezőanyagot tartalmazó üvegszövetből készült kísérleti terméken a MEEI által mért átlagértékeket az 5-4. táblázat ismerteti. Ebből megállapítható, hogy az Eporezit

F-17 jelű epoxigyantával impregnált, hazai szövésű szervesetlen vázanyagból készült szigetelőlemez minden tekintetben kielégíti az erősáramú ipar indokoltan magas igényeit is.

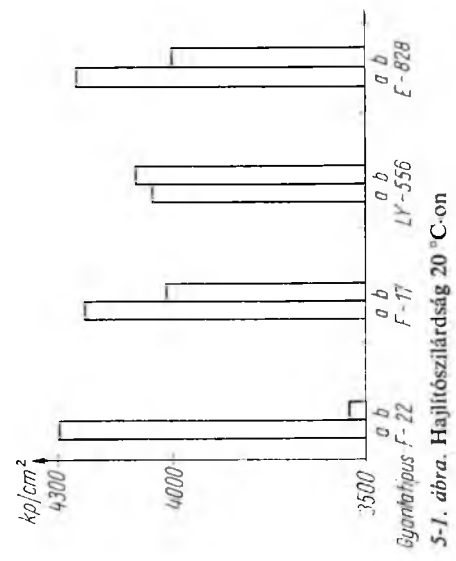
Az iredőanyag-maradék kihatásait a késztermék néhány tulajdonságára az 5-1.—5-9. ábra szemlélteti: Általánosságban leszögezhetjük, hogy az iredőanyag-maradék mennyiségének növekedése közvetlenül befolyásolja a szigetelőlemez mechanikai tulajdonságait. A megengedhető legmagasabb iredőanyag-maradék az üvegszöveten: 0,5%. Ezt az értéket gondos vegyszeres kezeléssel el lehet érni. A grafikonokon látható néhány ellentmondás annak tulajdonítható, hogy az irtelenítés mértéke még egy-ugyanazon tekercsen sem volt egyenletes. A mért maximum és minimum közötti különbség gyakran elérte a 80—100%-ot is.

Az üveg-epoxi rétegelt lemezekből készült szerkezeti elemek legkülönbözőbb külső hatásnak lehetnek kitéve. A mechanikai és villamos igénybevétel maximális hatáira a vizsgálati eredmények figyelmeztetnek. A korszerű szabványok tartós

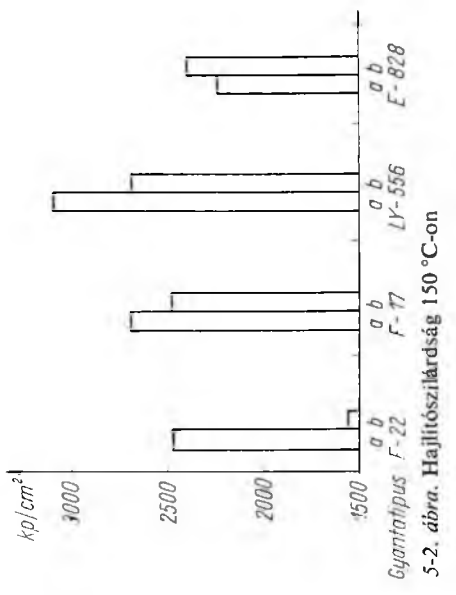
#### 5-4. táblázat

A MEEI mérési eredményei a 0,5% iredőanyagot tartalmazó üvegszövetből készült kísérleti terméken

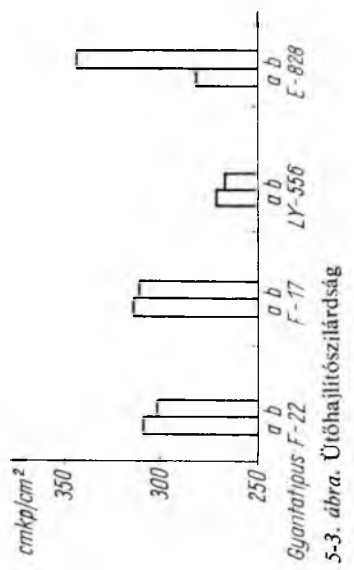
Tulajdonság	Gyantatípus			
	Epikote 828	F-17	F-22	LY 556
Hajlítószilárdság, kp/cm <sup>2</sup> , 20 °C-on	4000	4075	3650	4163
Hajlítószilárdság, 10 min, kp/cm <sup>2</sup> 150 °C-on	2933	2550	1558	2730
Ütőhajlítószilárdság, cmkp/cm <sup>2</sup>	345	314	304	269
Hasítóerő, kp	375	460	422	360
Martens, °C	360 felett	360 felett	360 felett	360 felett
Nyomószilárdság, kp/cm <sup>2</sup> , 20 °C-on	2062	2272	2025	2689
150 °C-on	1372	1916	1520	1232
20 °C-on	4064	3526	3360	3140
150 °C-on	3480	3464	2796	3404
Szakítószilárdság, kp/cm <sup>2</sup>	5434	5736	5178	5434
Vizfelvétel, % 3 mm vastag lemezen	0,03	0,06	0,05	0,02
% 10 mm vastag lemezen	0,006	0,015	0,023	0,01
Fajsúly, p/cm <sup>3</sup>	1,97	1,98	1,95	1,99
tg δ, 800 Hz-en, 25 °C-on	11,2 · 10 <sup>-3</sup>	7,2 · 10 <sup>-3</sup>	15,2 · 10 <sup>-3</sup>	11,2 · 10 <sup>-3</sup>
Felületi ellenállás, Ω, „a” után	2,2 · 10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>	5,0 · 10 <sup>14</sup>	5,1 · 10 <sup>11</sup>
„a+b” után	8,0 · 10 <sup>12</sup>	2,9 · 10 <sup>14</sup>	3,9 · 10 <sup>14</sup>	4,3 · 10 <sup>14</sup>
Belső ellenállás, Ω, „a” után	2,0 · 10 <sup>12</sup>	2,2 · 10 <sup>12</sup>	1,7 · 10 <sup>12</sup>	2,0 · 10 <sup>12</sup>
„a+b” után	1,5 · 10 <sup>12</sup>	6,1 · 10 <sup>12</sup>	3,4 · 10 <sup>12</sup>	2,5 · 10 <sup>12</sup>
Fajlagos ellenállás, Ω cm	5,7 · 10 <sup>13</sup>	1,57 · 10 <sup>13</sup>	7,57 · 10 <sup>13</sup>	2,83 · 10 <sup>13</sup>
Meleg olajállóság 150 °C-on, 10 min	megfelel	megfelel	megfelel	megfelel
Átütés, kV/mm, 20 °C-on, 10 mm	18	20,7	22,8	23,1
90 °C-on, 10 mm	19,4	21,6	22,3	21,3
20 °C-on, 3 mm	21	20,7	20,5	19,7
90 °C-on, 3 mm	19,2	19,9	20,3	19,7



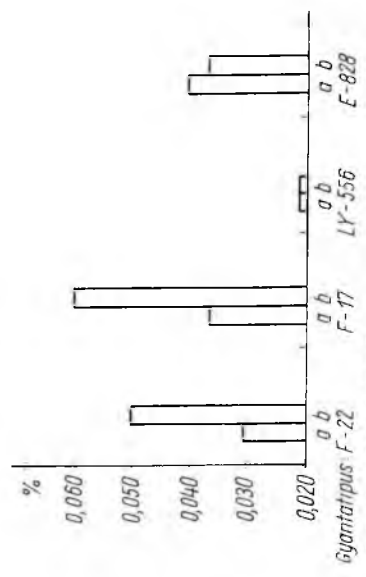
5-1. ábra. Hajlításierősség 20 °C-on



5-2. ábra. Hajlításierősség 150 °C-on

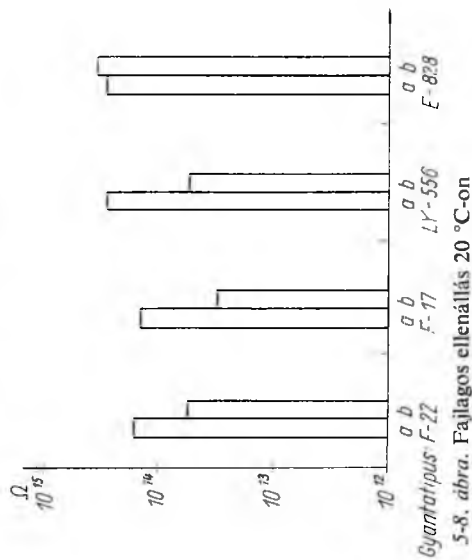
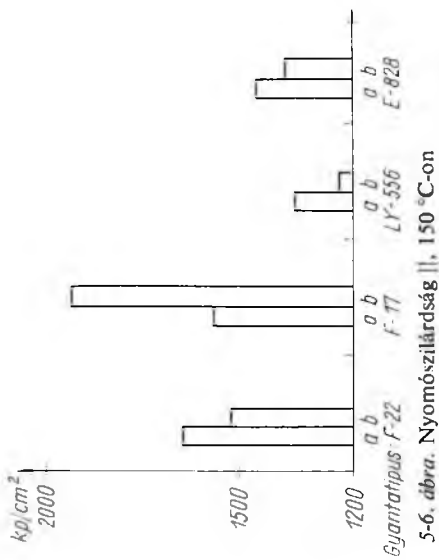
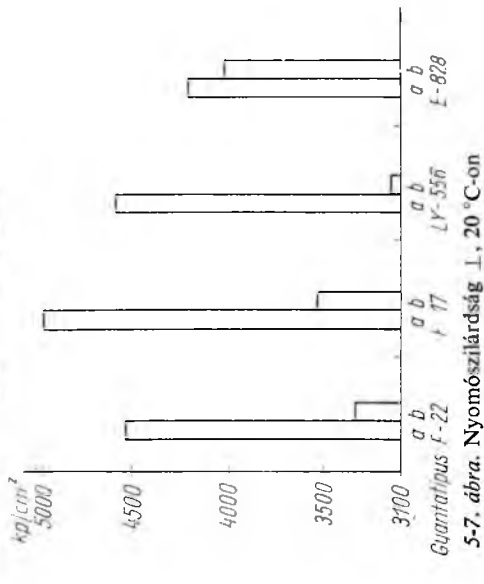
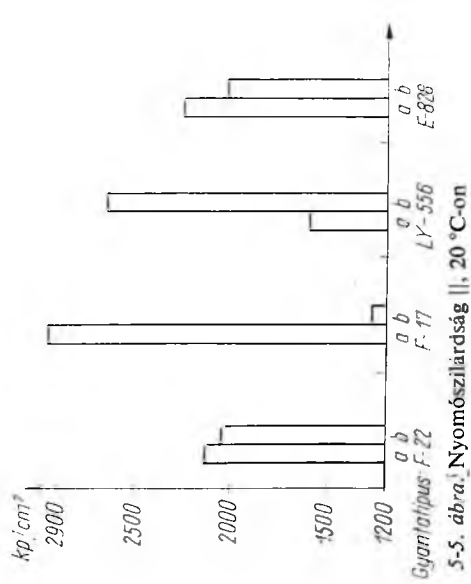


5-3. ábra. Ütőhajlításierősség



5-4. ábra. Vízfelvétel 96 óra után

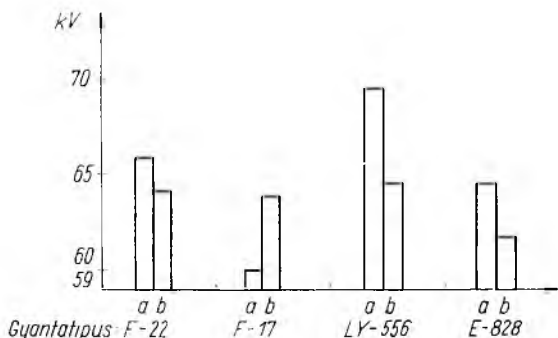
Jelmagyarázat: a 0,18 % irtartalom; b 0,50 % irtartalom



Jelmegnyarázat: a 0,18% írtartalomi; b 0,50% írtartalomi

hőigénybevétel utánra is írnak elő vizsgálatokat. Ezeknek a vizsgálatoknak — az egyes típusokra jellemző — minimális értékeit is megadják.

Mi a kutatás során ezeken a kötelező előkezeléseken kívül szigorúbb és ciklikus *öregítési vizsgálatokat* is végeztünk, hogy a várható maximális hő- és olajbehátásokra fellépő néhány tulajdonságváltozásból a kifejlesztett termék minőségi értékét megállapíthassuk. Vizsgálatainkat három ciklusban végeztük (I-III). Az egyes ciklusok három előkezelésből és az ezt követő mérésekből állottak. (A, B, C) Előkezelésként a próbatesteket először 24 órán át +60 °C-os T 20 jelű transzformátorolajban, majd +60 °C-os desztillált vízben áztattuk, és végül 40 órán át –25 °C-os hidegkamrában tároltuk.



5-9. ábra. Átütési szilárdság 90 °C-on, 90 mm-es lemeznél  
Jelmagyarázat: a 0,18% irtartalom; b 0,50% irtartalom

A vizsgálatokat az általunk kifejlesztett, hazai alapanyagokból előállított rétegelt szigetelőlemezen (ÜVETO F) és összehasonlítással a Schweizerische Isola Werke Vetronit EG 10 típusú üvegepxi lemezén végeztük. A két típusú lemez vastagsága nem lévén azonos, a mért eredmények számszerű összehasonlításra alkalmatlanok, de az anyagok előkezelés okozta változásának jellege kidomborodik és így ez összevethető.

#### 5-5. táblázat

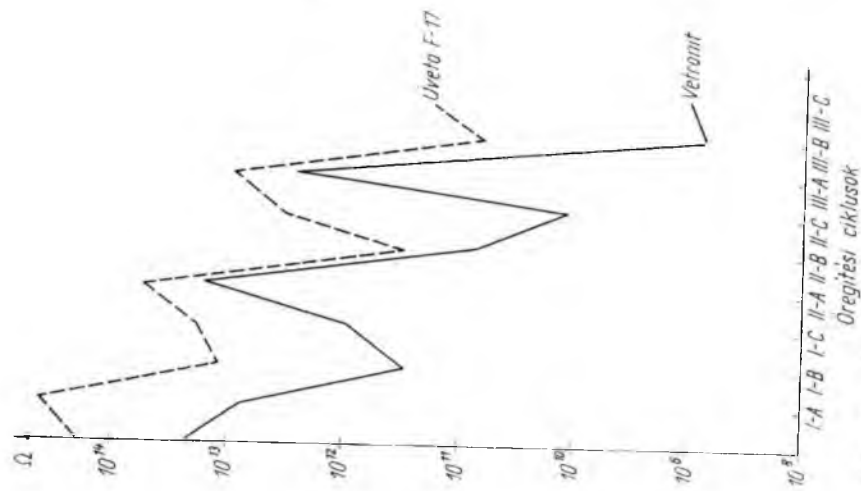
#### A mérési eredmények összehasonlítása

Igénybevétel	Belső ellenállás, Ω		Felületi ellenállás, Ω cm/cm	
	Vetronit	ÜVETO F	Vetronit	ÜVETO F
0	10 <sup>13</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>
III. ciklus végén (9 igénybevétel után)	10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>11</sup>

A villamos mérések átlagát az 5-5. táblázat és az 5-10.—5-13. ábrák szemléltetik.

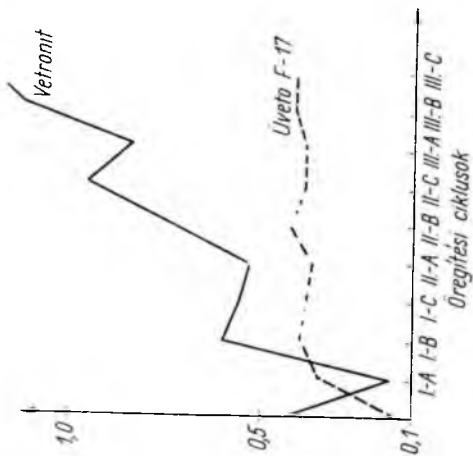
A speciális öregítési vizsgálat eredményeit összegezve leszögezhetjük, hogy az Intézet által kifejlesztett ÜVETO F jelű szigetelőlemez

— belső ellenállása a három ciklus után változatlan (10<sup>12</sup> Ω);

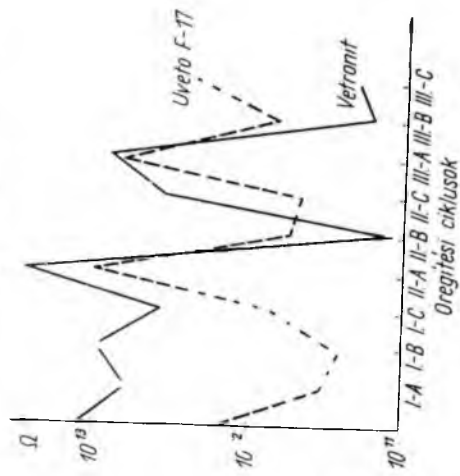


5-10. ábra. A felületi ellenállás változása  
Öregítési ciklusok

5-11. ábra  
A dielektromos  
vesztéségi  
tényező  
változása

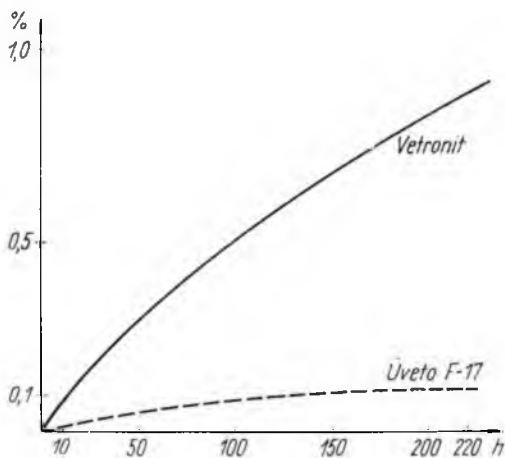


5-12. ábra  
A belső  
ellenállás  
változása



- felületi ellenállása a három ciklus után három nagyságrenddel leromlott, de még mindig  $10^{11} \Omega \text{ cm/cm}$ ;
- a  $\text{tg } \delta$  értéke az első ciklus első előkezelése után lényegileg nem változott;
- a vízfelvétel növekedése egy alacsony határérték felé tart,

de minden változásban *kedvezőbben reagál a behatásokra, mint a svájci Vetronit lemez.*



5-13. ábra. Vízfelvétel 220 óra múlva

### 3. Üzemesítés

A kísérletsorozat sikeres lezárása után sor került a kifejlesztett termék üzemesítésére a Villamosszigetelő és Műanyag Gyárban. Ennek során ismételten megállapítottuk, hogy ajánlatos a termék *utó-hőkezelése*, főleg akkor, ha üzem közben hosszantartó hőhatásnak van kitéve.

#### Irodalom

- [1] Hirschfeld, H.: Neues über Schichtspreßstoffe. Kunststoffe, 55. köt. 1965.
- [2] Schmidt, K. A. F.: Einsatz von Glasseidenerzeugnisse in der Elektrotechnik. Kautschuk und Gummi-Kunststoffe, 17. köt. 1964.
- [3] H. Hagen: Glasfaserverstärkte Kunststoffe. Springer-Verlag, Berlin, 1965.



# 6.

## Poliésztergyanták új típusú katalizátorai

*KOPNICKY SZANISZLÓ*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A poliésztergyanták új típusú katalizátorai alapvetően megváltoztatják a gyanta reakciósebességét, ami számos új jelenséget hoz felszínre. Ezek egyrésze elsősorban kémiai szempontból érdekes, azonban ezenkívül a termékek tulajdonságai és az alkalmazás technikája is alapvetően eltér a peroxidtípusú katalizátorokkal hálósított poliésztergyantáktól.

A villamosipar területén főleg az 1 kV és azon felüli feszültségre tervezett szigetelők előállításánál képzelhető el a rendszer alkalmazása. Az újszerű feldolgozási technológia a kész gyártmány tulajdonságainak kedvező alakulását is eredményezi. A VKI a MÜKI-vel együtt folytatott ilyen irányú kísérleteket, és néhány igen érdekes tapasztalatot gyűjtött össze.

### НОВЫЕ ТИПЫ КАТАЛИЗАТОРОВ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

*С. Копницки*

#### Резюме

Новые типы катализаторов полиэфирных смол в корне изменяют скорость реакции смол, что влечет за собой появление многих неизвестных до сих пор явлений. Часть из них представляет интерес с точки зрения химической реакции, но кроме указанного, техника применения катализаторов в корне отличается от техники применения катализаторов сетевых полиэфирных смол типа перекиси.

В электропромышленности и, главным образом, при производстве изоляторов 1 кв и выше указанный материал может получить широкое применение. Новая технология производства оказывает благоприятное действие и на свойства готового изделия. VKI совместно с институтом МУКИ провел испытания в таком направлении и при этом было получено несколько очень интересных результатов.

### NEUARTIGE KATALISATOREN FÜR POLYESTERHARZE

*Sz. Kopnicky*

#### Zusammenfassung

Die neuartigen Katalisatoren der Polyesterharze verändern grundlegend die Reaktionsgeschwindigkeit des Harzes, was zahlreiche neuartige Erscheinungen hervortreten lässt. Ein Teil dieser Erscheinungen ist in erster Linie aus chemischen Gesichtspunkten von Interesse, wobei jedoch ausserdem sowohl die Eigenschaften als auch die Anwendungstechnik der Erzeugnisse grundlegend von den mit peroxydartigen Katalisatoren vernetzten Polyesterharzen abweichen. Auf dem Gebiet der Elektrotechnik kann eine regelmässige Verwendung in erster Linie bei der Herstellung von Isolatoren für Spannungen von und über 1 kW in Betracht kommen. Die neuartige

Verarbeitungstechnologie hat auch eine günstige Entwicklung der Eigenschaften des Fertigproduktes zur Folge.

Die mit dem Institut MÜKI gemeinsam geführten Versuche des Institutes VKI auf diesem Gebiet brachten viele wertvolle Erfahrungen ein.

## NEW CATALYST TYPES FOR POLYESTER RESINS

*Sz. Kopniczky*

### Summary

The new catalyst types of polyester resins change fundamentally the reaction rate of the resin which reveals a considerable number of new phenomena. Part of these are interesting primarily from chemical point of view but the properties and the technique of application of these products also differ basically from those of the polyester resins made with peroxide type catalysts.

The application of this system in the sphere of electrical engineering could chiefly be possibly in the manufacture of insulators designed for 1 kV or higher voltage. The novel processing technology also results in improved properties of the finished product. The Research Institute of the Electrical Industry performed experiments in this respect, in cooperation with MÜKI and a few highly interesting experiences were gathered.

### 1. Bevezetés

A poliésztergyanták mintegy 25 éve ismeretesek, de ipari méretekben való alkalmazásuk csak az ötvenes évek elején kezdődött. Ma már a hazai villamosipari vállalatok évente mintegy 100 t poliésztergyantát használnak fel, elsősorban kiöntő- és rétegelőgyantaként, ill. kitt- és itatóanyagként.

Nagy elterjedtségüket sokoldalú és egyszerű feldolgozhatóságuknak és viszonylag alacsony árúknak köszönhetik.

Bár a poliészterek öntőgyantaként való alkalmazása, igen elterjedt, mégis bizonyos korlátok közé van szorítva. Ismeretes, hogy a telítetlen poliésztergyanták hő hatására és szerves peroxid-vegyületek mint katalizátorok (iniciátorok) hozzáadásával térhálósíthatók. Alacsonyabb hőmérsékleten aktivátort is kell alkalmazni (pl. kobalt-naftenátot).

A szerves peroxid-alapú aktivátorrendszerek közös hátránya, hogy a polimerizációt lökészerű hőfejlődés és ezzel együtt nagymértékű, hirtelen bekövetkező zsugorodás kíséri, ami nagyobb öntvényekben belső feszültségek képződésére, sok esetben repedésekre vezethet. Nagyméretű, bonyolult alakú öntvényeket peroxid típusú katalizátorok alkalmazásával még akkor sem lehet készíteni, ha a gyanta mellett nagy mennyiségben alkalmazunk töltőanyagot. Különösen szembetűnő ez a repedésre való hajlam a nagy reaktivitású poliésztergyanták esetében, holott hőállóság, villamos tulajdonságok, víz- és vegyszerállóság szempontjából ezek a típusok kedvezőbbek, mint a kisebb telítettségű gyanták.

### 2. $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületekkel iniciált telítetlen poliésztergyanták polimerizációja

A peroxiddal iniciált térhálósításkor fellépő kellemetlen kísérőjelenségek a legújabb irodalmi utalások szerint [2], [3], [4], [5], [6], [7] ún.  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületek térhálósító anyagként való alkalmazásával elkerülhetők. Ezzel új lehetőség nyílik a poliésztergyanták felhasználási területének kibővítésére. Az új típusú katalizátorok

bevezetésével a poliészterek olyan hátrányos tulajdonságoktól szabadulnak meg, amelyek végig kísérték eddigi feldolgozásukat és alkalmazásukat.

Tekintettel a téma műszaki—tudományos érdekességére és esetleges gazdasági kihatására, a VKI és a MÜKI részletesen tanulmányozta e kérdést.

## 2.1 Irodalmi áttekintés

*H. Hopff* és *K. Kleiner* [6] kiterjedt kutatások alapján megállapította, hogy azok az  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületek, amelyek enolizálásra hajlamosak, katalizátorként hatnak a telítetlen poliésztergyanták térhálósodására.

Jellemző e katalizátorokra, hogy a polimerizáció sebessége csak  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  fölött jelentős és ugyanakkor az exoterm hőfejlődés, valamint az ezzel együttjáró belső feszültség-képződés lényegesen kisebb, mint a peroxid katalizátorok esetében. Nevezett szerzők összehasonlító méréseiből kiderült, hogy azonos polimerizációs körülmények között, ha  $\alpha$ -fenil-karbonil típusú katalizátort alkalmaznak, a természetlő fürdő hőmérsékletéhez képest  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os polimerizációs hőmérsékletemelkedés figyelhető meg, míg pl. benzoilperoxid katalizátor alkalmazása esetén ez a hőmérséklet-emelkedés kb.  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$  és kihat a kikeményített anyag belsejében ébredő belső feszültségekre is. Minél nagyobb az exoterm hőmérséklet, annál nagyobb mértékű a keletkező belső feszültség.

A Micafil A. G. laboratóriumában dolgozó *H. Rembold* és *R. Keller* már az új típusú katalizátorok gyakorlati felhasználásáról is tudósít [3]. Közléseik szerint  $\alpha$ -fenil-karbonil típusú katalizátorok és Vestopal-A jelű poliésztergyanta felhasználásával 12, ill. 24 kV-os támszigetelőt készítettek. A törőszilárdság mérése alkalmával azt találták, hogy az így készített poliésztergyanta támszigetelő törőszilárdsága mintegy 20...30%-kal kisebb az ugyanilyen méretű epoxigyanta szigetelő törőszilárdságánál. Kétségtelen, hogy az epoxigyanták fajlagos szilárdsága jobb, mint a poliésztergyantáké, azonban az utóbbiak lényegesen alacsonyabb világpiaci ára és ultraibolya sugarakkal szembeni jobb ellenállóképessége felhívja a figyelmet, hogy kellő körültekintéssel sikeresen használható nagyobb méretű öntvények előállítására, esetleg olyan alkalmazási területekre is, ahová a peroxid-vegyületekkel térhálósított poliészterek a már ismertetett hátrányok miatt nem megfelelőek.

## 2.2 Kísérleti rész

### A felhasznált iniciátorok jellemzése

A saját kísérleteinkhez felhasznált  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületek egy részét az Eötvös Lóránt Tudományegyetem Általános és Szervetlenkémiai Tanszéke állította elő, más részüket kereskedelmi cikként szereztük be a Schuchard A. G. (München) cégtől. A szerves peroxidok az Elektro Chemische Werke (München) gyártmányai (6-1. táblázat).

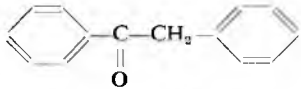
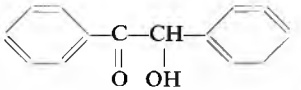
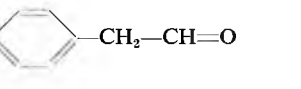
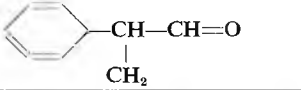
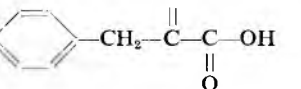
Kísérleteink során először e vegyületek iniciáló hatását hasonlítottuk össze szerves peroxid típusú vegyületek reakciókészségével, különböző reaktivitású poliésztergyantákon. A térhálósodás menetét a polimerizációs hő, a gélesedési idő és a zsugorodás méréseivel követtük.

A kísérletek során elsősorban a Hülls cég által forgalomba hozott Vestopal-A polimerizációját tanulmányoztuk különböző típusú katalizátorokkal. E poliészter-típus alkalmazása már csak azért is célszerű volt, mert a legtöbb irodalmi utalás szerint a kísérleteket Vestopal-A-val folytatták le. Ez a gyantatípus a poliésztercsalá-

don belül minőség és reaktivitás szempontjából átlagosnak felel meg, lévén közepes reaktivitású gyanta. A polimerizációs hőmérsékletet 80 °C hőmérsékletű fürdőben mértük, aminek eredményeit a 6-2. táblázat és a 6-1. ábra szemlélteti.

6-1. táblázat

A legfontosabb  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületek főbb jellemzői

A vegyület megnevezése	Kémiai szerkezet	Rövidítés	Külső megjelenés
Dezoxibenzoin		DB	Szintelen kristály, olvadáspont: 53...55 °C
Benzoin		B	Szintelen kristály
Fenilacetaldehid		PAA	Szintelen, szúrós szagú folyadék, forráspont: 194 °C
Hidratrop-aldehid		HA	Szintelen folyadék, forráspont: 202...204 °C
Fenilpiro-szőlősav		PPSZ	Kristály, olvadáspont: 150...154 °C

Amint a 6-1. ábra görbéiből látható: a peroxidallal iniciált rendszerekben lökés-szerű a hőfejlődés és igen rövidek a gélesedési idők. Az  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületekkel hálósított rendszerek esetében a felszabaduló hőmennyiség is egyenletesebb eloszlású és a gélesedési idők is hosszabbak. Megfigyeltük továbbá azt is, hogy a peroxidos rendszerekben a folyékony állapotból a gélfázison keresztül a szilárd állapotba való átmenet igen gyors, az új típusú katalizátorok alkalmazása esetén a poliészter egyenletes viszkozitásnövekedésén keresztül jut el a gél, majd a szilárd állapotba. A görbékből megállapítható, hogy a vizsgált anyagok közül a dezoxibenzoin iniciátornak legkisebb a reaktivitása, a hidratropaldehyd és a fenilpiroszőlősav pedig a legreaktívabb.

Kísérleteink során úgy találtuk, hogy az  $\alpha$ -fenil-karbonil típusú katalizátorok közül a benzoin a legmegfelelőbb, ezért további kísérleteinket e vegyület köré csoportosítottuk.

Feltevésünk szerint a peroxidallal iniciált rendszerekhez képest az  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületekkel lefolytatott hálósítás esetében a térfogati zsugorodás menete és egyes fázisai is mások, ugyanis a telítetlen poliészterek hálósodási sebességére a zsugorodás időbeli változása jellemző. Méréseink során ezek a feltevés messzemenően bebizonyosodtak. A polimerizációs hő időbeli eloszlása a hálósodás időtartama

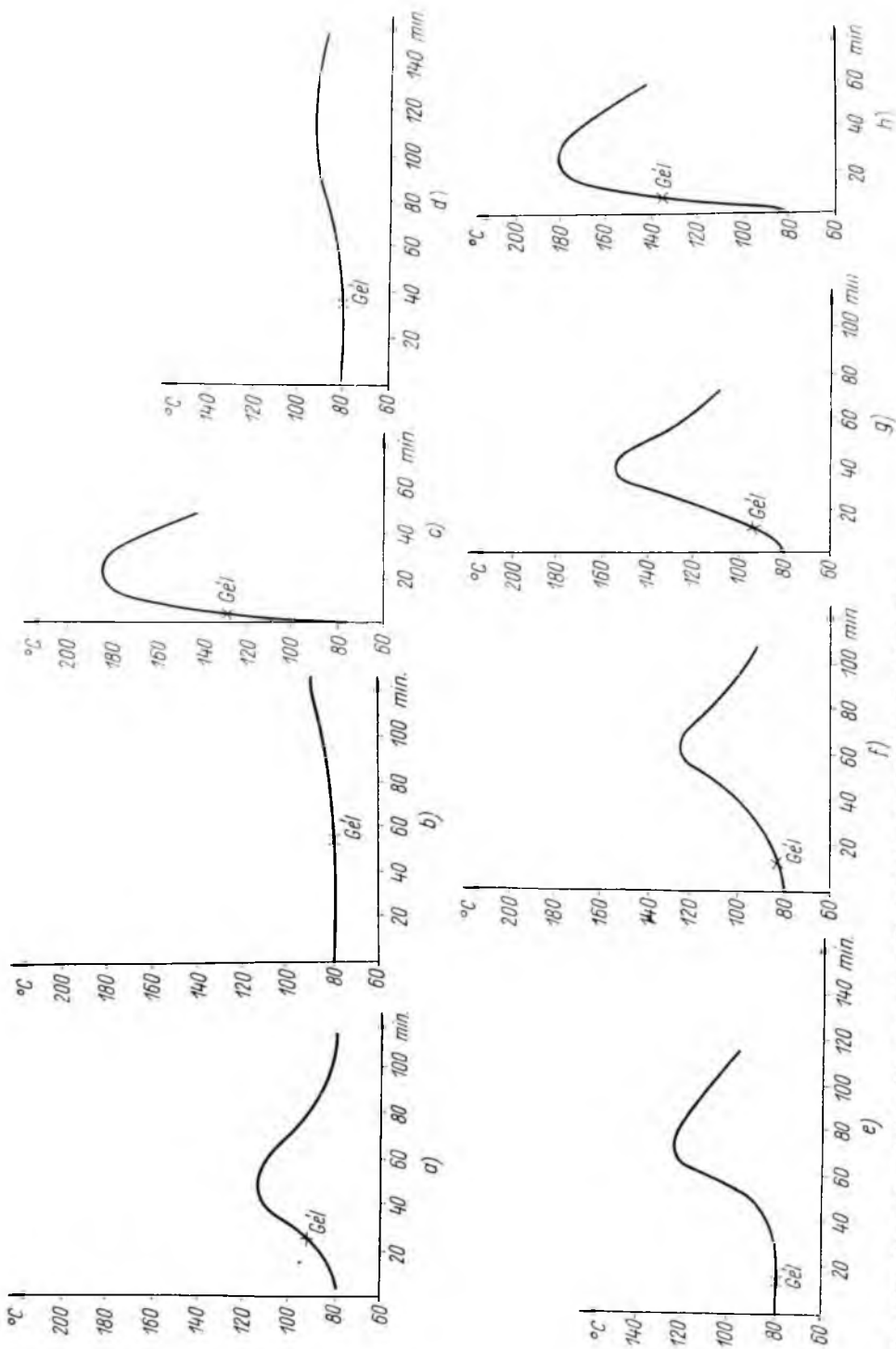
alatt, továbbá a hosszabb géledési idők egyben a zsugorodás lefolyását is módosították. Kísérleteink során a zsugorodás menetének meghatározására módszert dolgoztunk ki és ennek segítségével összehasonlítottuk a ciklohexanonperoxid/kobaltnafténát (a továbbiakban HCP/Co) rendszer zsugorodási görbéjét az  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületekkel iniciált hálósításkor felvett görbével. A 6-2. ábrán látható, hogy a Vestopal-A poliésztergyanta zsugorodása HCP/Co rendszer alkalmazása esetén

6-2. táblázat

Vestopal-A poliésztergyanta géledési ideje és polimerizációs hője 80 °C-on

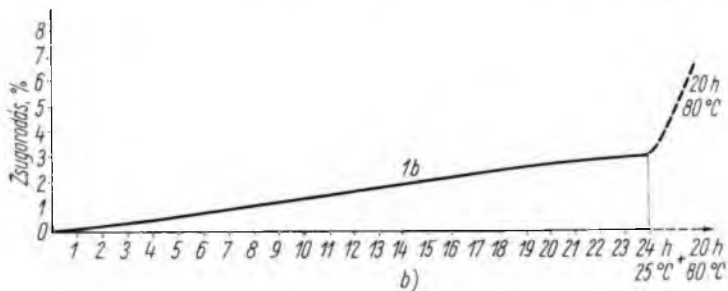
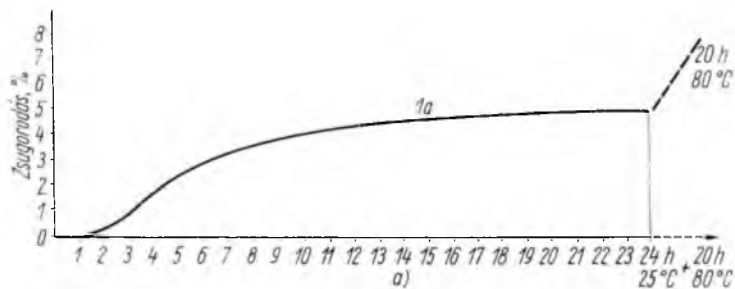
Iniciátor	Géledési idő min.	Maximális hőmérséklet °C	$\Delta t$
Benzoil peroxid	7	185	105,0
Dezoxibenzoin 1 % (ELTE)	55	89,5	9,5
Benzoin 1 % (ELTE)	27	114	34,0
Fenilpiroszólósav 0,05 % (ELTE)	19	125	45,0
Fenilpiroszólósav 0,025 % (ELTE)	33	93	13,0
Hidratopaldehid 0,5 % (ELTE)	15	155	75,0
Fenilacetaldehid 1 % (ELTE)	10	125	45,0

más jellegű, mint benzoin iniciátor alkalmazásakor. Ez utóbbi esetben a zsugorodás sokkal egyenletesebb és időben elhúzódó. Még szembetűnőbb azonban a különbség, ha ezt az iniciátor—aktivátor-rendszert egy nagy reaktivitású poliésztergyanta esetében hasonlítjuk össze zsugorodás-lefutás szempontjából. Erre a célra jól megfelelt a Polikon P 2 jelű gyanta. Mint a 6-3. ábrán láthatjuk, HCP/Co rendszer alkalmazása esetén rendkívül rövid idő alatt érjük el a végső és egyben maximális zsugorodási értéket, míg benzoin alkalmazása esetén a zsugorodás egyenletesen növekszik és a végső, maximális zsugorodás is mintegy 15%-kal alacsonyabb. Az eltérések oka az, hogy míg a peroxiddal iniciált rendszerekben a hálósodás kezdeti szakasza után azonnal ugrásszerű zsugorodás lép fel, amely 3—4 h alatt eléri végleges értékét, addig benzoin alkalmazása esetén — ha a polimerizációt itt is szobahőmérsékleten végezzük — a zsugorodás még 24 h után is csak mintegy 3% és csak a 16 h-ás, 80 °C hőmérsékletű utóhőkezelés során éri el a 7—8%-os végzsugorodást.

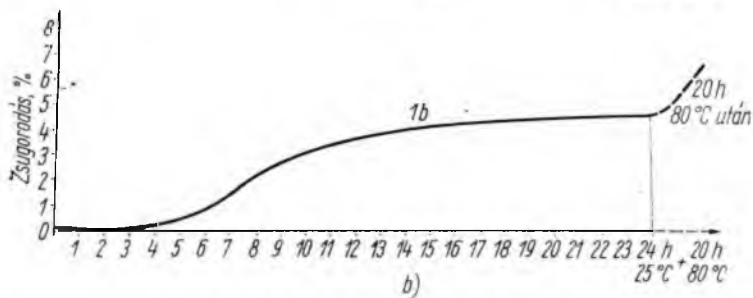
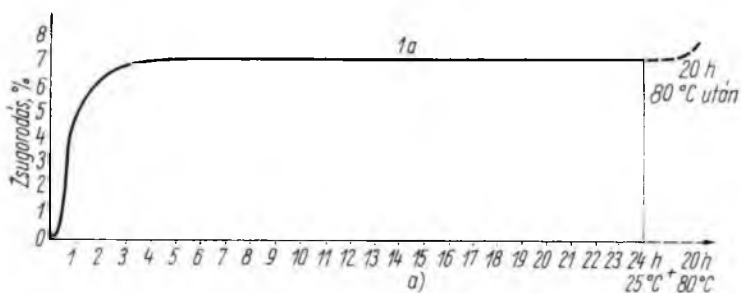


6-1. ábra. Vestopál-A jelű poliésztergyanta polimerizációs hője 80 °C-os fürdőben mérve

a) 1% benzoin katalizátorral; b) 1% deoxibenzoin katalizátorral; c) 1% benzoilperoxid katalizátorral; d) 0,025% fenilpirosszulfid katalizátorral; e) 0,05% fenilpirosszulfid katalizátorral; f) 1% fenilacetaldehid katalizátorral; g) 0,5% hidratropaldehid katalizátorral; h) 1% cihlohexanoperoxid katalizátorral



6-2. ábra. Vestopál-A jelű poliésztergyanta zsugorodása  
 a) 1,5% ciklohexanonperoxid katalizátorral és 0,005% kobaltnaftenát gyorsítóval; b) 0,5% benzoin katalizátorral és megfelelő gyorsítóval



6-3. ábra. Polikon-P2 jelű poliésztergyanta zsugorodása  
 a) 1,5% ciklohexanonperoxid katalizátorral és 0,005% kobaltnaftenát gyorsítóval;  
 b) 0,5% benzoin katalizátorral és megfelelő gyorsítóval

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy azonos térhálósági fokhoz közel azonos végső zsugorodási értékek tartoznak, azonos típusú poliésztergyantáknál. Az  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületekkel iniciált rendszerek jelentősége abban van, hogy a fellépő térfogatkontrakció egyetlenesen, időben elnyújtva következik be, ami az öntvény-készítés szempontjából kedvező. A 6-4. ábrán töltőanyag nélküli Elastirol FP poliésztergyantából készített szigetelőtesteket láthatunk, a gyantát HCP/Co rendszerrel, ill. benzoinrendszerrel hálósítva. A különbség azonnal szembetűnik már a külalakban is.



6-4. ábra. Elastirol FP poliésztergyantából készített szigetelőtestek  
bal oldalon: HCP/Co-rendszerrel hálósítva;  
jobb oldalon: benzoinnal hálósítva

#### Fémionok hatása poliésztergyanták $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületekkel iniciált hálósodására

Kutatásaink során alkalmunk volt fémionok inhibáló hatásának tanulmányozására is. Kísérleteink során ugyanis gyakran megfigyelhető volt, hogy egyes poliésztergyanták ugyanolyan kísérleti feltételek mellett nem, vagy csak igen hosszú idő alatt gélesednek  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületekkel. Az igen részletes és beható vizsgálatok eredményei alapján megállapítható volt, hogy vasionok már igen kis koncentráció-

ban is zavarják a hálósodást. A továbbiak során kimutatható volt az is, hogy a poliésztergyanta reaktivitásának csökkenésével nő annak vasionra való érzékenysége is. Ez annyit jelent, hogy minden poliésztergyantánál más és más vasion mennyiség akadályozza a hálósodást. Ez a kérdés annál is inkább érdekes volt, mert az eddigi eredmények alapján már nyilvánvaló, hogy töltőanyag alkalmazása esetén a töltőanyagok tisztasági fokának, fémiontartalmának komoly jelentősége lehet. Így pl. azt tapasztaltuk, hogy a vasszennyeződést tartalmazó kvarcliszt töltőanyaggal kevert gyanta egyáltalán nem szilárdul meg és az esetek túlnyomó részében mechanikai szilárdságról egyáltalán nem lehet beszélni. Így természetesen a kvarclisztre, vagy egyéb anyagra is elő kell írni a maximálisan megengedhető mennyiséget. Töltőanyagként jól alkalmazható még a kaolin és az alumíniumoxid is, azonban az előbbi a viszkozitást nagymértékben növeli, az utóbbi pedig hajlamos a leülepedésre. A legcélszerűbb töltőanyag tehát a vasszennyeződés mentes kvarcliszt.

#### Hálósítási módok

Az  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületekkel való térhálósítás optimális paramétereinek tisztázása érdekében különböző hálósítási módszereket próbáltunk ki. Ezek az alábbiak voltak:

##### a) Hidegen öntött, melegen hálósított rendszerek

Ezt a hálósítási módot írják le a vonatkozó szakirodalmak is. Az eljárás során a komponenseket szobahőmérsékleten összekeverik, szerszámba öntik, majd fokozatos hőkezeléssel hálósítják. A hálósítás hőmérséklete 80...120 °C. Ennél a hálósítási módnál a következő hőlépcsőket alkalmaztuk: 5 h 80 °C + 16 h 110 °C. Az ily módon készített próbatestek mechanikai szilárdsága átlagosan megfelel a HCP/Co rendszerrel kapott értékeknek.



Az alapkísérletek elvégzése után a soronkövetkező feladat a gyakorlat számára is használható hálósítási mód kialakítása volt.

b) *Hidegöntés, hideghálósítás módszere*

Az  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületekkel iniciált polimerizáció aktiválását, amely lehetővé tette a szobahőmérsékleten való hálósítást is, kutatásaink során dolgoztuk ki. Az eljárás előnye, hogy a hálósítást így egészen óvatosan lehet vezetni és még töltőanyagmentes gyantából is lehet nagyméretű öntvényt készíteni, belső feszültségtől és repedéstől mentesen. Hálósítás után természetesen ún. utóhőkezelést is kell alkalmazni, az öntvény ugyanis csak azután éri el végleges mechanikai szilárdságát és hőalaktartóságát. Az ily módon előállított próbatestek mechanikai szilárdsága általában elérte az a) pontban leírt eljárással készült anyagok értékeit, ill. azoknál egyes esetekben valamivel alacsonyabb volt.

c) *Melegöntés—meleghálósítás módszere*

Ezt az öntési módszert kutatásaink során dolgoztuk ki, miután a kiválasztott végleges iniciátortípussal, a benzoinnal nagyszámú gélesedési vizsgálatot végeztünk. A benzoint azért választottuk, mert ez a vegyület viszonylag könnyen beszerezhető, amellet jól tárolható és a legolcsóbb. A különböző hőmérsékleteken, különböző katalizátorkoncentrációk mellett végzett gélesedési vizsgálatok eredményei adták az indítékot arra, hogy megfelelően kiválasztott katalizátor-mennyiség és hőmérséklet mellett esetleg módot lehessen találni egy olyan öntési technológia kialakítására, amely jobb minőségű termékhez vezet. Az eljárás előnye a többi módszerrel szemben, hogy magasabb hőmérsékleten nagyobb mennyiségű töltőanyagot lehet bevenni, mintha a komponenseket szobahőmérsékleten keverjük össze. A kisebb viszkozitás folytán az önthetőség is javul, könnyen távoznak el a keletkezett légbuborékok. A meleg öntés—meleg keményítés módszerével készült próbatesteken mért mechanikai szilárdság és hőalaktartósági értékeket a 6-3. táblázat szemlélteti, összehasonlítva a HPC/Co rendszer mechanikai szilárdságával.

A módszeren belül a különböző hőkezelési módozatokkal elért eredményeket a 6-4. táblázatban hasonlítottuk össze. Mint láthatjuk, ezek a mechanikai szilárdság értékek jóval meghaladják azokat, amelyeket HCP/Co rendszerrel lehet elérni. Ez mindenképpen igen előnyös, mivel a töltőanyagot tartalmazó poliesztergyantánál eddig általános volt a panasz az alacsony mechanikai szilárdság miatt és ez a körülmény eleve nagymértékben korlátozta alkalmazási területüket. A jobb mechanikai szilárdság mellett a rendszer villamos tulajdonságai ugyanolyanok, mint a HCP/Co rendszerénél.

A különböző öntési módokkal elérhető mechanikai szilárdság és hőalaktartóság-értékeket a 6-3. táblázat szemlélteti.

A melegöntési technológia kidolgozása során szükségessé vált természetesen a gyanta-töltőanyag rendszer reológiai tulajdonságainak tanulmányozása is. Az öntés legcélszerűbb hőmérsékletének megválasztása, a maximálisan bevihető töltőanyag-mennyiség meghatározása, mind e vizsgálatok eredményein alapul. A mérési eredményekből világosan látható, hogy mint ezt a 6-5. ábra szemlélteti, a bekeverési hőmérséklet emelésével a poliesztergyanta viszkozitása olyan rohamosan csökken, hogy ezáltal még 150% kvarcliszt töltőanyag bevitele esetén is könnyen önthető, kis viszkozítású öntőkeveréket lehet előállítani. Ugyanakkor ezen a hőmérsékleten a buborékok is könnyen eltávoznak, ami együttesen a mechanikai szilárdság igen jelentékeny javulását eredményezi.

Az optimális bekeverési hőmérséklet megválasztásakor természetesen figyelembe kell venni a gélesedési időt is, nehogy a túl magas hőmérséklet hatására a gyanta-keverék idő előtt gélesedjék.

6-3. táblázat

**Peroxid, illetve  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületekkel iniciált rendszerek mechanikai tulajdonságai és hőállósága**

Összetétel	Hálósítás módja	Hajlítószilárdság kp/cm <sup>2</sup>	Útőhajlítószilárdság cm kp/cm <sup>2</sup>	Hőállóság	
				Martens szerint °C	Vicat szerint °C
Poliészter VA 50 % kvarcliszt 50 % HCP 1,5 % Co-naftenát 0,8 ml/100 g	24h 20 °C + 16h 110 °C	587	3,6	60	165
Poliészter VA 40 % kvarcliszt 60 % benzoin 0,2 %	0,5h 110 °C + 3h + + 150 °C + 16h 110 °C	840	6,7	81	188
Poliészter FP 50 % kvarcliszt 50 % HCP 1,5 % Co-naftenát 0,8 ml/100 g	24h 20 °C + 16h 110 °C	538	2,9	91	194
Poliészter FP 40 % kvarcliszt 60 % benzoin 0,2 %	1h 110 °C + 3h 150 °C	536	4,11	102	230

6-4. táblázat

**A hálósító körülmények befolyásoló hatása  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületekkel iniciált poliészterek mechanikai tulajdonságaira és hőaktartóságára**

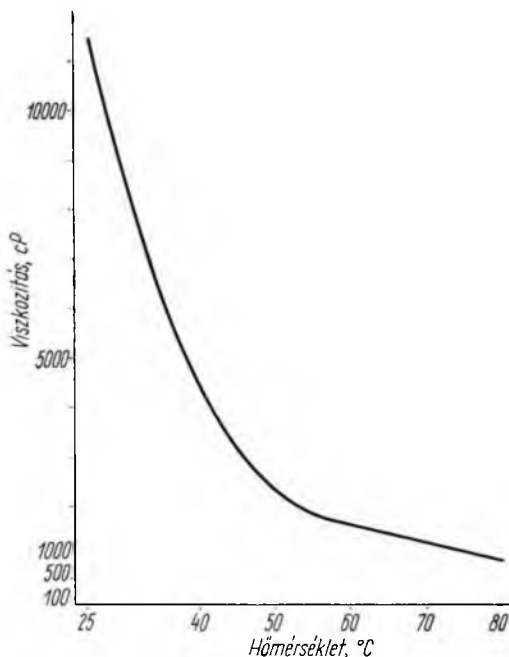
Összetétel	Hálósítás módja	Hajlítószilárdság kp/cm <sup>2</sup>	Útőhajlítószilárdság cm kp/cm <sup>2</sup>	Hőállóság Martens szerint °C
Poliészter VA 40 % Kvarcliszt 60 % Benzoin 0,2 %	16h 110 °C	803	6,3	60
	0,5h 110 °C + 3h 150 °C	781	6,4	70
	0,5h 110 °C + 3h 150 °C + + 16h 110 °C	840	6,7	81
	0,5h 110 °C + 6h 150 °C	766	6,2	70
	0,5h 110 °C + 8h 120 °C	670	4,7	65

Azokhoz a gyantatípusokhoz, amelyeknek gélesedése a bekeverés időpontjától számítva túlságosan hamar indul meg még viszonylag alacsonyabb hőmérsékleten is, célszerű inhibitorot adagolni, hogy a hálósodási reakciót lefékezzük, ill. időben eltoljuk. Az  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületekhez alkalmazható inhibitorok közül az egyik leghatásosabb és egyben legkönnyebben hozzáférhető a p-kinon, vagy másnéven benz-kinon. Már kis mennyiségben is képes biztosítani az elérni kívánt hatást. Irodalmi utalások szerint igen jól használható inhibitorok továbbá az aszkorbinsav és a dimetil-paratoluidin-difenilamin.

E vizsgálatok és kísérletek után került sor az öntvénykészítési kísérletekre. Ezt nagyszámú zsugorodási vizsgálatnak kellett azonban még megelőznie, mivel gyakorlati szempontból ennek ismerete igen fontos. A különböző öntvénykészítési módok közül a melegöntéses módszert alkalmaztuk, mivel ettől várhattunk legtöbbet mechanikai szilárdság szempontjából. Kísérleteinknél a TMB-10 típusú epoxi támszigetelő konstrukciójából indultunk ki, amelyet azonban bizonyos szempontból módosítottunk. A módosítás elsősorban az eredeti szerszám bordáinak megszüntetésére irányult. Ezek a bordák ugyanis az öntvényt a kikeményedés folyamán rögzített állapotban tartják és így lehetetlen a szabad zsugorodás a hálósítás alatt. Elhagytuk tehát a bordákat, ugyanakkor a szigetelő átmérőjét megnöveltük ezeken a helyeken. Az alap- és fedőlap méret, továbbá a hossz méret változatlan maradt. Az átmérő megnövelését az indokolja, hogy a poliésztergyanták fajlagos mechanikai szilárdsága kisebb az epoxigyantákénál, a szigetelőt viszont eredetileg epoxigyantára tervezték. A szigetelő készítésekor ugyanazokat a fémbetéteket alkalmaztuk, ugyanabban a geometriai elrendezésben, mint az epoxiöntvényeknél. Az öntéshez 150% kvarcliszt töltőanyagot tartalmazó poliésztert alkalmaztunk. A katalizátor 0,3% benzoin, volt. Az egyes komponenseket 80 °C-on kevertük össze, majd 110 °C-ra előmelegített, leválasztóval ellátott műanyag szerszámba öntöttük. A szerszámot egy órai lehülés után szedtük szét. A hőkezelés módját a 6-5. táblázat tartalmazza.

Szerszámanyagként legcélszerűbb fémot választani, bár a műanyag szerszám is alkalmazható. Ez utóbbinál azonban hosszabb használat után előfordul, hogy a sztirol a viszonylag magasabb hálósítási hőmérsékleten megtámadja. Igen ajánlatos a szerszám felületének fémbe vonása galvanoplasztika útján, amely a szerszám élettartamát jelentősen meghosszabbítja.

A melegöntési módszerrel előállított szigetelőket a 6-6. ábrán, a szigetelőkön mért értékeket a 6-5. táblázatban láthatjuk.

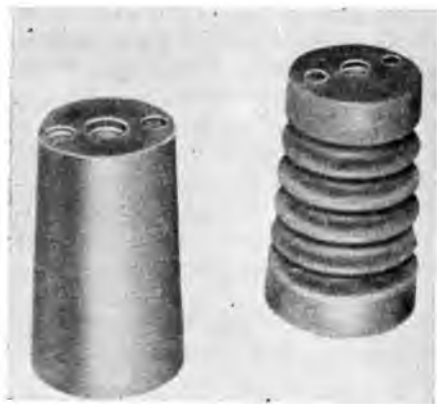


6-5. ábra. 60% töltőanyagot tartalmazó Vestopál-A poliésztergyanta viszkozitásának változása a hőmérséklet függvényében

6-5. táblázat

**Poliésztergyanta alapú TMB 10 típusú támszigetelők  
vizsgálatának eredményei**  
(VDE 0111/2.61 szerint mérve)

Összetétel	Hálósítás	Próbafelesztés kV	Átívelési felesztés kV	Törőszilárdság kp
Poliészter VA 40% 60% kvarliszt 0,3% benzoin	16h	35	átlagérték	átlagérték
	110 °C	megfelel	75	1190
Poliészter FP 20% + 20% poliészter VA 60% kvarliszt 0,3% benzoin	16h	35		
	110 °C	megfelel	77	873
Poliészter FP 25% + 15% poliészter VW 60% kvarliszt 0,3% benzoin	16h	35		
	110 °C	megfelel	73	903



a)



b)

6-6. ábra. Poliésztergyantából készült TMM-10 típusú támszigetelők

a) Tányéros és egyenesvonalú megoldás; b) Egyenesvonalú megoldás, azonos magasság mellett, különböző átmérekkel

### 3. Összefoglalás

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületek katalizátorként való alkalmazásával talán olyan műszaki problémák is megoldhatók lesznek poliésztergyanta felhasználásával, amelyek a jelenleg használatos peroxid-típusú katalizátorok alkalmazásával nem voltak lehetségesek. E katalizátorok alkalmazása kedvezőbbé teszi a poliészter öntőgyanták melegen való feldolgozását is. A kidolgozott öntési mód maga után vont a mechanikai jellemzőknek a hőaktartóssággal egyidejűleg bekövetkező javulását. A melegen való feldolgozhatóság továbbá gazdasági előnyökkel is jár, ugyanis ez esetben nagyobb mennyiségű töltőanyagot lehet a kompozícióba bevinni és így műgyantát takarítunk meg. Ez a peroxid-típusú katalizátorok alkalmazásánál nagyon kényelmetlen lenne, mivel e rendszerek 80 °C környékén számottevő ideig nem tárolhatók, gélesedésük e hőmérsékleten pillanatszerűen következik be. Az  $\alpha$ -fenil-karbonil vegyületek alkalmazása azonban fokozott követelményeket támaszt a poliésztergyantával szemben is, hiszen már viszonylag kis mennyiségű vasszennyeződés is hátrányosan befolyásolja a reakciót, ill. egyes esetekben azt teljesen lehetetlenné teszi.

#### Irodalom

- [1] *Dr. Kelemen K. und Kopniczky, Sz.:* Feuchtigkeitsbeständigkeit kaltgehärteter PolyesterGIessharze. Plaste und Kautschuk **11** (1964) p. 10.
- [2] *Hopff, H.—Kleiner, E. K.:* Katalysatoren für vernetzte Polyester. *Chimia* **16** (1962) 4. p. 130.
- [3] *Rembold, H.—Keller, R.:* Neuertige Katalysatoren eröffnen Polyester Giessharzen interessanten Möglichkeit. *Kunststoffe* **54** 9. p. 554—557.
- [4] *Wende, A.:* Faser-Plast-Werkstoffe-Neuere Ergebnisse, Probleme, Entwicklungstendenzen. I. Internationale Tagung über Glasverstärkte Kunststoffe und Epoxydharze Berlin. 1965. III. 22—27.
- [5] *Dannenbaum:* Ungesättigte Polyesterharze in der Elektrotechnik. *Kunststoff-Rundschau* **12** (1965) 3. 132—138.
- [6] *Hopff H.—Kleiner, E. K.:* Über-Keto-Enol Tautomere als Polymerisations-Initiatoren. *Chimia* **19** (1965) p. 99—112.
- [7] *Szedov, P.:* Novoe v oblaszti nenaszucsennüh poliefirnüh szmol. *Himija i Technologija Polimerov* (1966) 2. 20.
- [8] *Kline, G. M.:* Polymerek analitikai kémiája. Műszaki Könyvkiadó. Bp. 1963. 271. old. (Gélesedési idő SPI módszer)
- [9] *Vancsóné—Makainé:* Telítetlen poliészterek és sztirol, vagy metilmetakrilát kopolimerizációjának vizsgálata zsugorodásméréssel. *MTA Közleményei* (1959) 11. köt. 4.
- [10] *Harper, Ch. A.:* Giessharze in der Elektronischen Technik Carl Hanser Verlag. München, (1963). 21. old. és 318. old.
- [11] DIN 16945/1964. jáni.: Giessharze, Reaktionsmittel und Giessharzmassen.



# 7.

## **Eпованд бандázsszalag**

*DR. FAZEKAS GÁBORNÉ—KORONCZAY LÁSZLÓ*

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

A külföldi villamosgépgyárak mind nagyobb mértékben térnek át acélbandázs helyett műgyantával itatott üvegbandázs alkalmazására.

Laboratóriumunk kifejlesztett egy párhuzamos üvegszál vázanyagú szalagot, melynek gyártása jelentős devizamegtakarítást eredményez. A szalag természetesen nemcsak forgógépek tekercsfejeinek rögzítésére alkalmas, hanem minden olyan helyen használható, ahol tekeréssel készített üvegvázanyagú formatestek készítése műszakilag és gazdaságilag indokolt.

### **БАНДАЖНАЯ ЛЕНТА ЕПОВАНД**

*Др. Г.-не Фазекаи—Л. Коронцаи*

#### **Резюме**

Заграничные предприятия электропромышленности все в большей мере переходят на применение стеклянной бандажной ленты, пропитанной искусственной смолой, вместо стальных бандажных лент.

Наша лаборатория разработала параллельную бандажную ленту на стеклянно-волоконистой основе, производство которой дает значительную экономию валюты. Лента может быть использована не только для крепления лобовой части обмоток двигателей, но и везде, где экономически и технически выгодно изготовлять фасонные элементы на стеклянно-волоконистой основе методом намотки.

### **EPOBAND WICKELBAND**

*Frau Dr. G. Fazekas—L. Koronczay*

#### **Zusammenfassung**

Die Elektromaschinenfabriken im Ausland führen in stets grösserem Umfang anstelle Verwendung von Stahldrahtbandagen die Verwendung von kunstharzgetränkten Glasfaserbandagen ein.

In unserem Laboratorium wurde ein mit parallel angeordneten Glasfasern verstärkter Bandageband entwickelt, dessen Produktion eine bedeutende Einsparung an Devisen ermöglicht. Dieses Band eignet sich natürlich nicht nur zur Befestigung der Spulenköpfe von Rotoren, sondern ist überall verwendbar, wo die Anfertigung von gewickelten Formkörper mit Glasfaserverstärkung technisch und ökonomisch zu vertreten ist.

### **EPOBAND BANDAGE TAPE**

*Mrs. Dr. G. Fazekas—L. Koronczay*

#### **Summary**

Foreign manufacturers producing electrical machines use resin impregnated glass bandage instead of steel bandage to an increasing extent. A parallel glass fibre reinforced tape was developed by our laboratory. The production of this tape resulted in considerable savings in foreign exchange.

The tape is evidently not only suitable for securing the coil heads of rotary machines but can be used in all applications where the preparation of wound glass-reinforced formers is justified from both technical and economic viewpoint.

## 1. A bandázsszalag kifejlesztésének célja

A villamosgépek tekercsfejeinek rögzítésére a 60-as évekig általában acélhuzalt használtak. Ez az anyag azonban „konstrukció-idegen”. Bizonyítás nélkül is belátható, hogy szigetelt vezetőket acélhuzallal lekötni kényes művelet. A tervezők egyéb megoldás hiányában kényszerültek ennek használatára.

A legnagyobb nehézséget a huzal elejének és végének rögzítése jelentette. A huzalt egyszerűen összesodorni szilárdsági okokból nem lehetett. Keményforrasztás vagy hegesztés a huzal kilágyulása miatt nem jöhetett számításba. Kísérleteztek különféle lemezből sajtolt zárákkal is, de ezek súlya a bandázst helyileg és éppen a legkritikusabb helyen terheli. Maradt tehát, mint általánosan elterjedt megoldás a lágyforrasztás. A kialakult tekercselési technológiával készült bandázsok meghibásodási arányszáma nem haladta meg a többi alkatrészét, azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a huzalbandázsok szakadásának következménye a legsúlyosabb valamennyi meghibásodás között. A bandázs ugyanis rövid szög hosszúságú darabokra szakad, törik szét, ezek a darabok befűrődnek az állórész tekercselésébe, és azt teljesen tönkreteszik. Még ha a gép a meghibásodás pillanatában meg is áll, a kibomlott bandázsvég lehorzsolja az állórész tekercseinek szigetelését. A bandázsszakadás tehát a gép teljes újratekercselését jelenti.

A villamos motorok gyártásának fejlesztésére irányuló munka során az utóbbi években mind nagyobb mértékben tértek át a villamosgépgyártó cégek az acélbandázs helyett műgyantával itatott üvegbandázs alkalmazására. A műanyag bandázs az acélbandázzsal szemben a következő előnyökkel rendelkezik:

- nem keletkezik a bandázsban örvényáram, és így nincs helyi túlmelegedés, ennek következtében jobb a motor hűlése,
- nincs anyagfáradás miatt törés,
- a bandázs egységes gyűrűt képez, az egyes üvegszalag együttesen veszik fel a terhelést, így nincsenek kritikus forrasztási helyek, amelyek kiolvadása az acélbandázs gyűrű ledobását okozná.
- a bandázs súlya csökken az acélbandázshoz viszonyítva,
- nincs átütés a tekercselés és a bandázs között,
- a szigetelőanyag-felhasználás csökkenthető, mivel a bandázs önmagában is szigetel, így nem szükséges alatta az acélbandázusra méretezett tekercsfej-szigetelés. Ezáltal helymegtakarítás is érhető el;
- szigetelőanyag lévén a tekercsfejek szigeteléséhez is hozzájárul, sőt egyenáramú gépekben a kommutátor zászlói is lekötethők vele, míg huzalbandázsolás esetén a zászlóhoz közel eső oldal mindig kritikus volt, mert a zászlókon keletkezett átívelés gyakran a bandázson folytatódott, és az ív hőhatása olvasztotta ki a bandázs lágyforrasztását,
- azáltal, hogy a zászlok is lekötethők vele, lehetőség nyílik a kommutátor-oldali tekercsfejek kikittelésére és hermetikus lezárására. Ezzel a tekercsfejek elpiszkolódásából eredő zárlatok száma lényegesen csökkenthető,
- esetleges bandázsszakadásakor rendszerint a tömör bandázsréteg egy helyen, az alkotó irányában felhasad, a gyűrű kinyílik és az állórész tekercsfejeihez szorulva megáll, míg benne a forgórész tekercsfejei tovább forognak. Ezek



ugyan tönkremennek, az állórész azonban kisebb, javítható sérüléseket szenved,

- a motorok korrozív légkörben dolgozhatnak, mivel a műanyag bandázs nem korrodál,
- a gyűrű a kikeményítés során zsugorodik, ennek folytán a szorító hatás fokozódik,
- a bandázs elkészítése a huzalrögzítő műveletek elmaradása miatt egyszerűbb, az időnyereség jelentős, átlagos méretű motorokra vonatkoztatva kb. fele az acélhuzallal való bandázzolás munkaidejének,
- a műanyag bandázs a vezetők szigetelésével összesül, homogén réteget alkot, míg a huzalbandázs elkerülhetetlenül légszakokat tartalmaz,
- a felhasznált műgyanta-fajta kellő kiválasztásával magasabb, F és H hőosztályú motorszigetelések készíthetők.

A felsorolt előnyök igazolják, hogy a műanyag bandázs gyártásának kifejlesztése és széles körben való terjesztése indokolt volt. A villamos forgógépek a műanyag bandázs alkalmazásával jobb minőségben és biztonságosabban gyárthatók. Különös jelentőséget kap a műanyag bandázs magasabb hőosztályú szigetelések esetén, mert a megengedett hőfokhatárokon (F, H hőosztály) az acélbandázs lágyforrasztása kiolvadna, vagy legalábbis a szükséges biztonságot nem lehet betartani.

Hazai villamosgyáraink kb. 5 éve használják az üvegszál erősítésű műanyag bandázst. Elterjedésének fő akadálya, hogy a szalagot mindezeig importból szereztek be, és az ára jelentősen felülmúlta az acélhuzalét.

Az Intézetben kifejlesztett szalag ezt a problémát már részben megoldotta és további lehetőség az alapanyagok baráti államokból való beszerzése, így az EPO-BAND szalag alkalmazása nemcsak devizamegtakarítást, hanem felhasználása az acélhuzal helyett, műszaki előnyök mellett, költségmegtakarítást is jelent.

## 2. A kutatási munka menete

A fejlesztés 1966-ban a GVM, valamint a Csepeli Erőmű és Szolgáltató Üzemek megbízásából indult meg. Közvetlen célja egy, a villamosmotorok acélbandázsát helyettesítő, párhuzamos üvegszál vázanyagú, műgyantával itatott szalag előállítás volt.

A kutatómunka során import üvegszál és kötőanyag felhasználásával meghatároztuk a szalag előállításának technológiai körülményeit. A feladat megoldására egy kísérleti berendezést készítettünk (7-1. ábra), amelyet továbbfejlesztve egy már meglévő impregnálótornyból alakítottuk ki a félüzemi berendezést (7-2. ábra).

A kísérleti berendezésen előállított szalaggal szemben a további munkaprogram megvalósítása céljából, az alábbi követelményeket támasztottuk:

- szalagszélesség minimum 5 mm,
- B vagy annál magasabb hőosztályú szigetelés,
- jó tekerceselhetőség,
- kikeményítés után összefüggő réteget alkosson,
- a keményítés hőmérséklete 130 °C, vagy alacsonyabb legyen,
- tárolhatóság minimum 3 hónap legyen.

Emellett a felhasználók kívánsága volt, hogy a feldolgozási technológia ne térjen el lényegesen az import üvegszál szalagokétól.

Kiindulásképpen figyelembe vettük az import szalagok általános jellemzőit (7-1. táblázat).



7-1. ábra. Kísérleti impregnálóberendezés



7-2. ábra. Félüzemi impregnáló berendezés

A szalagot a külföldi mintáktól eltérően ún. roving fonalból kívántuk előállítani, mivel ennek beszerzési ára kedvezőbb, másrészt a párhuzamos szálkötegek szilárdsági viszonyai jobbak, mint a cérnázott üvegfonalaké.

7-1. táblázat

Import bandázsszalagok átlagos jellemzői

Jellemzők	Átlagértékek
Szalagszélesség, mm	10, 15, 20, 25, 30
Szalagvastagság, mm	0,30...0,45
Kikeményítés, 135 °C-on, h	2...4
Szakítószilárdság keményítés után, kp/mm <sup>2</sup>	100...120
Hőállóság, °C	155
Tárolhatóság 20 °C alatt	max. 6 hónap

Az üvegszál kiválasztásakor a következő szempontok kerültek előtérbe:

- villamosipari célokra alkalmas alkálimentes „E” üvegből készített roving fonalat választunk,
- a szakítószilárdság minimum 17 000 kp/mm<sup>2</sup> legyen,
- a fonal felülkezelt legyen (finish), amely növeli a tapadóerőt az üveg és a gyanta között,

- az elemi szálak vastagsága maximum 10  $\mu\text{m}$  legyen,
- az elemi szálakból összefogott ún. fonószálak száma lehetőleg kevés legyen,
- a fonószálak számában levő eltérés  $\pm 0$  legyen, azaz szálvégződés és kezdet ne legyen rovingon belül,
- a szálak feszsége konstans legyen.

Üvegszalat csupán tőkés importból származó alapanyagokból választhattunk, mivel a népi demokratikus országokban nem volt megfelelő üvegszál.

A felsorolt követelményeket szem előtt tartva, az alábbi üvegszál mintát, ill. mintákat szereztük be:

Sorszám	Típuszám
1.	1134—15/400 G
2.	534—30/4000 G
3.	533—69/400 G
4.	ES-10-400-0-60
5.	Stratofil ES-10-400-0-60
6.	Gevetex Roving S-43

Az 1., 2. és 3. típus holland (Silenka), a 4. típus olasz (Balzaretti Modigliani Milano), az 5. típus francia (Technique de Verre Textile), a 6. típus német (Gevetex Düsseldorf) gyártmányok.

Legalkalmasabbnak ezek közül az 1. üvegtípus minősült, mivel maximálisan kielégítette a fenti követelményeket. Tekintettel azonban arra, hogy ez a típus 15-ös fonószállal kerül forgalomba, a kísérleti impregnálóberendezéssel nem tudtuk elérni a 10 mm-es szalagszélességet. Az üzemi kísérletekhez emiatt a második típust használtuk, amely szintén kielégítő eredményeket adott. A félüzemi berendezés elkészültevel az 1. üvegtípusra tértünk át, amely a kísérleti szalaggal szemben minőségjavulást eredményezett.

Az impregnálógyanta kiválasztásakor az epoxigyanták előnyös tulajdonságaiból és széles körű felhasználási lehetőségeiből indultunk ki. Kézenfekvő volt kipróbálni a rétegelt üvegszövet gyártásban már régóta használt LY 556 jelű (CIBA) epoxigyantát, mivel az ezzel készült rétegelt termékek igen jó mechanikai és villamos tulajdonságúak. Az ezzel az anyaggal előimpregnált üvegszalag tárolhatósága azonban igen rövid volt, csak kb. 2 hét. Ezután a szalag törékennyé vált és csak 80 °C-ra felmelegítve lehetett tekerceselni, ami a feldolgozási technológiát igen bonyolulttá tette volna.

Következő lépésben különféle lágyítószerrel és hálósító típusok kombinációjával próbáltuk a tárolási időt megnövelni, és a szobahőmérsékleten való feldolgozhatóságot biztosítani.

A HT 976 jelű hálósító mellett Versamid 150 jelű hálósítót, Polikon ES jelű poliésztergyantát, DY-040 jelű lágyítót, CY 208 jelű flexibilis gyantát, és 1-4 bután-diolt, mint lágyító oldószeradalékokat alkalmaztunk különböző arányokban. Ezek a kísérletek azonban nem hoztak kellő eredményt, ezért áttértünk egy módosítatlan folyékony epoxigyantára (CY 230, F), amelynek lágyságát a CY 208 jelű hosszú szénláncú epoxigyantával igen tág határok között lehet változtatni. A gyanta megválasztásánál figyelembe vettük, hogy hasonló típusú epoxigyanta (Eporezit F-22) hazai gyártása megindult, így esetleg lehetőség lett volna az import anyag megtakarítására.

Az első üzemi felhasználási kísérletekhez a következő összetételű lakkot használtuk:

CY 230	75 sr.
CY 208	25 sr.
HT 976	32 sr.
HT 973	2,5 sr.

Az így előállított szalag minőségileg megfelelő volt, a felhasználók csupán a tárolási idő rövidegét kifogásolták (5 °C alatt max. 3 hónap). Ezen azonban semmiféle módosítás sem segített, így újabb gyantatípusok kipróbálására került sor.

A korábban biztató eredményeket adó epoxi-novolakk kombináció alapján választásunk a CIBA AG. LY 558 jelű impregnálógyantájára esett, amelyet száltekerceslés céljára fejlesztettek ki. Ez a gyanta BF<sub>3</sub> komplex gyorsító adalékkal 130 °C-on jól hálósodik, az impregnált termék pedig hűtőszekrényben 6—8 hónapig is eltartható. Az impregnálást a gyanta metil-etilketonos oldatában végeztük, majd a fürdőből kikerülő üvegszalagot szárítótoronyban előgésztettük.

A szárítózónák hőmérsékletét és a lakk viszkozitását úgy választottuk meg, hogy a szalag áthaladási sebessége kb. 6 m/min, a gyantatartalom max. 30% legyen. Így egy jóminőségű szalagot kaptunk, amelyet a csévlőberendezésen 100—100 m-es hosszban bakelit csévére tekeresztünk. A kész szalagot polietilén zacskóba csomagoltuk, amelyet kartondoboz véd meg a külső sérülésektől. A szalagot csomagolás után hűtőszekrényben tároltuk. Az általunk kikísérletezett szalag minőségi jellemzőit a 7-2. táblázatban foglaltuk össze.

7-2. táblázat

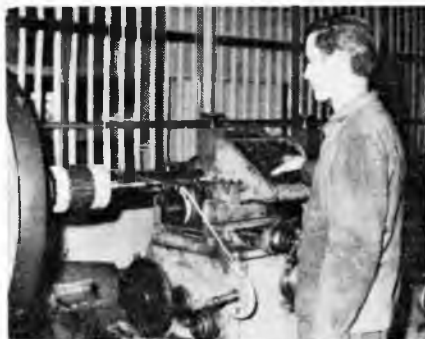
Az EPOBAND szalag jellemzői

Jellemzők	Átlagértékek
Szalagszélesség, mm	15
Szalagvastagság, mm	0,30...0,35
Gyantatartalom, %	26
Kikeményítés 130 °C-on, h	10
Szakítószilárdság, kp/mm <sup>2</sup>	80...100
Hőállóság, °C	150
Tárolhatóság 10 °C alatt	6 hónap

### 3. A szalag feldolgozási technológiája

Egy megfelelően kialakított feszítőberendezés segítségével a 15 mm széles szalagot kb. 60 kp előfeszítéssel tekercesljük a forgórész tekercsfejeire. A tekercesléshez célszerű a forgórészt előzőleg kemencében szárítani és acélhuzallal összeszorítani. A bandázsolást akár hideg, akár meleg forgórészen el lehet végezni. Meleg forgórész esetében az előfeszítést kisebbre kell beállítani. Ha a bandázsgyűrű széleit sarkosra akarjuk kialakítani, akkor prespáncsikokból kivágott kötegekkel mintegy vályút formálunk a forgórész tekercsfején, és ebbe alsó réteggként impregnált üvegselyem csíkot helyezünk. Ezután a bandázsszalag egy-két menetének feltekerceslésével a szalag kezdetét megszorítjuk, majd feltekercesljük a kiszámított menetszámot

(7-3. ábra). Az utolsó menetek feltekerése előtt az üvegselyem széleit bevagdossuk és visszahajtva a maradék bandázsmenetekkel elszorítjuk, tetejét elfedjük. A bandázsszalag végét villamos vagy gázpárával a felületre sűtjük. Ha sima külső felületet akarunk, alumínium vagy tereftalát fóliát tekerceselünk az elkészült bandázsgyűrűre és szalaggal leszorítjuk. Ezután a forgórészt 130 °C-on keményítjük, majd a védőfóliát eltávolítjuk.



7-3. ábra. Villamos motor forgórésze tekerceselés közben

#### 4. Vizsgálati eredmények

Az üvegszál erősítésű tekerceselőanyagok szilárdsági értékeinek összehasonlítására többféle eljárás ismeretes. Ezek közül választottuk ki az egyik jellemző adatot mérő eljárást, az ún. NOL-RING testet, amelyhez egy megfelelően kialakított szerszámban 6—10 rétegből álló gyűrűt készítünk. A gyűrűt szakítógépen félhenger profilú befogószerkezet segítségével elszakítjuk. (7-4. ábra.) A szakítóerőből kis gyűrűvastagság esetén kiszámíthatjuk az anyag szakítószilárdságát. Az eredmények természetesen nem hasonlíthatók össze a különféle gyártmányismertető adataival, ezért tájékoztatásul a 7-3. táblázatban a Polyglas szalag mérési eredményeit is közöljük.



7-4. ábra. Gyűrűk és befogószerkezet NOL-RING testhez

Az előző vizsgálaton kívül VEB Bergmann Borsig laboratóriumában hajlítószilárdsági méréseket is végeztek az általunk készített anyagból. Irodalmi adatok szerint az átlagos hajlítószilárdság szobahőmérsékleten az üvegfonallal erősített műanyagoknál 2200 kp/cm<sup>2</sup>. Az általunk rendelkezésre bocsátott mintákon 2300 kp/cm<sup>2</sup> átlagos hajlítószilárdságot mértek.

A felhasználóknak természetesen egyszerűbb és megbízhatóbb az egy réteg szakításához szükséges erő ismerete. Ez 15 mm-es szalagszélesség esetén átlagosan 350 kp volt. Méretezéskor az igénybevételtől függően (3...6)-szoros biztonsággal kell számolni.

## NOL-RING test mérési eredmények

Üvegszál	Gyanta- összetétel	Szakítóerő egy rétegre kp	Szakítószilárdság teljes keresztmetszetre kp/mm <sup>2</sup>
Polyglas	130,01	370	110
ES-10-400-0-60	Araldit F + CY 208	380	76
Stratifil ES-10-400-0-60	Araldit F + CY 208	380	80
533-60-400/G	Araldit F + CY 208	360	86
534-30-400/G	LY 558	420	86
1134-15-400/G	LY 558	350	90*
1134-15-400/G	LY 558	320	85**

\* Az összetétel azonos a jelenleg használt kombinációkkal

\*\* 1 hetes 155 °C-os öregítés után

Új forgórész bandázsolásához a szükséges menetszámot a következőképpen állapíthatjuk meg:

$$W = \frac{Fb}{d\sigma_{fajl}}$$

ahol  $W$  a szükséges menetszám;

$F$  a forgásnál fellépő erő, kp;

$b$  a biztonsági tényező (3...6);

$d$  a bandázsszalag névleges szélessége, mm;

$\sigma_{fajl}$  a bandázsszalag egy rétegének fajlagos szakítóereje, kg/mm × menetszám.

A forgáskor fellépő erő:

$$F = \frac{Prn^2}{5,6 \cdot 10^6}$$

ahol  $F$  a tekercsfej súlya, kp;

$r$  a tengelyközéptől mért max. távolság, mm;

$n$  a max. fordulatszám, 1/min.

$\sigma$  fajlagos értéke a mérési eredmények alapján 20...22 kp/mm × menet ( $\sigma_{fajl} 15 = 300$  kp/menet).

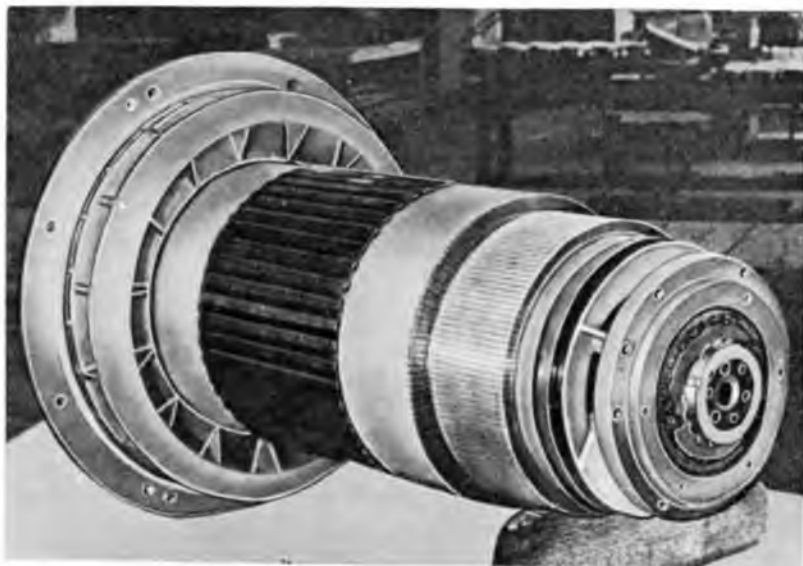
Ha acélbandázsszalaggal tekercselte forgórészt javításkor üvegbandázsszalaggal tekercselünk, akkor a következők szerint számítjuk ki a szükséges menetszámot. Az acélhuzal szakítószilárdságának és a menetek számának szorzata megadja az  $F$  erőt. Ha ezt az értéket elosztjuk az üvegbandázsszalag szélességéhez tartozó szakítóerővel, megkapjuk a szükséges rétegszámot. Ebben az esetben a biztonsági tényező megegyezik az acélbandázsnál alkalmazott biztonsági tényezővel.

## 5. Felhasználási területek

A hazai villamosgépgyárak az import szalagot magas ára miatt csak különleges gépekhez alkalmazzák. Így a Ganz Villamosági Művekben az SW és TC típusú traktációs motorokhoz, FB típusú hajtómotorokhoz, periódusváltó motorokhoz, az Egyesült Villamosgépgyárban nagy darumotorokhoz, hegesztőgépekhez, nagy teljesítményű csúszógyűrűs motorokhoz, vasúti hajtómotorokhoz stb. Ezen kívül jelentős felhasználás van a javítóüzemekben is. 1967—68-ban az EVIG-ben már

kb. 100 000 m általunk gyártott EPOBAND szalagot használtak fel különböző motorokhoz, a GVM-ben pedig 8 db TK 44 típusú trakciós motor készült kísérleti jelleggel, amelyek több mint félféve üzemelnek (7-5. ábra).

Természetesen a szalag nemcsak a fenti motorokhoz alkalmazható, hanem minden olyan helyen, ahol azt jelenlegi ára lehetővé teszi, vagy az acélhuzal alkalmazása gyakorlatilag (nagy melegedés, nehézüzemű gépek stb.) nem célszerű. Biztató



7-5. ábra. EPOBAND szalaggal bandázsolt TK-44 forgórész



7-6. ábra. Csomagolt bandázsszalag

kísérletek folynak emellett a transzformátorok gyártásában való felhasználás területén is. Ezenkívül a szalagból az egyre ismertebbé váló száltekercselési eljárással henger- és gömbszimmetrikus üvegszál erősítésű formatestek, tartályok csövek is előállíthatók.

## 6. Összefoglalás

Intézetünkben kifejlesztettünk egy párhuzamos üvegszál vázanyagú műgyantával itatott tekercselőszalagot, amely alkalmas villamos motorok forgórészeinek bandázsolására. A szalag a kísérleti gyártás tapasztalatai alapján elkészített félüzemi berendezésen egyenletes minőségben gyártható.

A kifejlesztés eredményét tekintve reményünk van arra, hogy műszaki és gazdasági előnyei folytán egyrészt kiszorítja az import szalagokat, másrészt több helyen az acélhuzalbandázst is a hazai villamosgép-gyártásból. A jelenlegi igény kb. évi 300 000 fm szalag, amelyet a meglévő berendezéseink bővítésével, intézetünk félüzemében ki tudunk elégíteni.

### Irodalom

- [1] SIB gyártmányismertetője. Polyglas Wickelband 130.001.
- [2] CIBA Prüfmethode **119, 120**.
- [3] *Christie, S. A.*: Epoxy Resins for Dry Filament Winding IV. Int. Reinf. Plast. Conf. London, 1964.
- [4] *Kuhn, W.*: Prüfmethode für glasfaserstärke Epoxidharze. Kunststoffe **54** Heft 12. S. 754—758.
- [5] *Grove, C. S.*: Filament Winding. Int. Publis. John Wiley and Sons, Inc, New York.
- [6] VKI zárójelentés 066-11/13. sz. téma, 1967.
- [7] Korszerű villamosszigetelő anyagok célprogram előkészítő tanulmány. VKI 1967.
- [8] VEB Bergmann-Borsig Bericht **8/68**.



VILLAMOS  
BERENDEZÉS  
FŐOSZTÁLY



# 8.

## A VKI Villamos Berendezés Főosztályának munkássága

DR. GÁDOR LÁSZLÓ

### 1. Bevezetés

Az utca embere nem örül az ún. „történelmi időknek”: mindig történik valami, mindig készenlétben kell lenni, tele van a világ meglepetésekkel, amelyekre még csak fel sem lehet tisztességesen készülni. A technikus ember és még inkább ezeknek a műszaki—tudományos történelem alakulásáért elsősorban felelős csapata, a kutató és fejlesztő gárda viszont ilyenkor van elemében: minden forr, pezseg, nap mint nap valami új dolgot találnak ki, minden tele van új lehetőségekkel.

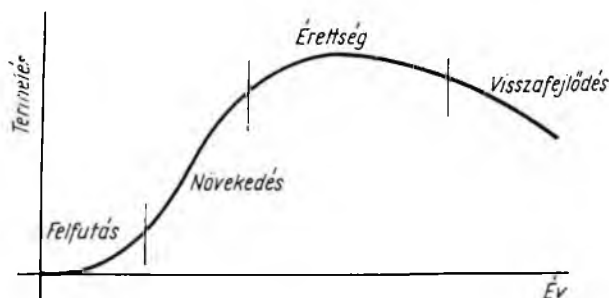
A VKI fennállásának az első két évtizede az egész tudomány és technika, de szűkebb szakmánk, az erősáramú elektrotechnika szempontjából is minden bizonynyal „történelmi időknek” minősítendő. A félvezető technika és az erősáramú elektronika benyomulása valósággal forradalmasította ezt a területet és a fejlődés talán csak azzal a századforduló táji lendülettel hasonlítható össze, amely a háromfázisú váltakozóáramú energiaátvitelt, a transzformátort és az aszinkron motort adta az emberiségnek.

Mi jellemzi ezt a forradalmi átalakulást eszközeiben, módszereiben, eredményeiben? A félvezető technika eszközei a forgógépekben, tekercekekben, vasmagokban lejátszódó elektromágneses jelenségek egy nagy csoportját vékony kristályrétegekben lejátszódó folyamatokkal helyettesítik, ahol azok mozgó alkatrészek nélkül, kis térfogatban, jó hatásfokkal és jól irányíthatóan valósulnak meg. Ezeket az eszközöket nagy megbízhatóság, gazdaságosság, kis helyigény jellemzi.

A félvezető elemek felépítése és kicsiny volta teremtette meg a lehetőséget összetett áramkörök egységes megszerkesztésére és tömeggyártására. Ez a tendencia napjainkban az integrált áramkörök kialakításában ért el magas fejlődési fokot. A komplex áramkörök forgalomba hozatala nemcsak nagy megbízhatóságot biztosít a készülékeknek és berendezéseknek, hanem a szerkesztési munkát is lényegesen leegyszerűsíti. A blokkvázlat az integrált áramkörökkel felépített kapcsolásokban valósággal testet ölt és a szerkesztő munkáját a kész kockák összerakására redukálja. A berendezések létrehozása differenciáltabb munkafajtákra hullik szét, előtérbe lép a rendszertervezés mint önálló feladat.

Ismeretes, hogy a műszaki fejlődés meghatározott fázisokon fut keresztül, nagyjából a 8-1. ábra menetének megfelelően. Az erősáramú elektronika ma a növekedés stádiumában van. De már egy ilyen viszonylag szűk időintervallumon belül, mint Intézetünk fennállásának két évtizede, megfigyelhető a növekedő tendencián belüli differenciálódás, bizonyos félvezető elemek máris elavulttá váltak. Így a germánium alapanyagú félvezető-elemek gyártása csökkenőben van, a szilícium alapúak fokozatosan kiszorítják azokat. Az „Electronics” folyóirat előrejelzése szerint az 1966—70 időszakban a Ge tranzisztorok termelése előreláthatólag 35%-kal, a Ge diódáké 30%-kal esik vissza, míg az azonos időszakban a Si tranzisztorok termelése 32%-kal emelkedik, a Si diódáké 30%-kal. Még gyorsabban emelkedik a tirisztorok

termelése, mintegy 60%-kal. Egészen meredeken növekszik az erősáramú technikában egyelőre nem használt térhatású tranzistorok termelése. Erőteljes fejlődést ígér az integrált áramkörök gyártása, amelyből az időszak végére mintegy négyszeres termelés várható a jelenlegihez mérten. A gyártás felfutása, a verseny, a technológia



8-1. ábra. Egy adott termék termelésének alakulása az idő függvényében

tökéletesedése és az újdonság megszűnése az árat addigra valószínűleg a jelenleginek talán a tizedére viheti le, ami lehetővé fogja tenni, hogy integrált áramköröket ne csak űrhajókban és számítógépekben, hanem ipari berendezésekben is elterjedtebben alkalmazzanak. Az ipar itt mindenestre haszonélvezője lesz annak a fejlődésnek, amelyet az űrtechnika, az adatfeldolgozás és a híradástechnika lendít előre.

Az új technikának természetesen az alaptudománya is megújodott. Míg az idősebb mérnökgeneráció még a Maxwell-féle elméleti elektrotechnikán és a differenciálegyenleteken nevelkedett fel, mai technikánk tudományos alapjai a hagyományosokon túlmenően a szilárdtest-fizika, gázok és folyadékok fizikája, plazmafizika, információelmélet, kibernetika, irányításelmélet, Boole-algebra, operátorszámítás és mátrixegyenletek.

Elmosódtak a határok a szomszédos műszaki területek között, mint mérés-technika, híradástechnika, erősáramú technika. Bővült az alkalmazási kör és a technológiák mélyebb megértésén keresztül itt is szorosabbá vált a kapcsolat: gép-  
ipar, kohászat, vegyipar, közlekedés, energetika, élelmiszeripar. Az erősáramú technika erre a változatos, sokrétű felhasználási területre a sajátos energiaellátás és automatizálás révén hatolt be.

## 2. A Villamos Berendezés Főosztály fejlődése

A műszaki fejlődés annyira meggyorsult, hogy egy vállalat, még ha pillanatnyilag kielégítő felkészültséggel rendelkezik is, nem láthatja biztosítottan a jövőjét. A versenyképesség fenntartásának nélkülözhetetlen feltétele a kutatás. Ennek a felismerésnek népgazdasági szintű konzekvenciáit vonta le a kormányzat két évtizeddel ezelőtt az országos kutatási hálózat létrehozásával.

A Villamos Berendezés Főosztály történetének és 20 éves tevékenységének a megírásakor nem szeretném megismételni a 15 éves évforduló alkalmával már egyszer elmondottakat, ezért a fejlődés általános jellemzéséhez csak az utolsó öt év kiemelkedő eredményeit fűzöm hozzá.

Feltehetné valaki a kérdést, hogy beszélhetünk-e egy olyan kutató részleg húszéves történetéről, amely húsz évvel ezelőtt még nem is létezett. Az akkor még csak néhány fővel megalakult intézet természetesen távol állt mai szervezeti tagoltságától, mégis egy-egy ember és egy-egy téma már magában hordta a mai szervezeti egységek és témakörök csíráját. Amit akkor egy ember végzett, az azóta osztállyá terebélye-

sedett, s az osztályok újabb osztályokká hasadtak szét, egyes témakörök önállósultak és leváltak. Így vált önállóvá és hasadt le külön főosztály formájában a villamos készülékek és vizsgálatok témaköre, így alakult önálló osztállyá a műszer- és mérés-technika, valamint a mágneses mérések kutatásával foglalkozó részleg.

A bevezetőben leírt „történelmi idők” gyökeresen átformálták a főosztály tematikáját is. Háttérbe szorultak a hagyományos területek: a forgógépek, transzformátorok, higanykatódos egyenirányítók és helyüket elfoglalta a diadalmasan előretörő ipari elektronika.

A kibontakozó kutatóapparátusnak kettős nehézséggel kellett megbirkóznia: saját növekedésének a problémáival és ugyanakkor felzárkózni egy olyan nemzetközi mezőnyhöz, amelyben az ipari nagyhatalmak bőkezűen dotált, kitűnően felszerelt, nagy létszámú kutatólaboratóriumai diktálják az előrelépés ütemét.

Történetünk két évtizedének az első feléideje jobbára az első nehézség leküzdésének a jegyében telt el. Ezt a korszakot bizonyos tétovázás, útkeresés, sokszor a saját kárunkon való okulás, az eredményes kutatómunka technikájának az elsajátítása jellemezte. Bár e korszak sem volt szegény iparilag hasznosítható, a műszaki fejlődést sikeresen szolgáló és gazdaságilag is jól fizető eredményekben, ennél talán még többre értékelhető annak a kutató potenciálnak a kibontakozása, amely ma a bel- és külföldi helyzet alapos ismeretében, jó elméleti és gyakorlati felkészültséggel az iparban felmerülő legváltozatosabb problémákban állást tud foglalni, javaslatot tud tenni a korszerű megoldásra és azt tervekben és kivitelben egyaránt meg is tudja valósítani.

A második tíz esztendő a félvezetőtechnika jegyében telt el, főosztályunk feladata a félvezetők erősáramú ipari alkalmazásával kapcsolatos kutatások végzése. Ez a feladatkör minden más tevékenységet háttérbe szorított. Tehette is, mert egyrészt a félvezetőtechnika meredek felfutása és kutatásigényessége minden erőt lekötött, másrészt a félvezetők sokoldalú alkalmazhatósága a korábban más eszközökkel megoldható feladatokat is ebbe a témakörbe utalta.

A szorító igényekkel a személyzet felfutása alig tudott lépést tartani, miközben néhány tíz főről a mai 120 fő körüli létszámra emelkedett.

A méretek növekedtével a korábbi családias együttes óhatatlanul egy szervezetesebb felépítésnek adott helyet, annak minden előnyével és hátrányával. A nagyobb szervezettségben rejlő ésszerű munkamegosztás lehetőségeit primitív okok miatt nem tudtuk kiaknázni. Előítéletek és létszámkorlátozások akadályozták az adminisztratív vonal megerősítését és segédmunkások felvételét. Mindenki egy fokkal a képzettsége alatt dolgozott, a segédmunkások munkáját kvalifikált műszerészek végezték, a kutatók maguk adminisztráltak. Ennek az állapotnak az örökségét még mindig cipeljük magunkkal, mégis a gazdaságirányítási rendszer megváltozása nyújtotta nagyobb szabadság reményét ad e helyzet megváltoztatására.

A kutató potenciál megerősödése, a nagyobb szakmai presztízs és a már korábban elért eredmények alapján megnyilvánuló bizalom jele képpen egyre nagyobb jelentőségű és bonyolultabb feladatokkal jelentkeznek megbízóink. Ezek sikeres megoldása parancsolóan írja elő a csoportmunka (team-work) meghonosítását és a kutatóosztályok közötti erőteljes együttműködés kiépítését.

A kutatómunka ilyenfajta szerveződése világjelenség, de meg kell mondani, hogy érvényesülésével szemben igen jelentős ellenerők működnek. Az osztályokban megnyilvánulni egy autarchiás zártásra irányuló törekvés, amely a teljes vertikális kiépítése mellett és a kooperáció ellen hat. Ez az ipari kutatásban talán még kevésbé engedhető meg, mint az alapkutatásban. Ritka, kiváltságos tulajdonság, hogy valaki hajlandó legyen a mások gondolatának a helyességét elismerni és annak segíteni.

Be kell látni, hogy a csoportmunka nem konformizmus: az eredmények leg hamarabb a nyílt, szabad vitában születnek meg, a közös cél iránti lelkesedés termé- keny légkörében. Az eredményes együttműködés nem tűr meg egyéni presztízs-szem- pontokat, személyes hiúságot, szakmai féltékenységet, akár az anyagi, akár a dicső- ségben való érvényesülés irányában.

Az ésszerű és differenciált munkamegosztás és a zárt, vertikálisan szervezett kutatóosztályok szempontjainak a harcában ingadozik a szerkesztés és a műhely szervezete a teljes központosítás és a teljes decentralizáció között.

Az igazság valahol középben van: az ilyenfajta kiszolgáló tevékenységeknek van egy kutatóközeli, kiforratlan része, amely jobb, ha közvetlenül a témafelelős ellen- őrzése alatt áll és van egy termelési közeli, szabatosabban dokumentálható része, amely gazdaságosabban oldható meg önálló, központosított szervezetben.

### 3. Néhány tudománypolitikai szempont

Valahol olvastam, hogy a pénz elherdálásának három módja van: az ital, a nők és a kutatás. És ebből kielégülést csak az első kettő ad.

Amióta kapcsolatban vagyok a kutatással, visszatérő probléma a kutatás gaz- daságosságának kérdése. Érthető, hogy az az állami szerv, amely milliárdokat fordít a kutatások támogatására, meg akar győződni arról, hogy a pénzt nem az ablakon szórják ki.

A nemzetközi gyakorlat megnyugtató példákat szolgáltat annak igazolására, hogy kutatni nem rossz üzlet, hiszen a vezető ipari országok nemzeti jövedelmük jókora részét fordítják évtizedek óta a kutatómunka fenntartására és ez a ráta az évek során inkább növekszik, mint csökken.

Ugyanakkor, amikor a kutatás egészében szinte nyilvánvalóan rentábilis vállal- kozás, nem mondható ez el feltétlenül minden egyes témáról. Akkor hát kutassuk csak azokat a témákat — mondhatná az, aki a pénzeszsákon ül —, amelyek ön- magukban is kifizetődők. Sajnos nincs olyan személy, aki ezt előre megmondja. Ha csak biztosra megyünk: ekkorra és ekkorra ez és ez legyen meg, s hozzon ennyit meg ennyit, különben nincs pénz — akkor nem is lesz semmire és ez a kutatás halála.

Az amerikai *L. Rodger* 54 olyan új gondolat sorsát nyomonza végig, amelyek az előzetes piackutatás pozitív véleményezése alapján alkalmasnak mutatkoztak a kidolgozásra. A vizsgálat eredménye lesújtó volt: mindössze egyetlen gondolat jutott el a rentábilis végtermékig. Ez azt mutatja, hogy a kutatás hatékonysága darabszám szerint mérve a 2%-ot sem éri el. A következtetés ebből azonban nem az, hogy nem érdemes kutatni, hanem az, hogy már a 2%-os hatékonyság elég arra, hogy a kutatás egészében véve kifizetődjék.

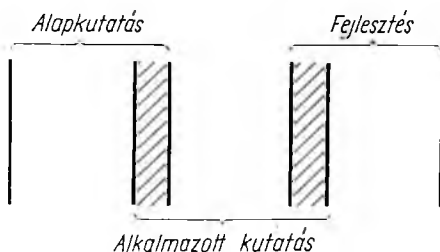
Az elmúlt években a „mutatók” bővületében éltünk és külön kutatás tárgya volt azoknak a mutatóknak a kidolgozása, amelyek tükrében megjelenik a műszaki- tudományos kutatómunka — lehetőleg témánkénti — számonkérhető gazdaságos- sága.

Napjainkat az új gazdaságirányítási rendszer szellemében fogant rentabilitási törekvések jellemzik e tekintetben. Az ipari kutatás ipari jellegét a vállalati forma is hangsúlyozza.

A finanszírozás szerződéses módja a kutatást vállalati megrendelésektől tette függővé. Ez a függőség teljessé vált azért, hogy az országos irányító szervek, a tárca és az OMF is olyan témák kutatásához járul hozzá, amelyek költségeinek fedezésében az érdekelt vállalat is részt vállal. Mindez a kutatás jellegét a prakti-

cizmus irányába tolja el, biztosra megyünk: előírt határidő, előírt műszaki eredmény, előírt nyereség.

Az alkalmazott kutatás közbenső helyet foglal el az alapkutatás és a fejlesztés között. Célja, hogy a tudományos ismeretek módszeres felhasználásával hasznos anyagokat, készülékeket, berendezéseket vagy módszereket hozzon létre, beleértve prototípusok és gyártási eljárások megtervezését és kifejlesztését. Ez a közbenső hely átlapolással illeszkedik társai közé, amint ezt a 8-2. ábra érzékelteti. A gazdaságpolitikai, gazdaságirányítási és finanszírozási rendszer beleszól az ipari kutatás ilyenforma elhelyezkedésébe. Míg korábban a költségvetési keretből élő kutatás inkább az alapkutatás irányában mozgott el, ma erőteljes eltolódás észlelhető a fejlesztés irányába, néha még azon is túl, egészen a konkrét termék kissorozatú előállításáig.



8-2. ábra. Az alkalmazott kutatás elhelyezkedése az alapkutatás és a fejlesztés között

Míg korábban a gondolatból indultunk ki és abból haladtunk előre a megvalósulás felé, ma az óhajtott késztermékből indulunk ki és abból megyünk vissza, sajnos nem nagyon messzire, inkább csak a fejlesztésig vagy a tervezésig.

A társadalom és a gazdasági élet sok tekintetben önszabályozó rendszer. Egy új mechanizmusra való áttérés kilendíti azt korábbi stationer állapotából és sokszor túllendülés tapasztalható, mielőtt a rendszer elfoglalja új állandósult állapotát. Reméljük, hogy az ipari kutatás a jelenleginél kedvezőbb állapotában fog stabilizálódni, az őt megillető közbenső helyen az alapkutatás és a fejlesztés között.

A mai helyzet a témaválasztás gondját csaknem teljesen leveszi a kutató válláról, s azt más gondokkal cseréli fel. A kutató ma nem a nemzetközi szakirodalmat tanulmányozza, nem a műszaki fejlődés tendenciáit igyekszik kitapintani, hanem üzletszerzéssel foglalkozik.

Lehet, hogy korábbi témaválasztásaink nem minden tekintetben feleltek meg országunk gazdasági és társadalmi adottságainak. Kétségkívül hajlunk a perfekcionizmusra: nem szolgai módon átvenni a külföldi eredményeket, hanem azokat felhasználva valami jobbat szeretnénk csinálni. És még egy: a semmiből megteremtett kutatás az újszülött mohóságával vetette rá magát az egész szakterületre és csak hosszabb idő után sikerült a témák túl bő választékát a realitások szabta korlátok közé szorítani.

Területünkön a licencvásárlás nem tudott komoly gyökeret verni, bár sok prókátora volt a gondolatnak. Licenciának főleg a nagy sorozatnál van tere, s az ipari elektronikában jelenleg uralkodó az egyedi gyártmány és a kis sorozat. Szerény volumenű iparunk a nemzetközi piac végeleáthatatlan választékát nem tudja előállítani, s kutatásunknak is ehhez kell igazodnia. Minden téren nem érhetünk el kimagasló eredményeket, de néhány ponton el kell azt érnnünk, hogy az ebből kitermelt szellemi devizáért megvásárolhassuk a többit és fenntartsuk azt a műszaki kultúrát, amely az átvett eredmények hatékony felhasználásának is feltétele.

Az ipari kutatásnak általában két alapvető feladata van: a meglévő termékek továbbfejlesztése az általános műszaki haladással lépést tartva és újfajta termékek kidolgozása. Az első kategóriára példaként szolgálhat a hidraulikus-elektronikus ívkemence-szabályozó, amelynek korábbi, tirátronsövekkel működő kiviteléből

a rendelkezésre álló korszerű technikai eszközök felhasználásával létrehoztuk ennek továbbfejlesztett tirisztoros változatát.

Új, elődök nélküli eredményre pedig példa lehet a félvezetős inverter.

Kutatásaink kezdeti korszakát az új termékre való törekvés jellemezte. Mai realisabb szemléletünk bővebb teret biztosít a továbbfejlesztő munkának. Ennek a sok apró munkát igénylő, a fantáziát kevésbé lelkesítő kutatáspolitikának a lehetőségeit és a szükségességét is fel kellett ismernünk. Kutatási eredményeink az ilyen szinttartó kutatások nélkül pillanatok alatt elavulnak, s a konkurens termékek versengésében kiszorulnak a piacról.

Amitől most joggal tarthatunk, az a másik véglet: a jövőt és a fejlődést szolgáló újszerű témákkal szükségszerűen együttjáró kockázatért senki nem vállalja a felelőséget s a kutató intézet nem tőkeerős vállalkozás, amely ezt maga megtehetné.

#### 4. Az utolsó öt év jelentős eredményei

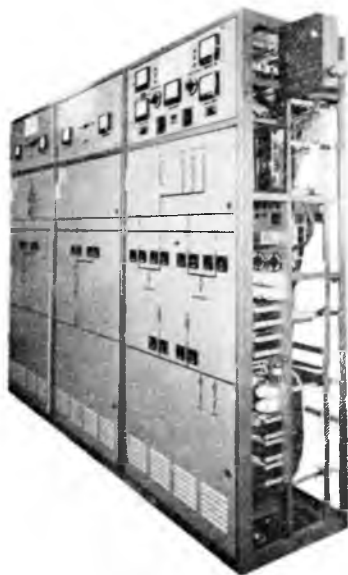
Amint már korábban említettük, a Villamos Berendezés Főosztály utóbbi öt esztendejének a tevékenysége a félvezető technika eredményeinek az erősáramú alkalmazására összpontosult. E fogalmilag tömören az ipari elektronika címszavával összefogható studium a valóságban rendkívül szerteágazó, az ipar, a közlekedés és a mindennapi élet újszólván egész területét átítató műszaki megoldások gazdag sokféleségében realizálódik.

##### 4.1 Nagy teljesítményű egyenirányítók

A villamos energia előállítása és átvitele váltakozóáram formájában történik, a felhasználás területén azonban egyre több az egyenáram iránti igény. Egyenáramú technológiákkal dolgozik a fémkohászat, a vegyipar, egyenáramú motorok hajtják vasúti és közúti járműveinket, egyenáramú motorokkal tudjuk megvalósítani az igényesebb szabályozott ipari hajtásokat, egyenáramra van szükségünk minden olyan helyen, ahol puffertelepekkel kell együtt dolgozni.

A félvezető diódák és tirisztorok megjelenése bizonyos könnyedséggel és jó hatásfokkal teszi lehetővé az áramnemek egymásba való átalakítását, egyenirányítók, váltóirányítók, frekvenciaátalakítók létrehozását. A gazdaságos üzemű, nagy megbízhatóságú félvezető egyenirányítók bevezetése új lendületet adott az egyenáramú fogyasztók elterjedésének és rekonstrukciók során a már meglévő fogyasztók elavult áramforrásait is szívesen cseréli fel az üzemeltető korszerű félvezetős berendezésekre.

A járművek hajtására az ideális eszköz ma is a soros gerjesztésű egyenáramú motor. A közúti villamos vasutak, elővárosi vasutak, trolibuszok, bányavasutak, földalatti vasutak és ipari vasutak áramellátása ezért csaknem kizárólag egyenáramú.



8-3. ábra. ATSZK 100/2000  
telefonközpont automatikus  
akkumulátortöltője



Az egyenáramot a váltakozóáramú hálózatról az átalakító állomásokon elhelyezett egyenirányítók állítják elő, s az a munkavezetékeken jut el a járművekhez.

Az átalakítás hagyományos eszközei a motor-generátor gépcsoport, az egyarmatúrás átalakító és a higanykatódos egyenirányító. A leggazdaságosabb megoldást minél több, kisteljesítményű, jó hatásfokú átalakító elhelyezése nyújtaná. A tényleges hálózat azonban viszonylag nagy, központi áramátalakító állomásokra támaszkodik, mert a hagyományos átalakító típusok alkalmazása nem kedvezett a decentralizációnak. Ellene szólt ennek az állandó felügyelet igénye és a gazdaságosan megvalósítható viszonylag nagy egységteljesítmények.

Az új szilíciumegyenirányító típusát úgy kellett kialakítani, hogy alkalmas legyen egyrészt felügyelet nélküli, távvezérelt állomásokra való beépítésre, másrészt a meglévő alállomásokon a korábbi átalakító típusok felváltására. Ezek közül elsőként a legelavultabbak, a motor-generátorok kerülnek sorra.

A helyes egységteljesítmény megválasztása nem volt könnyű feladat. A teljesítmény alsó határát az szabja meg, hogy egyetlen vonal táplálásakor fellépő indítóáramot az egyenirányító egységeknek lekapcsolás nélkül kell szolgáltatnia. A felső határt a decentralizált kis alállomásoknak az átalakítási és elosztási veszteségek optimum-számításából meghatározható teljesítménye szabja meg.

A VBKM Anód gyáregysége az intézeti eredményekre támaszkodva 1964 óta gyártja sorozatban a közúti villamos számára a 660 V-os, 1400 A-es és 1966 óta a földalatti vasút számára a 825 V-os, 1800 A-es egyenirányítókat.

Legújabb nagyvasúti mozdonytípusunk képes az egyenirányítót önmagán hordani és így egyesíti a váltakozó áramú villamos-energiaátvitel és a soros egyenáramú hajtómotor előnyeit. A korszerű nagyvasúti villamos mozdonyok energiaellátását illetően szerte a világon mind nagyobb területet hódít az ipari frekvenciájú, egyfázisú váltakozó áramú táplálási rendszer, amelynek felülmúlhatatlan előnyét a váltakozóáram egyszerű átalakíthatósága és sok más kedvező tulajdonságán kívül az is biztosítja, hogy szerencsésen csatlakozik az országot behálózó energiaátviteli rendszerhez. Hazánkban e megoldás általános elterjedéséhez jól előkészítette a talajt Kandó Kálmán világviszonylatban is úttörő kezdeményezésű rendszere.

Az energiaátalakítás legkedvezőbb módjának a kialakítására folyó próbálkozásokba Intézetünk korán bekapcsolódott. A Ward—Leonard-rendszerű mozdonyhoz készített transzduktoros gerjesztés-szabályozó biztosította a hajtó szinkronmotor optimális gerjesztését. Egy fémgignitron egyenirányító 600 LE-s motorkocsi tervei a modellkísérletig jutottak.

1963-ban kormányzati döntés született arra vonatkozóan, hogy külföldről vásárolt licencia alapján Si-egyenirányító mozdonytípust honosítunk meg, belföldi gyártmányú és célszerűen itt kifejlesztett berendezések, készülékek és elemek felhasználásával. A ma már sorozatban gyártott mozdonyoknak intézetünkben kifejlesztett, hazai elemekkel felépített fő- és segédüzemi egyenirányítóinak, az ezek védelmét szolgáló elektronikus zárlatvédelmi berendezéseknek és túlfeszültség-levezetőknek kutatómunkái élénken illusztrálják azt a gyakran hangoztatott tételt, hogy még a licenciaátvétel kapcsán megindított hazai gyártás is milyen jelentős mérvű kutatásokat igényel, s e kutatásokból mennyi eredeti, szabadalomképes eredmény születhet.

Az elektrokémiai üzemek, így elsősorban az alumínium, cink, klór és hidrogén előállító elektrolizáló berendezések a legnagyobb egyenáramú villamosenergia-fogyasztók közé tartoznak. Ezek a berendezések 50...800 V feszültségen 3...200 kA egyenáramot igényelnek. Amint a teljesítményadatokból is azonnal nyilvánvaló, itt a hatásfok döntő szerepet játszik. Különösen áll ez olyan energiában szegény

országban, mint hazánk is. A magas villamosenergia-árak mellett néhány százalékos hatásfokjavulás eredményeképpen az új, korszerűbb, egyenáramot előállító berendezés létesítési költsége néhány év alatt visszatérül.

Az egyenirányító berendezés megtervezése során egy sor kényes követelményt kell kielégíteni: a technológia a beállított áramerősség  $\pm 1\%$ -os pontosságú tartását kívánja meg, a hálózat szempontjából fontos a jó teljesítménytényező és a kis felharmonikus-tartalom, az üzem jellegénél fogva rendkívül igényes a berendezés üzembiztonságára. Intézetünk és a VBKM 2. sz. Anód Áramirányítógyáranak közös fejlesztésében elkészült több 80...110 V-os, 2...3 kA-es, mágneses erősítővel vezérelt hidrogénelektrolízist tápláló egyenirányító berendezés. Közelmúltban fejlődtek be az Intézet pestújhelyi próbatermében a VBKM Fejlesztő Intézetével közösen kidolgozott nagy teljesítményű vízhűtésű berendezés mérései.

Az egyenirányítók kutatási feladatai a felsoroltakkal természetesen távolról sem merülnek ki. Intézetünk közreműködött az Anód Áramirányítógyárban 1963 óta sorozatban gyártott KTA akkumulátortöltő típusorozat kifejlesztésében, a BHG-ban sorozatban gyártott telefonközpont tápberendezés kialakításában, a GVM részére gerjesztő-egyenirányítót tervezett egy 150 MW-os turbogenerátorhoz és folytathatnánk még a sort. A félvezető technika nemcsak az egyenirányítás főfeladatának a megoldásához biztosítja a korszerű eszközöket, hanem a berendezések üzemét a legváltozatosabb működésbeli feltételekhez illesztő szabályozási, vezérlési, védelmi és üzembiztonsági feladatokhoz is.

#### 4.2 Inverterek

Az az elegancia, amellyel a félvezető eszközök az áramkörökben az áram útját — egy perióduson belül is — meg tudják szabni, tág teret nyitott az áramnemek egymásközi átalakításának. E körben az egyik leggyakoribb feladat, hogy akkumulátortelepben tárolt villamos energiából állítsuk elő a szükséges váltakozó áramú teljesítményt. Szükség van erre akkor, ha a fogyasztórendszer jellegénél fogva nem csatlakozhat a rendes ipari hálózathoz, mint a járművek. Vagy felmerülhet ilyen igény, ha a fogyasztó a hálózat üzemzavara miatt marad áramellátás nélkül. Ez utóbbi esetben lép működésbe a szükségáramforrás, amelyre még a következő fejezetben visszatérünk.

A világítástechnika fejlődésével a közúti és vasúti járművek utasterének megvilágításában sem elégedhetünk meg többé a korábbi színvonallal. Míg tíz évvel ezelőtt a vasúti kocsik fénycsővilágítása még újdonságnak számított, ma már úgyszólván általános követelmény. Ezt fejezi ki lényegében az UIC előírása is, amely szerint a nemzetközi forgalomban használt személykocsikban az utastér meghatározott pontjaiban a megvilágításnak el kell érnie a 150 luxot, ami gazdaságosan gyakorlatilag csak fénycsővilágítással biztosítható.

A fénycsövek fényhasznosítása egyes adatok szerint az izzólámpáknak az ötszörösét is eléri, ami azt jelenti, hogy ugyanolyan megvilágítási szint megvalósításához — még ha a fénycsövek fényének érzéklépszichológiai okokból a mértéknél kisebb szubjektív értékét figyelembe vesszük is — lényegesen kisebb teljesítmény szükséges. A fénycsövek gazdaságos üzemeltetéséhez a váltakozó áramú táplálás a kedvező. Egyenfeszültségű táplálás esetén ugyanis kataforézis lép fel, a higany a katód felé sűrűsödik, ami az anód tájékán kellemetlen feketedést idéz elő. Szokták ezért a polaritást cserélni, vagy különleges egyenfeszültségű fénycsöveket alkalmazni, de az egyenfeszültség alkalmazása a feszültségtartományt 60 V fölé korlátozza, nem is beszélve a gazdaságtalan ohmos előtétvezésről.

Marad tehát a másik út: az akkumulátorról váltóirányítón keresztül biztosítani a váltakozóáramú táplálást. A korábban alkalmazott forgógépes és mozgóérintkezős átalakítókat napjainkban a félvezetős inverterek gyakorlatilag teljesen kiszorítják. A fénycsőinverterek kifejlesztését illetően már öt évvel ezelőtt is jelentős eredményekről számolhattunk be, az akkori technikai eszközök lehetőségei között a 150 Hz-es tranzistoros központi fénycsőinverter és az 50 Hz-es borotvainverter már rendelkezésre állt.

A fejlesztés az azóta bevezetett tirisztorok alkalmazásának az útján vezetett tovább. Úgy látszik, hogy 20...30-nál nagyobb darabszámú 20 W-os fénycső áramellátása esetén a tirisztoros központi inverter nyújtja a leggazdaságosabb megoldást. Az Intézetben kifejlesztett 660 VA teljesítményű központi fénycsőinvertereket és a 60 VA-es borotvainvertereket az EVIG sorozatban gyártja.

### 4.3 Szükségáramforrások

A villamosenergia-elosztó rendszer üzembiztonsága egyre nagyobb lesz, de a száz százalékot valószínűleg soha nem fogja elérni, üzemzavarokra, zárlatokra, átmeneti feszültségkimaradásokra mindig számítanunk kell. A megszámlálhatatlan villamos energiával működő berendezés között sok olyant találunk, amelynél komoly bajok forrása lehet a táphálózat kimaradása. A kórházi műtő, a repülőtéri irányítás vagy a vasúti biztosítóberendezés üzemének rövid megszakadása is emberéletbe kerülhet és súlyos anyagi károkat okozhat. A mikrohullámú közvetítő lánc egyetlen állomásának az üzemzavara az egész, esetleg kontinenseket áthidaló lánc működését megbénítja.

A szükségáramforrás feladata a hálózati üzemzavar hatásának kiküszöbölése valamilyen helyi energiaforrás azonnali beiktatásával. Ha a kiegészítést tartósan kell biztosítani, kis és közepes teljesítményen Diesel- vagy benzinmotoros gépcsoport jöhet tekintetbe. Rövidebb ideig akkumulátortelep tárolt energiája is át tudja venni a kieső hálózat szerepét, természetesen megfelelő forgógépes vagy statikus váltóirányító közbeiktatásával.

Mindkét esetben a gépcsoportra szerelt lendítőtömeg tárolt mechanikai energiája hidalja át az áttéréshez szükséges időt, s így valóban szünetmentesen lehet biztosítani az áttérést a helyi energiaforrásra hálózatkimaradás esetén.

Intézetünk mind a statikus, mind a forgógépes rendszerre dolgozott ki megoldást. A statikus szükségáramforrásról az előző pontban már szoltunk, s a témával a VKI közlemények e kötetében külön cikk is foglalkozik, itt röviden a forgógépes rendszert vázoljuk.

A 30 kW teljesítményt szolgáltató gépcsoport három gépet foglal magában közös tengelyen: egy 30 kVA-es szinkrongenerátort, egy 30 kW-os egyenáramú gépet és egy 40 kW-os aszinkron motort. A rendszerhez tartozik egy nagy kapacitású akkumulátortelep, amelynek a kisütési feszültsége 260 V-tól 165 V-ig változik feltöltöttségi foka függvényében.

A szinkron generátor feladata a  $3 \times 400$  V-os, 50 Hz frekvenciájú szabályozott feszültség szünetmentes szolgáltatása. Az egyenáramú gépnek kettős feladata van. Amikor nem áll rendelkezésre a hálózat, az akkumulátortelepről táplálva motorként hajtja a szinkron generátort. Ha van hálózati feszültség, akkor gondoskodik a telep töltéséről. Ebben az üzemmódban áramkorlátozással kiegészített feszültség-szabályozás biztosítja a legmegfelelőbb töltést. Ilyenkor a szinkron generátort is és az egyenáramú gépet is az aszinkron motor hajtja.

A szabályozóegység sorozatgyártású logikai elemekből épül fel, amelyeket

egyéb berendezéseinkben is szívesen használunk. Sajnos ezek fejlesztése jórészt a híradástechnika és műszeripar érdekkörén belül történik és nem minden tekintetben elégíti ki az erősáramú igényeket. Az intézet kutatói kénytelenek sok olyan automatika elem kutatását és fejlesztését elvégezni, amelyeket más ipari országokban dolgozó szerencsésebb sorstársaik egyszerűen készen megvehetnek.

A forgógépes szükségáramforrással szerzett üzemi tapasztalatok kedvezőek. Megbízhatósága, üzembiztonsága a legkényesebb berendezések táplálására is alkalmassá teszi.

#### 4.4 Vonatvilágítás

A vasúti járművek világítási berendezéseinek áramforrásai kivétel nélkül egyenáramúak és ez a rendszer egyeduralgató maradt annak ellenére, hogy hasonló feladatok megoldására a váltakozó áram használata az általános. Indokolja ezt a jármű önálló, hálózattól független energia ellátása, ami csak energia tárolással kombinálva képzelhető el. Erre legalkalmasabb eszközünk a savas vagy lúgos akkumulátor.

Az akkumulátorok töltésére és a mozgó jármű fogyasztóinak az áramellátására a legutóbbi időkig kizárólagos megoldásként egyenáramú dinamókat használtak. A jármű tengelyéről hajtott dinamótól megkívánjuk, hogy a változó menetsebesség, ill. fordulatszám ellenére is állandó, és a menetiránytól függetlenül azonos polaritású feszültséget szolgáltasson. A feszültség állandóságát általában külön szabályozó, a változatlan polaritást pedig elforgó kefehid biztosítja, amely a kefesúrlódás hatására áll be a menetiránynak megfelelő helyzetbe.

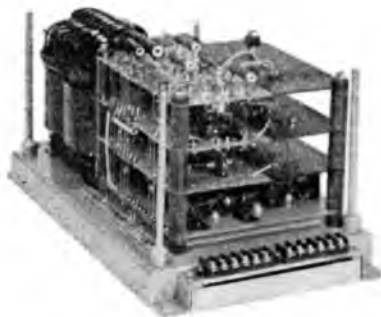
Az egyenáramú dinamó vasútüzemi alkalmazása a nehézségek egész sorozatával jár együtt, amelyeket — jobb megoldás híján — vállalni kellett. Az elforduló kefehid vagy körülményes segédpólus-átkapcsolást tesz szükségessé, vagy el kell hagyni a segédpólusokat. Ez utóbbi súlyosbítja a kommutációs nehézségeket, ami a teljesítményt 5 kW körüli értékre korlátozza. A kommutátorra és a forgórész-tekerelésre ható centrifugális erő és a szénkefék kopása határt szab a forgássebességnek, ami ismét a súlyra vonatkoztatott fajlagos teljesítményre hat vissza kedvezőtlenül. Ismeretes a kommutátoros motorok igényessége a rendszeres karbantartást illetően.

Az utóbbi években a rohamosan fejlődő félvezetőtechnika olyan új megoldásokat tett lehetővé, amelyek gyökeresen új alapokra helyezték a vonatvilágítási rendszer felépítését is.

A műszaki fejlesztés első lépéseként az egyenáramú dinamók korábbi elektro-mechanikus feszültség szabályozóját tranzisztoros feszültség szabályozókkal váltottuk ki. Intézetünk e nemzetközi viszonylatban is úttörő munkájáról már a 15 éves beszámolóban hírt adtunk.

A végleges megoldás további lépést kíván: a vasúti kocsikon és vonatatóeszközökön az egyenáramú dinamók ideje lejárt. A korszerű vagonvilágítási áramfejlesztőgép a félvezető egyenirányítóval kiegészített váltakozóáramú generátor.

Már a szokásos felépítésű szinkron generátornak is lényeges előnyei vannak az egyenáramú dinamóval szemben. Nincs kommutátor, csak csúszógyűrű, így elmaradnak a kommutációs nehézségek; nincs szükség csapágyazott, elforduló kefehidra, mert az egyenirányító ki-



8-4. ábra. Feszültség szabályozó váltakozóáramú vonatvilágítási generátorhoz

menő kapcsain a polaritás független a generátor forgásirányától; a szénkefék nem a főáramkörben, hanem a gerjesztőkörben futnak, a kisebb szénkefétől a sima csúszógyűrűn sokkal kevesebb szénpor keletkezik.

A vasúti járművek részére azonban olyan különleges kivitelű generátorok születtek, amelyek forgórésze tekerceletlen és csúszógyűrűi egyáltalán nincsenek. A centrifugális erő okozta problémák megszüntével tág lehetőség nyílt a fordulatszám növelésére és ezzel a töltőgenerátor súlyának csökkentésére.

Az Egyesült Villamosgépgyár váltakozóáramú töltőgenerátora kefe nélküli, tekerceletlen forgórésszel készült heteropoláris körmöspólusú háromfázisú szinkrongenerátor, amelynek gerjesztőtekercei a pajzson helyezkednek el. Ez a generátor a hozzákapcsolt egyenirányítóval együtt kommutátor és kefe nélküli egyenáramú áramforrás.

Intézetünk ezt a körmöspólusú generátort teljes vagonvilágítási áramfejlesztő rendszerre egészítette ki, a hozzá kifejlesztett egyenirányítóval, szabályozóval, nemlineáris előtéttel, fénycsőinverterrel és borotva inverterrel. Az első kísérleti példány üzembe helyezése 1965-ben történt meg, sorozatgyártása az EVIG-ben folyik.

#### 4.5 Hajtás-szabályozások

Amióta a villamos motort feltalálták, villamos hajtás is létezik, hiszen a motor feladata minden esetben valamiféle munkagép vagy berendezés hajtása. A villamos hajtások fejlődése világosan tükrözi, hogy az igények fokozódásával hogyan tart szüntelen fejlődésben lépést az egyre újabb és újabb technikai eszközök felhasználásán alapuló megoldások korszerűsödése. Mint ahogyan a hadi tudományokban a támadó fegyverek fejlődése kikényszeríti a védekező fegyverek tökéletesítését.

A technológiák finomodásával nőnek az igények a fordulatszám-szabályozás pontossága és gyorsasága tekintetében. A teljesítmények növekedésével előtérbe kerül a gazdaságosság, a jó hatásfok, nem elégedhetünk meg többé a veszteséges ellenállásos szabályozással. Mindkét szempont egyaránt megkövetelheti a szabályozás gyorsaságát.

Hajtástechnikai tevékenységünk legjelentősebb felhasználója a kohóipar, ezen belül elsősorban a hengerművek.

Az 1964-ben üzembe helyezett egymillió tonna kapacitású diósgyőri durvahengermű — amely jelenleg hazánk legnagyobb melehengerműve — az első, amely a tervezéstől a kivitelezésig magyar szakemberek munkája. A hengermű tíz bloksori és két bugasori egyenáramú hajtása alapvetően azonos felépítésű, szabályozott hajtás. Az egységes felépítésű szabályozott hajtások a különböző technológiai követelményeknek megfelelő kiegészítő berendezésekkel, illetve szabályozókörekkkel vannak ellátva.

Intézetünk feladata volt a szabályozókörok egységeinek kifejlesztése, és a KGMTI-ben készült előzetes tervek ellenőrzése modellezés útján. A kétéves munka alatt kilencféle szabályozóegységet és négyféle tápegységet fejlesztettünk ki, amelyekből közel 300 darab került beépítésre.

Valamennyi hajtás Ward—Leonard-rendszerű, amplitudines gerjesztéssel, az amp-



8-5. ábra. Nagyfeszültségű szimisztoros áramstabilizátor; 1500 V egyenfeszültség, 0...3 A ± 1 %

lidinek vezérlő tekercseit tranzisztoros erősítők táplálják. A lehető legrövidebb indítási, fékezési és reverzalási idők biztosítása érdekében a gépcsoport gépei a mindenkori gerjesztéshez tartozó maximálisan megengedett armatúraárammal vannak igénybevéve tranziens üzemmódban.

Ma az egész nemzetközi mezőnyt a tirisztoros hajtások gyors előretörése jellemzi. Ebben a fejlesztési versenyben igyekszünk mi is lépést tartani. A félvezetők általános előnyei ezekben a berendezésekben is érvényesülnek: kevesebb aktív vas és

réz felhasználása, a kis térfogatú, nyugvó szerkezetek olcsóbb, igénytelenebb beépítése, a csendes, rázkódásmentes üzem, a kitűnő hatásfok, a kedvező irányítástechnikai paraméterek és viselkedés.

Az első 40 kW-os, egyirányú, úgynevezett  $\frac{1}{4}$ -es tirisztoros egyenáramú hajtás laboratóriumi kísérleti összeállítását csak 1967 elején mutattuk be, de már egy sor tirisztoros hajtás működik, készül vagy tervezés alatt áll.

A 600 kW teljesítményű csepeli gyorspálya-sorvonómotor tirisztoros fordulatszám-szabályozása a generátor gerjesztőkörében hat. Ugyancsak üzemben van és kifogástalanul működik a Dorogi Erőmű tirisztoros kazánrostélyhajtása. A szegeci kábelgyárban került üzembe a Diósgyőri Gépgyár rendelésére a fazékbarakó csévéllő 9 kW-os



8-6. ábra. DKFR-500 típusú fazékbarakó (huzalcsévéllő) berendezés 10 kW-os tirisztoros szabályozója

tirisztoros egyenáramú hajtása. A Budapesti Nemzetközi Vásáron is bemutattuk az Ózdi Kohászati Üzemek 10 Mp-os szerelődarujára készült,  $\frac{1}{4}$ -es, vagyis reverzaló és féküzemben is dolgozó 16 kW-os hajtását. Sorolhatnánk tovább a centrifuga, blokkos állványgörgő, szivattyú, ventilátor és egyéb hajtásokat.

Akár hajtásokban, akár egyenirányítóknak vagy egyéb berendezésekben alkalmazzuk a tirisztorokat, meg kell oldani egy sor olyan feladatot, mint tirisztorok soros és párhuzamos üzele, tirisztorok gyújtása, védelmi kérdések. A tirisztorok bőséges nemzetközi irodalma gondosan titkol minden olyan adatot és összefüggést, amely a tervezőnek közvetlen segítséget nyújthatna, így a kutató csak sejtésekre és a saját méréseire és tapasztalataira támaszkodhat az újszerű berendezések kialakításában.

Az egyszer megoldott feladat megteremti a lehetőséget a hasonló jellegű problémák bő választékának a megoldásához. Az elmúlt évek tapasztalatai alapján kijelenthetjük, hogy a magyar ipar és ezen belül Intézetünk ma már képes a hajtástechnika, szabályozás és áramellátás területén felmerülő ipari igényeket korszerű kivitelben és minőségben megoldani.

#### 4.6 Ívkemence-szabályozó

Az előbbieken példaként említettük az ívkemence-szabályozót ama gyártmányok sorában, amelyeknél a korszerű lehetőségekkel lépést tartó fejlesztőmunkával biztosítjuk a korábban is jól bevált termék versenyképességének a fenntartását.

Az ívkemence-szabályozó már a 15 éves számlóiban is szerepelt mint kiforrott, exportképes gyártmány. A hidraulikus végrehajtószerv működtetéséhez szükséges nagy teljesítményű jelet a korábbi megoldásban tirátroncsövek szolgáltatták. A félvezetőtechnika korszerű eszközei itt is előtérbe kerültek és a tirisztor kiszorította helyéből a terjedelmes, korlátozott élettartamú, sok hőt fejlesztő tirátroncsövet.

A közlemények e kötetében külön cikk foglalkozik a témával, azért itt részletekbe nem bocsátkozunk. Talán még csak annyit, hogy ma már nemcsak külföldön, a világ minden részén, Svédországtól Indiáig működnek ilyen típusú ívkemence-szabályozók, hanem az első példányok hazai földön is üzembe kerültek.

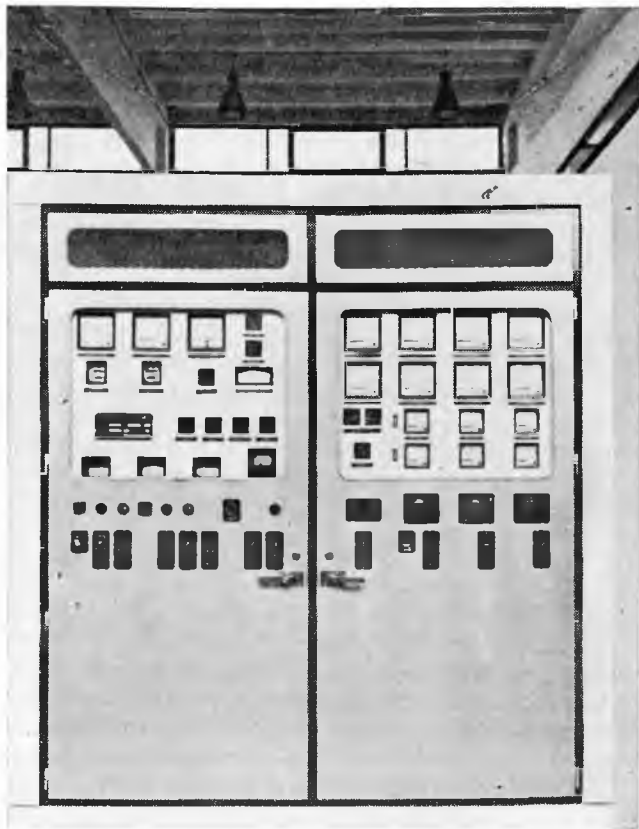
#### 4.7 Egyéb kutatómunkák

Megszoktuk, hogy az osztályozás végén az „egyéb” rovatban gyűjtjük össze azokat a tételeket, amelyek önmagukban nem elég jelentősek ahhoz, hogy egy-egy külön osztály címszavaként szerepelhessenek, összetételükben pedig túl heterogének ahhoz, hogy közös címszó alá foghassuk őket.

Néhány évvel ez előtt a főosztály munkája már megérett és kibontakozott, jól körvonalazott és súlyos témacsoportok formájában kristályosodott ki a tevékenységi terület. Elérkezettnek láttuk akkor az időt valamiféle elméleti felépítmény kialakítására, létrejött tehát egy úgynevezett elméleti csoport, amelynek keretében egyrészt a számítógépes munkát kívántuk megindítani — már így is kicsit elkésve —, másrészt foglalkozni az ipari elektronika néhány olyan általános kérdésével, mint például a sok elemből felépített ipari elektronikus berendezések megbízhatósága.

Az általános tudománypolitikai helyzet azonban keresztülhúzta számításainkat és ennek a csoportnak az egzisztenciáját is csak rendelések vállalásával tudtuk biztosítani. Ez azt jelentette, hogy az elképzelt tanulmányi munka helyett tevékenységünket a kutatási piacon mutatkozó keresletnek kellett alárendelnünk. Ez egyébként távolról sem jelenti azt, hogy az ilyen módon vállalt munkák műszaki—tudományos szempontból érdektelenek lennének.

A vasúti vágányhálózat karbantartását a krampácsoló munkásoktól fokozatosan az aláverő gépek veszik át. A kézi munka igen csekély termelékenységű és nem is lehet kapni munkaerőt erre a kevésbé vonzó feladatra. Külföldön már általánosan



8-7. ábra. Tirisztoros ívkemence-szabályozó falnyílásba szerelhető kivitelben

használt az aláverő-emelő gépek optikai vezérlése és ennek kifejlesztése Intézetünk és a MÁV Gépjavító Üzem együttműködésében nálunk is megindult.

A feladat igényes: az aláverő gépcsoport egységei 50 méter távolságban helyezkednek el a pályán és az optikai vezérlés segítségével a színtezést  $\pm 1$  mm pontossággal kell végrehajtani. A légköri viszonyok zavaró hatásának a csökkentésére a színtező az infravörös tartományban dolgozik. Ugyanakkor a nappali szórt fény hatását is ki kell küszöbölni.

Az érzékelés, erősítés, jelátvitel, a végrehajtó hidraulika működtetése a korszerű elektronika eredményeit hasznosítja. A termelékenységet a kezelés egyszerűsége és a működés gyorsasága biztosítja.

Az eddig elért kísérleti eredmények nemzetközi színvonalon mozgó kivitel reményével kecsegtetnek. A téma súlyát növeli, hogy KGST viszonylatban hazánk a felelős a berendezés kifejlesztéséért.

A számítógépek erősáramú ipari alkalmazásainak sorát az ikladi Ipari Műszer-gyár rendelésére végzett számítógépes programok kidolgozásával nyitottuk meg, amelyek célja egy-, két- és háromfázisú törpemotorok tervezése. Az algoritmusok számítógépes programra való áttétele nemcsak rendkívüli mértékben meggyorsítja a tervezést, hanem az aktív anyagok felhasználásának optimalizálásával is jelentős gazdasági eredményt ígér.

## 5. Távlatok

Ahogy egy termék versenyképességét is csak a szüntelen fejlesztőmunka tudja fenn tartani és biztosítani, úgy magának a kutató-fejlesztő tevékenységnek is tartalmában, módszereiben, eszközeiben állandóan előre kell lépnie ahhoz, hogy a belső és külső verseny nem szűnő sodrában el ne maradjon.

A fejlődés pillanatnyi tendenciája nem a specializálódás, hanem inkább az integráció.

Az osztályok sajátos kutatási területein elért eredmények ma egy-egy nagy komplex berendezésben összefüggő egységbe olvadva jelennek meg, ami a belső kooperáció lehetőségeit és szükségességét fokozza, a szervezeti határokat fellazítja.

Valószínű, hogy a fejlődés egy későbbi fázisában ismét kiválasztódnak az egyes különleges részfeladatok, amelyek komolyabb tudományos elmélyedést igénylő kutatások árán szolgáltatathatják a gyakorlatilag hasznosítható eredményeket.

A feladatok ismétlődése felhív a tipizálás fokozására, egységkészülékek kifejlesztésére, az építőszekrény elv fokozott alkalmazására.

Világtendencia a számítógépek egyre nagyobb térhódítása a technika, a tudomány és a szervezés minden területén. Ennek hatása alól mi sem akarjuk kivonni magunkat, de még a legszerényebb eredmények célbavétele is jelenlegi erőink megsokszorozását követeli meg.

Végül egy pillanatra sem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a célok, az eszközök, az épület és a szervezet semmit nem ér az ember nélkül, aki érte és benne dolgozik, és akinek a fejlődését magasra emelt mércével kell megkövetelnünk, de elő is kell segítenünk.



# 9.

## Szekunder hálózatok szabályozása

DR. GÁDOR LÁSZLÓ

### ÖSSZEFOGLALÁS

A kisfogyasztók villamosenergia-igényeinek növekedésével nem tud lépést tartani a szekunder hálózat fejlődése. Ennek eredménye a feszültség szintek meg nem engedett romlása, ami nemcsak gazdaságtalanná, hanem sok esetben lehetetlenné is teszi a fogyasztói készülékek használatát. A VKI már korábban kidolgozott egy egyszerű kétállású szabályozót a szekunder hálózatok feszültségviszonyainak a megjavítására. Jelen vizsgálatok a szabályozás hatását és ésszerű határait vizsgálják koncentráltan a végén és egyenletesen terhelt sugaras vezetékre, továbbá összehasonlítást tesznek a boosterral és a párhuzamos kondenzátorral végzett feszültség szabályozás között.

### РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ СЕТЕЙ

*Др. Л. Гадор*

#### Резюме

Развитие вторичных сетей отстает от роста запроса энергии мелких потребителей. В результате этого отставания возникает недопустимое ухудшение уровня напряжения, что является не только экономически невыгодным, но во многих случаях делает невозможным пользование бытовыми электроприборами. Еще ранее VKI закончил разработку простого двухпозиционного регулятора уровня напряжения вторичных цепей. В данной работе дается описание исследований, касающихся влияния и определения целесообразной границы регулирования при нагрузке, с концентрированной в конце радиальной сети и равномерной нагрузке радиальных сетей. В статье дается сравнение между регулированием напряжения бустером и параллельным конденсатором.

### REGELUNG VON SEKUNDÄRNETZEN

*Dr. L. Gádor*

#### Zusammenfassung

Die Entwicklung der Sekundärnetze kann mit dem Anstieg des Elektroenergiebedarfes der Kleinverbraucher kaum Schritt halten. Als Ergebnis kommt es zu einer unzulässigen Verschlechterung der Spannungspegel, die den Einsatz der Verbraucherapparate in vielen Fällen nicht nur unwirtschaftlich, sondern einfach auch vollkommen unmöglich macht. Das Forschungsinstitut der Elektroindustrie VKI hatte bereits zu einem früheren Zeitpunkt einen einfachen Zweipunktregler zur Verbesserung der Spannungsverhältnisse in den Sekundärnetzen ausgearbeitet. In den vorliegenden Prüfungen werden die Wirkung und rationellen Grenzen dieser Regelung an ihrem Ende konzentriert, sowie auf gleichmässig belasteten Radialleitungen untersucht, ferner wird ein Vergleich zwischen der mit Booster und mit Parallelkondensator vorgenommenen Spannungsregelung gezogen.

## CONTROL OF SECONDARY NETWORKS

*Dr. L. Gádor*

### Summary

The development of the secondary networks cannot keep abreast with the increasing electric power demands of small consumers. This resulted in the inadmissible deterioration of the voltage levels and this, in turn, made the utilization of consumer devices not only uneconomical but in a number of cases even impossible. The Research Institute of the Electrical Industry already worked out earlier a simple twopoint controller to improve the voltage conditions of secondary networks. The present examinations intend to test the effect and rational limits of the control for the cases of radial lines loaded at the end and loaded uniformly and comparisons are further also made between voltage control by booster and by parallel-connected capacitor.

### 1. Bevezetés

A villamosenergia-elosztó hálózat feszültségintjének a megengedett határok között tartását az erőművekben és a közép- és nagyfeszültségű hálózat egyes fontosabb csomópontjain generátorszabályozással, ill. feszültség szabályozó transzformátorokkal biztosítják. A 10 kV-nál kisebb feszültségű hálózatokban már csak terheletlen állapotban átköthető megcsapolásokkal ellátott transzformátorokat találunk. Ezeket a megfelelő megcsapolásra kötve a közepes feszültség szint legkedvezőbb alakulását biztosíthatjuk ugyan, de a feszültség ingadozások mérséklését egyáltalán nem.

A feszültség szint ingadozására a szabvány előírások a névlegeshez képest  $\pm 5\%$ -ot engednek meg. Szabályozás hiányában ez az elosztó hálózat bőséges méretezésével biztosítható.

Meg kell jegyezni, hogy a leggazdaságosabb veszteségekre való méretezés mellett a feszültség kilép a megengedett tűréstartományból. De ha a legkedvezőbb veszteséghez képest többletberuházással túlméretezzük is a hálózatot, az általában nem tudja kielégíteni a fogyasztók növekvő igényeit.

Ha a feszültség szinteket valóban a szabványok megengedett határok közt kívánjuk tartani, akkor a kisfeszültségű hálózatot rövid időközökben át kell építeni. Ez épp oly kevéssé gazdaságos, mint a túlzott tartalékkal kiépített, erősen túlméretezett hálózat.

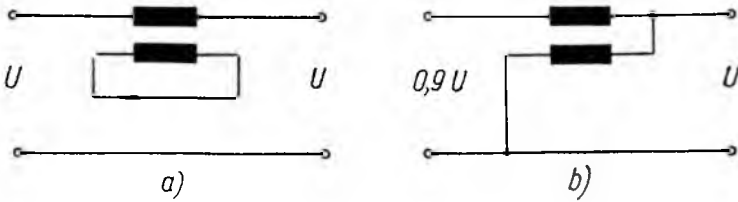
A VKI már több évvel ezelőtt javaslatot tett a kisfeszültségű elosztó hálózat feszültség viszonyainak a javítására oly módon, hogy átmenetileg, amíg a hálózat felújítására sor kerülhet, egyszerű, robusztus, kétállású önműködő szabályozókkal mérsékeljék a hálózat feszültség ingadozását a megengedett mértékre. A megfelelő készüléket ki is fejlesztette és annak kísérleti darabjai a próbaüzemeltetés során jól beváltak. Részben gyártási, részben beállítási nehézségek miatt azonban a megoldás nem tudott elterjedni.

A kétállású szabályozó soros transzformátor elven működik, a 9-1. ábra vázlatának megfelelően. Ha a feszültség érték a névlegestől a megengedettnél jobban nem tér el, akkor a szabályozó a 9-1a ábra szerinti kapcsolásban jár és gyakorlatilag nem változtat a bemenő feszültségen. A soros transzformátor úgy működik, mint egy rövidrezárt áramváltó.

A névlegesnél kisebb bemenő feszültséget a szabályozó a 9-1b ábrának megfelelő kapcsolásban emeli meg, például 10%-kal.

A kisfeszültségű elosztó hálózat saját induktivitása viszonylag nagy, ezért pár-

huzamos kondenzátor alkalmazásával is elérhetünk feszültségjavítást. Az alábbiakban a feszültségingadozások csökkentésének párhuzamosan kapcsolt kondenzátorokkal való megoldhatóságát vizsgáljuk.



9-1. ábra. Kétállású szabályozó kapcsolási vázlata

Állandóan bekapcsolt kondenzátor hatása ugyanaz, mint az állandó megcspolásé; csak a feszültség átlagszintjére hat, az ingadozások mértékét nem csökkenti. Kondenzátort is tehát csak olyan önműködő kapcsolóval együtt használhatunk eredménnyel a feszültség egyenletesebbé tételére, amely a kondenzátort csak akkor kapcsolja a hálózatra, amikor a megengedettnél kisebb a feszültség a fogyasztón.

## 2. Koncentrált terhelés a vezeték végén

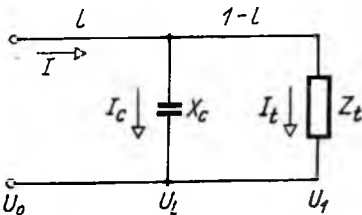
A vizsgálatot — az egyszerűség kedvéért — egyfázisú sugaras vezetékre végezzük, amelynek a végén van a koncentrált  $Z_t$  terhelő impedancia (9-2. ábra).

Legyen a vezeték egységnyi hosszúságú, pl. 1 km. A vezeték hosszegységnyi konduktív ellenállása  $r \Omega/\text{km}$ , induktív ellenállása  $x \Omega/\text{km}$ . A kondenzátort általánosság kedvéért a vezeték kezdetétől  $l$  távolságban kapcsoljuk feszültségére.

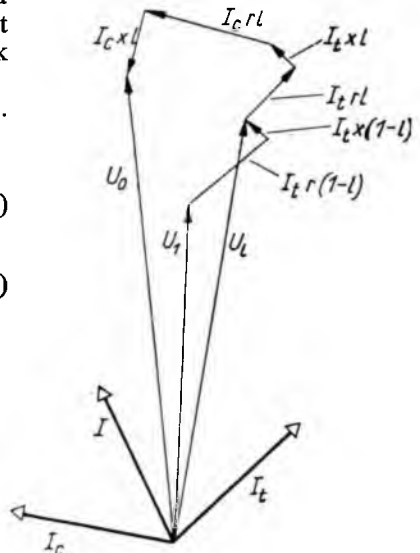
Az áram- és feszültségviszonyokat a 9-3. ábra vektorábrája tünteti fel.

$$I_t = \frac{U_r}{Z_t}, \quad I_c = \frac{U_l}{X_c}, \quad (2.1)$$

$$R_t = Z_t \cos \varphi, \quad X_t = Z_t \sin \varphi. \quad (2.2)$$



9-2. ábra. Koncentrált terhelés a vezeték végén párhuzamos kondenzátorral



9-3. ábra. A 9-2. ábra szerinti áramkör vektorábrája

A vektorábra geometriája alapján fel tudjuk írni a sugaras vezeték  $U_0$  tápfeszültségének és a  $Z_t$  fogyasztó  $U_1$  feszültségének viszonyát.

$$\left(\frac{U_0}{U_1}\right)^2 = \left[1 + \frac{rR_t + xX_t}{Z_t^2} - \frac{1}{X_c} \left(xl + \frac{rR_t + xX_t}{Z_t^2} xl(1-l) - \frac{rX_t - xR_t}{Z_t^2} rl(1-l)\right)\right]^2 + \left[\frac{rX_t - xR_t}{Z_t^2} - \frac{1}{X_c} \left(rl + \frac{rR_t + xX_t}{Z_t^2} rl(1-l) + \frac{rX_t - xR_t}{Z_t^2} xl(1-l)\right)\right]^2. \quad (2.3)$$

Könnyebb kezelhetőség érdekében vezessük be a következő jelöléseket

$$a = 1 + \frac{rR_t + xX_t}{Z_t^2},$$

$$b = xl + \frac{rR_t + xX_t}{Z_t^2} xl(1-l) - \frac{rX_t - xR_t}{Z_t^2} rl(1-l),$$

$$c = \frac{rX_t - xR_t}{Z_t^2},$$

$$d = rl + \frac{rR_t + xX_t}{Z_t^2} rl(1-l) + \frac{rX_t - xR_t}{Z_t^2} xl(1-l).$$

Ezzel

$$\left(\frac{U_0}{U_1}\right)^2 = \left(a - \frac{b}{X_c}\right)^2 + \left(c - \frac{d}{X_c}\right)^2. \quad (2.4)$$

Mekkora kondenzátorral érjük el a maximális feszültségemelést? Ennek megállapítása érdekében a (2.4) függvény szélső értékét keressük  $X_c$  függvényében.

$$\frac{\partial \left(\frac{U_0}{U_1}\right)^2}{\partial X_c} = 0.$$

Ezt alkalmazva a (2.4) egyenletre, azt kapjuk, hogy a legnagyobb feszültségemelést a kondenzátor

$$X_c = \frac{b^2 + d^2}{ab + cd} \quad (2.5)$$

értékénél kapjuk.

Helyezzük a kondenzátort a sugaras vezeték végére, ahol a terhelőimpedancia is van. Ekkor  $l=1$ , amivel  $a$  és  $c$  értéke változatlan marad, viszont  $b=x$  és  $d=r$ . Ezeket az értékeket (2.5)-be helyettesítve

$$X_c = \frac{z^2 Z_t^2}{xZ_t^2 + X_t z^2} \quad (2.6)$$

értéket kapunk a maximális feszültségemelést okozó kondenzátorra.

Helyettesítsük  $b$ ,  $d$  és  $X_c$  értékét (2.4)-be és számítsuk ki a vezeték végén fellépő  $U_1$  értékét:

$$U_1 = \frac{zZ_t^2}{rZ_t^2 + R_t z^2} U_0. \quad (2.7)$$

Ezzel megkaptuk azt a maximális feszültséget, amelyet adott vezeték végén adott terhelés mellett kondenzátorral el lehet érni.

Ha a vezeték végén ohmos terhelés van, vagyis  $Z_t = R_t$ , akkor (2.7) az alábbi alakot veszi fel:

$$U_1 = \frac{R_t z}{r R_t + z^2} U_0 \quad (2.8)$$

ugyanakkor a maximális feszültségemelkedést szolgáltatató kondenzátor értéke az alábbi értékre adódik:

$$X_c = \frac{z^2}{x}. \quad (2.9)$$

### 3. Számpélda

Vizsgáljuk meg egy számpélda kapcsán a viszonyok alakulását.

Legyen

a vezeték ohmos ellenállása	$r = 1 \Omega/\text{km}$ ,
a vezeték induktív ellenállása	$x = 0,35 \Omega/\text{km}$ ,
amiből a vezeték impedanciája	$z = 1,12 \Omega/\text{km}$ .

A terhelőimpedancia a vezeték végén	$Z_t = 6,05$ ,
konduktív összetevője	$R_t = 4,85$ ,
induktív összetevője	$X_t = 3,64$ .

A vezeték végén alkalmazandó kondenzátor (2.6) szerint, maximális feszültségemelés biztosítására

$$X_{c1} = \frac{1,12^2 \cdot 6,05^2}{0,35 \cdot 6,05^2 + 3,64 \cdot 1,12^2} = 2,65 \Omega.$$

Legyen  $U_0 = 220$  V. Mekkora a vezeték végén fellépő feszültség? Az értéket (2.7)-be helyettesítve

$$U_1 = \frac{1,12 \cdot 6,05^2}{6,05^2 + 4,85 \cdot 1,12^2} 220 = 212 \text{ V.}$$

Mekkora kondenzátort kell alkalmazni, ha a maximális feszültségemelést a vezeték közepére kötött kondenzátorral kívánjuk elérni?

$$l = 0,5,$$

$$a = 1 + \frac{4,85 + 0,35 \cdot 3,64}{6,05^2} = 1,167,$$

$$b = 0,35 \cdot 0,5 + 0,167 \cdot 0,35 \cdot 0,5 \cdot 0,5 - 0,053 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,177,$$

$$c = \frac{3,64 - 0,35 \cdot 4,85}{6,05^2} 2 = 0,053,$$

$$d = 0,5 + 0,167 \cdot 0,5 \cdot 0,5 + 0,053 \cdot 0,35 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,547.$$

Az értékeket (2.5)-be helyettesítve:

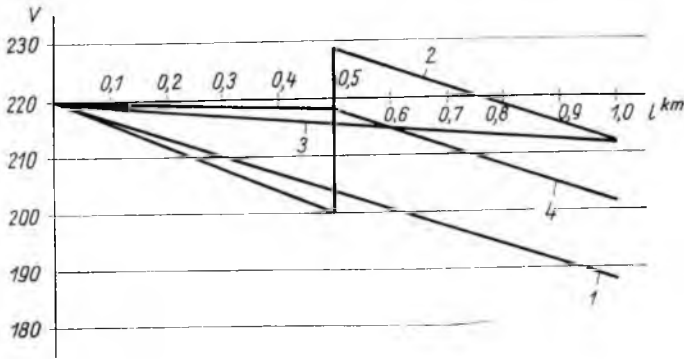
$$X_1 = \frac{0,177^2 + 0,547^2}{1,167 \cdot 0,177 + 0,053 \cdot 0,547} = 1,41 \Omega.$$

A vezeték közepén tehát durván kétszer akkora kondenzátort kell alkalmazni a maximális feszültségemelkedés elérésére. Az elért feszültségemelkedés (2.4)-ből kiszámítva

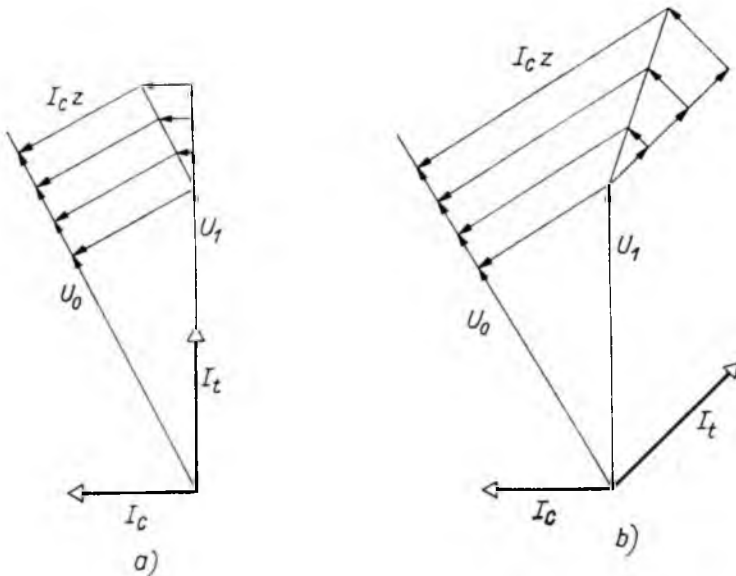
$$U_1 = 202 \text{ V}, \quad U_l = 219 \text{ V}.$$

A 9-4. ábra összefoglalja az eredményeket és egyben összehasonlítást is ad a kondenzátoros és a boosteres feszültség szabályozás között.

Az  $l$  diagram a szabályozás nélküli állapotot tünteti fel. A 2 diagram szerint alakul a feszültség menete akkor, ha az  $l=0,5$  helyen akkora boostert alkalmazunk, amekkora a feszültséget a vezeték végére kapcsolt kondenzátorral azonos értékre



9-4. ábra. Feszültségésés a vezeték mentén, koncentrált terhelés esetén  
 1 beavatkozás nélkül; 2 booster a vezeték közepén; 3 kondenzátor a vezeték végén;  
 4 kondenzátor a vezeték közepén



9-5. ábra. A kondenzátoros feszültségemelés vektorábrája  
 a) konduktív terheléssel; b) induktív terheléssel

emeli. A 3 diagram a vezeték végére, a 4 pedig a vezeték közepére kapcsolt maximális feszültségemelést szolgáltató kondenzátor hatását tünteti fel.

A 9-5. ábra érzékelteti azt a módot, ahogyan a kondenzátor a feszültségemelést létrehozza és azt a körülményt — ami (2.6) és (2.9) egybevetéséből is kitudnik —, hogy ohmos terhelés esetén a maximális feszültségemelést szolgáltató kondenzátor értéke független a terheléstől.

#### 4. Veszteségek

A vezetékben keletkező veszteség általában

$$N_v = I_t^2 r(1-l) + I^2 r l,$$

$$N_v = U_1^2 \left\{ \frac{r}{Z_t^2} (1-l) + \left[ \frac{R_t}{Z_t^2} + \frac{1-l}{X_c} \frac{rX_t - xR_t}{Z_t^2} \right]^2 r l + \right. \\ \left. + \left[ \frac{X_t}{Z_t^2} - \frac{1}{X_c} - \frac{1-l}{X_c} \frac{rR_t - xX_t}{Z_t^2} \right]^2 r l \right\}. \quad (4.1)$$

Ha a kondenzátor a vezeték végén van, vagyis  $l=1$ , akkor

$$N_v = U_1^2 r \left( \frac{1}{Z_t^2} - \frac{2X_t}{Z_t^2 X_c} + \frac{1}{X_c^2} \right).$$

A veszteségek százalékos nagyságát a 9-4. ábrán feltüntetett esetekre az alábbi táblázat foglalja össze:

kapcsolás	százalékos veszteség
1	20,7
2	23,9
3	71,7
4	187

#### 5. Néhány következtetés

A vizsgálatokból megállapítható, hogy a kondenzátor a vezeték induktivitásától meghatározott mértékben korlátozottan emeli a feszültséget. A legnagyobb feszültségemelkedést előállító kondenzátor értéke számítással meghatározható. Ez az érték ohmos terhelés esetén csak a vezeték impedanciájától, nem ohmos terhelés esetén a terhelőimpedanciától is függ.

E hátrányok mellett tény, hogy a kondenzátor a vezeték mentén egyenletesebb feszültségeloszlást biztosít, mint a booster. Súlyos hátrány azonban a vezetékben keletkező veszteség igen jelentős emelkedése, az átviteli veszteség többszörösére nő, amivel az átvitel hatásfoka romlik. Booster alkalmazása az átviteli veszteségeket csak jelentéktelen mértékben befolyásolja.

A kondenzátort célszerű ugyanott a vezetékre kötni — koncentrált terhelés esetén ez megoldható —, ahol a terhelés is van. Közbenső helyen ugyanakkora

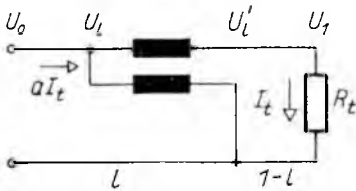
feszültségemelés eléréséhez nagyobb kapacitású kondenzátor kell, kisebb az elérhető feszültségemelés és ugyanakkor a vezetékvesztesség még tovább nő.

A megnövekedett veszteségek miatt a kondenzátoros feszültségjavítás nem látszik gyakorlatilag járható útnak.

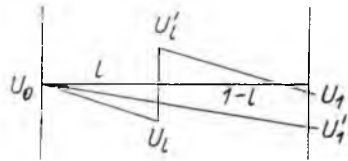
### 6. A boosteres feszültségemelés határa

Azt mondtuk, hogy a kondenzátor csak a vezeték inductivitástól függő korlátozott mértékben képes emelni a vonal feszültségét. Ilyen korlát elvben booster alkalmazása esetén is fennáll, amint ez pusztán kvalitatív megfontolásokkal is követhető.

Legyen a 9-6. ábra szerint a koncentráltan  $R_t$  konduktív ellenállással a végén terhelt egyfázisú, egységnyi hosszúságú sugaras vezeték  $l$  helyén  $a$  áttételű booster. Ha nem volna a vezetékbe beiktatva a booster, a vezeték végén  $U'_1$  feszültséget mérnénk, a terhelés  $I_t = \frac{U'_1}{R_t}$  áramot venne fel (9-7. ábra), és ez az  $I'_t$  áram hozná létre a  $U_0 - U'_1$  feszültségesést.



9-6. ábra. Koncentrált terhelés a vezeték végén, feszültségemelés boosterrel



9-7. ábra. Feszültségesés a vezeték mentén a 9-6. ábra szerinti elrendezésben

A booster alkalmazása következtében a terhelés kapcsain a feszültség  $U_1$ -re emelkedik, az áram is megnő  $I_t = \frac{U_1}{R_t}$  értékre, a nagyobb áram természetesen nagyobb feszültségesést hoz létre a vezeték mentén. Elképzelhető az az eset, amikor a booster feszültségemelése már nem képes kiegyenlíteni a terhelésnövekedéssel együttjáró többlet-feszültségesést és ez a booster alkalmazásának a korlátját jelenti.

A 9-6. és 9-7. ábra jelöléseivel a kiinduló és a fogyasztói feszültség viszonya

$$\frac{U_0}{U_1} = \frac{1}{a} + \frac{r}{R_t} \left( al + \frac{1-l}{a} \right). \tag{6.1}$$

Kérdés, hogy milyen áttételű boostert kell a vezeték közepén alkalmazni ahhoz, hogy a vezeték végén  $U_0$  értékét visszanyerjük. Vagyis legyen

$$\frac{U_0}{U_1} = 1, \quad l = 0,5.$$

Ezzel a booster áttételére a

$$0,5ba^2 - a + 0,5b + 1 = 0$$

másodfokú egyenletet nyerjük, ahol  $b = \frac{r}{R_t}$ .



Az áttétel számítható:

$$a = \frac{1 \pm \sqrt{1 - b^2 - 2b}}{b}$$

Az áttétel értékére valós megoldást akkor kapunk, ha

$$1 - b^2 - 2b \geq 0.$$

Határesetben fenti kifejezés éppen zérus, amiből

$$b = \frac{r}{R_1} = 0,41.$$

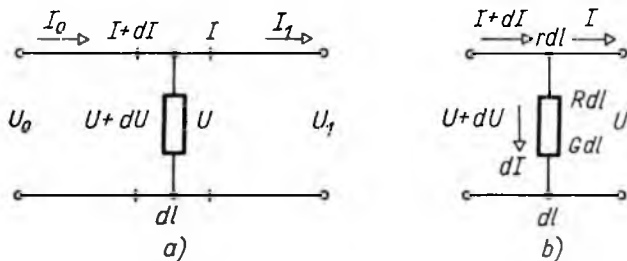
Vagyis  $R_1 = \frac{r}{0,41}$  az a legnagyobb terhelés, amely mellett még éppen felboosterolható a feszültség kezdeti értékére, az ehhez szükséges áttétel  $\frac{1}{0,41} = 2,44$ .

Ha a korábbiakhoz hasonlóan feltételezzük, hogy a vezeték ellenállása  $r = 1 \Omega$ , akkor  $2,44 \Omega$  az a legnagyobb terhelés, amely mellett még a névleges feszültség biztosítható a vezeték végén. A közbenső feszültségek, ha  $U_0 = U_1 = 220 \text{ V}$ , akkor  $U_1 = 108,5 \text{ V}$ ,  $U_1' = 265 \text{ V}$ , névleges kapocsfeszültséggel átvihető legnagyobb teljesítmény  $19,8 \text{ kW}$ .

Fenti számítás megadja a boosterral elérhető feszültségemelés elvi határát, de ez már annyira kiesik a megengedhető feszültségsávból, hogy gyakorlati határok közt a booster alkalmazását korlátlannak tekinthetjük.

## 7. Elosztott konduktív terhelés

Végül vizsgáljuk meg a feszültségviszonyok alakulását, ha egyenletesen elosztott konduktív terhelést feltételezünk a vezeték mentén és egyelőre a vezeték induktív ellenállását sem vesszük figyelembe.



9-8. ábra. Egyenletesen megoszló terhelés a vezeték mentén

Legyen  $R$  a vezeték hosszegységét terhelő ellenállás, ill.  $G = \frac{1}{R}$  a hosszegységet terhelő egyenletesen elosztott fogyasztó vezetőképessége. Az elrendezést a 9-8. ábra tünteti fel, a b) ábrában külön kirajzolva a vezeték egy  $dl$  hosszúságú darabját. Felírható  $dU = Ir dl$ , amiből

$$\frac{dU}{dl} = Ir. \quad (7.1)$$

Másrészt  $dI = UG dl$ , amiből

$$\frac{dI}{dl} = UG \quad (7.2)$$

(7.1)-t  $l$  szerint differenciálva és (7.2)-t behelyettesítve a

$$\frac{d^2U}{dl^2} - rGU = 0$$

differenciálegyenletet kapjuk. Ez a kötélgörbe differenciálegyenlete, megoldása

$$U = A \operatorname{ch} \alpha l + \operatorname{sh} \alpha l, \quad (7.3)$$

ill.

$$I = \frac{A}{b} \operatorname{sh} \alpha l + \frac{B}{b} \operatorname{ch} \alpha l, \quad (7.4)$$

ahol  $A$  és  $B$  feszültségdimenziójú mennyiség,  $\alpha = \sqrt{rG}$  és  $b = \sqrt{rR}$ . Ilyenformán  $\frac{A}{b}$  és  $\frac{B}{b}$  dimenziója áram,  $\alpha l$  pedig dimenzió nélküli mennyiség, amint ez a hiperbolikus függvények argumentumánál szükséges is.

A határfeltételek figyelembevételével megkapjuk az egyenletben szereplő állandók értékeit.

$$l=0 \text{ helyen } U = U_0, \quad I = I_0.$$

Ezeket az értékeket (7.3)-ba és (7.4)-be helyettesítve

$$A = U_0 \quad \text{és} \quad B = I_0.$$

Ezzel

$$U = U_0 \operatorname{ch} \alpha l + b I_0 \operatorname{sh} \alpha l, \quad (7.5)$$

$$I = \frac{U_0}{b} \operatorname{sh} \alpha l + I_0 \operatorname{ch} \alpha l. \quad (7.6)$$

Vegyünk fel számszerű adatokat. Legyen  $U_0 = 220 \text{ V}$  és  $I_0 = 30 \text{ A}$ , ami azt jelenti, hogy a rendszer összesen

$$N_0 = 6600 \text{ W}$$

teljesítményt vesz fel. Legyen továbbá  $r = 1 \Omega/\text{km}$ ,  $l = 1 \text{ km}$ .

Fenti adatok már meghatározzák, hogy mekkora  $R \Omega/\text{km}$  elosztott terhelés mellett folyik be a rendszer elején éppen  $I_0 = 30 \text{ A}$ .

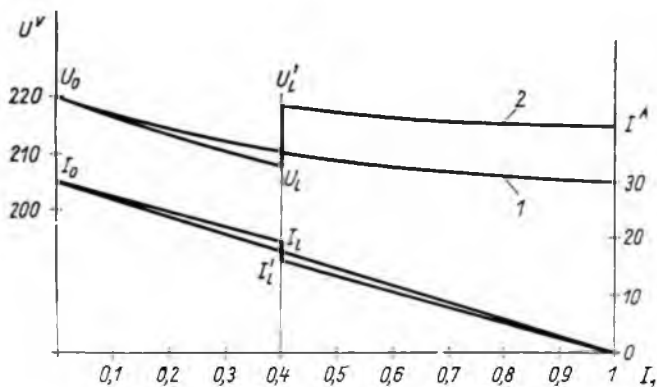
Ezt az egyenletből kiszámítva

$$R = 7,25 \Omega,$$

amivel  $G = 0,138 \text{ S/km}$ ,  $\alpha = 0,3727 \text{ km}^{-1}$ ,  $b = 2,68 \text{ km}$ .

A 9-9. ábra  $l$  görbéje mutatja a feszültség esését a vezeték mentén. A feszültséggörbén rátekintésre is látszik, ha boosterrel kívánjuk mérsékelni a feszültségeltéréseket a vezeték mentén, azt célszerűen nem középre helyezzük, mint koncentrált terhelés esetén, hanem közelebb a vezeték kezdetéhez.

Példánkban legyen  $l = 0,4$ , a booster áttétele  $a = 1,05$ ,  $U_0 = 220 \text{ V}$ .



9-9. ábra. Feszültség és áram a vezeték mentén egyenletesen megoszló terhelés esetén

Általában helyezzük el a boostert  $l'$  távolságban a kezdőponttól (9-10. ábra). Akkor a  $0 < l < l'$  tartományban

$$U = U_0 \operatorname{ch} \alpha l - b I_0 \operatorname{sh} \alpha l, \quad (7.7)$$

$$I = I_0 \operatorname{ch} \alpha l - \frac{U_0}{b} \operatorname{sh} \alpha l \quad (7.8)$$

a tartomány határán  $l = l'$  amivel

$$U = U_0 \operatorname{ch} \alpha l' - b I_0 \operatorname{sh} \alpha l' \quad (7.9)$$

$$I = I_0 \operatorname{ch} \alpha l' - \frac{U_0}{b} \operatorname{sh} \alpha l'. \quad (7.10)$$

$l' < l < 1$  tartományban

$$U = U'_l \operatorname{ch} \alpha (l - l') - b I'_l \operatorname{sh} \alpha (l - l') \quad (7.11)$$

$$I = I'_l \operatorname{ch} \alpha (l - l') - \frac{U'_l}{b} \operatorname{sh} \alpha (l - l') \quad (7.12)$$

A vezeték végén  $l = 1$ , amivel

$$U_1 = U'_l \operatorname{ch} \alpha (1 - l') - b I'_l \operatorname{sh} \alpha (1 - l'), \quad (7.13)$$

$$I_1 = I'_l \operatorname{ch} \alpha (1 - l') - \frac{U'_l}{b} \operatorname{sh} \alpha (1 - l'). \quad (7.14)$$

A vezeték végén a feladat természetéből  $I_1 = 0$ , amiből  $I'_l \operatorname{ch} \alpha (1 - l') = \frac{U'_l}{b} \operatorname{sh} \alpha (1 - l')$

$$\frac{I'_l}{U'_l} = \frac{1}{b} \operatorname{th} \alpha (1 - l') \quad (7.15)$$

$$\frac{I_l}{U} = \frac{a^2}{b} \operatorname{th} \alpha (1 - l') \quad (7.16)$$

Behelyettesítve a számértékeket (7.16)-ba

$$\frac{I_t}{U_t} = \frac{1,05^2}{2,68} \operatorname{th} 0,3727 \cdot 0,6 = 0,091.$$

Ezzel (7.9) és (7.10) felhasználásával  $I_0$  számítható

$$I_0 = 31 \text{ A.}$$

Visszahelyettesítve (7.10)-be

$$I_t = 19,0 \text{ A,}$$

$$U_t = \frac{I_e}{0,091} = 205 \text{ V,}$$

$$U'_t = 1,05U_e = 219 \text{ V,}$$

$$I'_t = \frac{I_e}{1,05} = 18,1 \text{ A.}$$

A kapott értékeket (7.13)-ba helyettesítve

$$U_1 = 215 \text{ V.}$$

A vezeték induktivitásának a figyelembevételével alakilag a fentiekkel teljesen megegyező összefüggéseket nyerünk. Az egyenletekbe azonban  $r$  helyett mindenütt a  $z = r + jx$  komplex mennyiség irandó, így  $\alpha = \sqrt{Gz}$  és  $b = \sqrt{Rz}$  is komplex mennyiségek.

A korábbihoz hasonlóan számolva — a számításokat itt nem részletezzük — a feszültségre, az

$$U = U_0(\operatorname{ch} \alpha l - \operatorname{th} \alpha \operatorname{sh} \alpha l) \quad (7.17)$$

kifejezést kapjuk. E szerint változik tehát a feszültség a vezeték mentén. A kifejezés valós része a feszültség amplitúdójának a változását írja le, a képzetes rész a fázisforgást határozza meg.

A feszültségeltérés okozta gazdasági kár a feszültség névlegestől való eltérésének a négyzetével arányos. A vizsgálatok további része a szabályozott feszültség szintek optimális választására irányul, a gazdasági kár minimalizálásának az érdekében.

# 10.

## **Párhuzamosan kapcsolt diódáknak vagy tirisztoroknak a készülék felépítésétől függő áramosztási hibája**

*MARTI SÁNDOR*

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

Tapasztalatok szerint a szokásos felépítésű egyenirányító készülékekben nagyszámú dióda vagy tirisztor párhuzamos kapcsolásakor az egyes elemek nyitóirányú feszültségésésének szórásából adódó áramosztási hiba mellett készülékfelépítéstől függő, járulékos áramosztási hiba lép fel, amely egyes esetekben az átlagáramhoz viszonyítva 20...30%-ot is meghaladhat. A cikk ennek a járulékos hibának az okát vizsgálja és olyan útmutatásokat ad a készülék konstrukcióhoz, amelyek betartása esetében a hiba elfogadható értékre csökkenthető.

### **ПОГРЕШНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА ПАРАЛЛЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ ДИОДОВ ИЛИ ТИРИСТОРОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА**

*Ш. Марти*

#### **Резюме**

Опыт показывает, что в выпрямителях обычного исполнения при параллельном включении большого числа диодов или тиристоров, кроме погрешности распределения тока от разброса падения прямого напряжения отдельных элементов, наблюдается также и дополнительная погрешность, зависящая от конструкции устройства, которая в отдельных случаях может достигать 20... 30%-ов среднего значения тока. Статья рассматривает причины возникновения указанной погрешности и дает указания относительно конструктивного исполнения устройства, при соблюдении которых погрешность уменьшается до приемлимой величины.

### **AUFBAUBEDINGTE STROMVERTEILUNGSFEHLER BEI PARALLELGESCHALTETEN DIODEN ODER THYRISTOREN**

*S. Marti*

#### **Zusammenfassung**

In den Stromrichterapparaten, die mit zahlreichen parallelgeschalteten Dioden oder Thyristoren hergestellt werden, sind neben den Stromaufteilungsfehlern, deren Ursache in der Abweichung der Durchlasskennlinie zu suchen ist, können erfahrungsgemäss zusätzliche, nur vom Aufbau des Apparates abhängende Stromverteilungsfehler auftreten, die in einzelnen Fällen im Vergleich zum Strommittelwert sogar Stromverteilungsfehler von 20 bis 30% überschreiten können. Der Artikel untersucht die Ursache solcher zusätzlichen Fehler und gibt Anleitungen für die Konstruktion von Apparaten, bei deren Einhaltung bzw. Befolgung, diese Fehler auf einen vertretbaren Wert herabgesetzt werden können.

## CURRENT DIVISION ERRORS OF PARALLEL-CONNECTED DIODES OR THYRISTORS DEPENDING ON THE DESIGN OF THE DEVICE

S. Marti

### Summary

In rectifier devices of the usual design, by experience, additional current division errors, depending on the design of the respective device used to occur, in addition to the current division error due to the scatter of the forward voltage drop across the different elements when a high number of diodes or thyristors are connected in parallel; this additional error may, in certain cases, even exceed 20...30 per cent. as compared to the average current. This paper examines the causes of this additional error and includes guidances for the designing of the devices which enable the reduction of the error to acceptable values.

Nagy teljesítményű áramirányító készülékben, mint ismeretes, a megfelelő teljesítmény eléréséhez áganként több diódát vagy tirisztort párhuzamosan kell kapcsolni. Esetenként szükség van az áramirányító-elemek soros kapcsolására is. A készülékek felépítése általában olyan, hogy az egy ághoz (fázishoz) tartozó áramirányító-elemek két sín közé kerülnek, és a hozzávezetések a sínek ellentétes oldalaira csatlakoznak. Ha egy ágban mind párhuzamosan, mind sorosan kapcsolt elemek vannak, alapvetően két kapcsolási elrendezés lehetséges: vagy egymással párhuzamosan kötött csoportokat kapcsolnak sorba (10—1a ábra), vagy megfelelő számú sorbakapcsolt elem csatlakozik párhuzamosan az áramvezető sínekhez (10-1b ábra). A két kapcsolás egyesíthető oly módon, hogy a soros elemek közötti párhuzamos átkötések olyan ellenállások, amelyek értéke az elemek vezetési és záróirányú ellenállása közé esik. Ebben az esetben a kapcsolás záróirányban a 10-1. ábra *a*) kapcsolásának, vezetési irányban a 10-1. ábra *b*) kapcsolásának fog megfelelni (10-1c ábra). Ez a megoldás mindkét kapcsolás előnyös tulajdonságait egyesíti. A készülékekben, kivéve ahol nagyszámú (4...6) elem van sorbakapcsolva, az egyes elemekhez félvezető biztosító tartozik, amely az elemek szelektív védelmére szolgál.

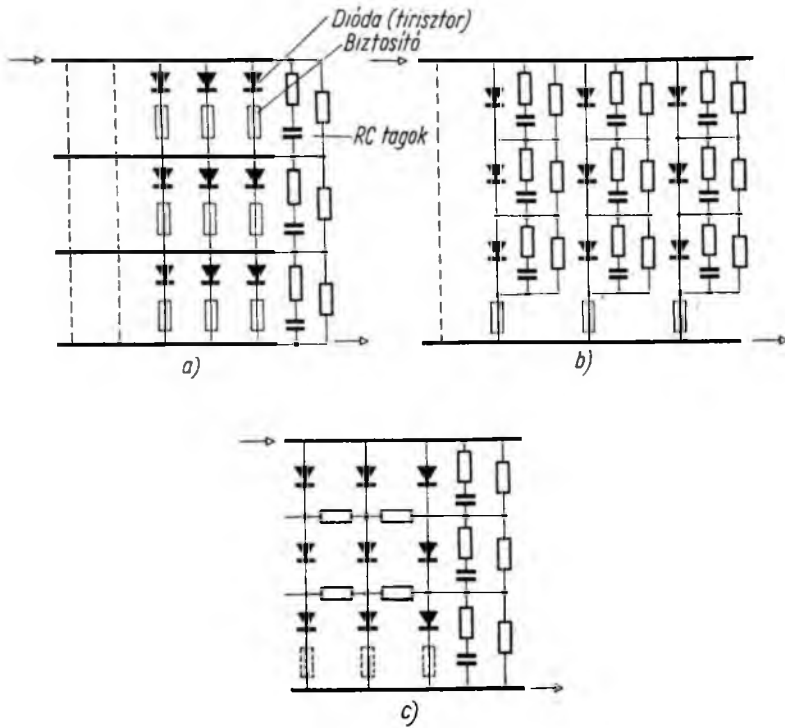
Az áramirányító-elemek soros és párhuzamos kapcsolásával csak akkor lehet elérni a kívánt teljesítménynövelést, ha az egyes elemek igénybevétele egyenlő, azaz mind a zárófeszültség, mind a vezetési irányú áramterhelés minden egyes elemen ugyanakkora.

A zárófeszültség egyenletes elosztására az egyes elemekkel párhuzamosan kapcsolt ellenállásokból és kondenzátorokból álló osztólánc szolgál, amely kiegyenlíti az egyes elemek statikus és dinamikus záróirányú jellemzőinek egymáshoz képesti szórását. A vezetési irányú áram elosztására több módszer ismeretes. Diódákkal felépített készülékekben az elemek vezetési irányú jelleggörbéinek eltérése miatt fellépő egyenlőtlen áramelosztás kiegyenlítésére korábban a higanykatódos áramirányítók technikájából átvett osztó-fojtótekerceket alkalmazták [1]. Ma már a diódagyártás fejlődése, a gyártás egyenletessége lehetővé teszi, hogy a diódákat minden intézkedés nélkül, vagy legfeljebb a nyitóirányú feszültségésés szerint csoportosítva, közvetlenül párhuzamosan kapcsolják.

Megfelelően szigorú válogatással el lehet érni, hogy az egyes elemek áramterhelése az átlagos terheléstől 10...20%-nál nagyobb mértékben ne térjen el. Az eltérés a párhuzamosan kapcsolandó diódák számának az átlagáramból számítható darabszámhoz képest 10...20%-os növelését teszi szükségessé.

A tirisztorok vezetési irányú jellemzői bekapcsolt állapotban a diódákéhoz hasonlóak. Ennek megfelelően a párhuzamos kapcsoláshoz a tirisztorokat vezetési

irányú feszültségesésük szerint csoportokba kell válogatni, azonban a gyújtás megkönnyítése és a bekapcsolási áram meredekségének korlátozása érdekében az egyes tiriszorokkal egy-egy fojtótekercset szoktak sorbakapcsolni [2], [3].



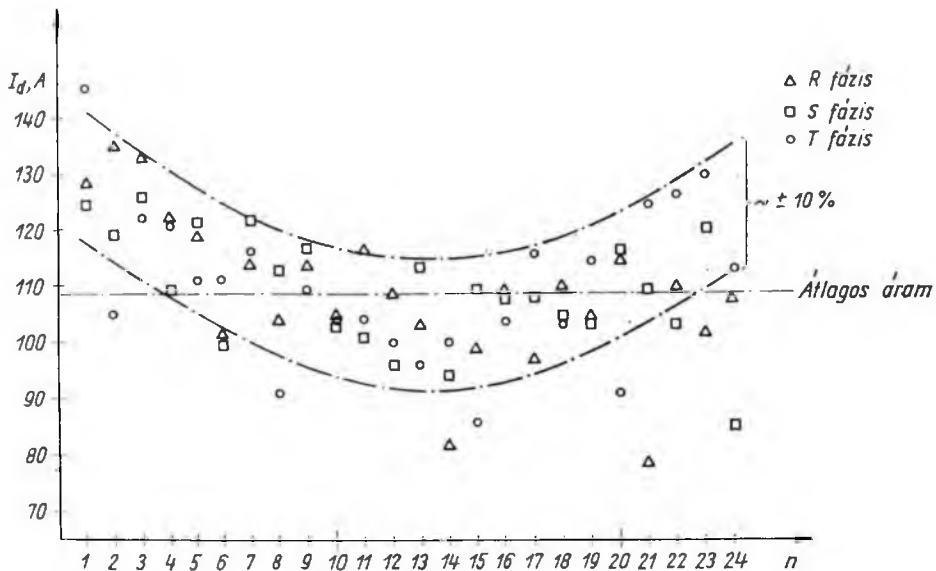
10-1. ábra. Áramirányító-elemek egyenirányító-ágakban használatos elrendezési módjai

Az eddigi intézkedések betartása esetében is előfordulhat azonban, hogy az áramelosztás nagyszámú párhuzamosan kapcsolt elem esetén nagyobb eltérést mutat, mint azt a vezetési irányú feszültségesések eltérése indokolta tenné. Tapasztalatok szerint ez a járulékos hiba az elem beépítési helyének függvénye, tehát az okot a készülék felépítésében kell keresni.

Az egyik hazai alumíniumkohóban üzemelő külföldi gyártmányú egyenirányítón végzett mérések szerint az áganként párhuzamosan kapcsolt 24 db dióda áramának középértéke a beépítési hely szerint a 10-2. ábrán látható eloszlást mutatta. Az ábrán jól felismerhető, hogy az azonos helyre beépített diódák között az árameltérés kb.  $\pm 10\%$ -on belül marad, az áramvezető sínek széleihez csatlakozó diódák árama azonban lényegesen nagyobb, mint a közepén levő diódáké. Az egyenirányító terhelése a mérés alatt 7750 A volt. Ennek megfelelően egy dióda átlagos terhelése

$$I_{c1} = \frac{7750}{3 \cdot 24} = 108 \text{ A,}$$

amelyhez képest a sín felső végéhez csatlakozó diódán folyó, maximálisan 140 A áram 30% többletterhelést jelent. Végeredményben a nyitóirányú feszültségesések eltéréseiből eredő 10% áramosztási hiba mellett a készülék felépítéséből további 20% árameltérés származik.



10-2. ábra. Az árameloszlás helyfüggése vízszintes tengelyen a beépítés helye felülről lefelé; azonos helyen az egyes fázisokhoz tartozó diódák árama

A következőkben vizsgálat alá vesszük ennek a járulékos áramosztási hibának az okait. A számítások és kismintákon végzett mérések alapján olyan méretezési elvet közlünk, amelynek betratása esetén a felépítésből adódó járulékos áramosztási hiba elviselhető határok között tartható.

### 1. A sínzés ellenállásának hatása

Az egyenirányító-készülékek szokásos sínrendezése vázlatosan a 10-3. ábrán látható. A számításhoz feltételezzük, hogy a sín keresztmetszete állandó és mindkét sín keresztmetszete egyenlő. Feltételezzük továbbá, hogy az egyes elemek nyitóirányú jelleggörbéje egyenlő egymással, és a 10-4. ábra szerint a következő kifejezéssel lehet helyettesíteni:

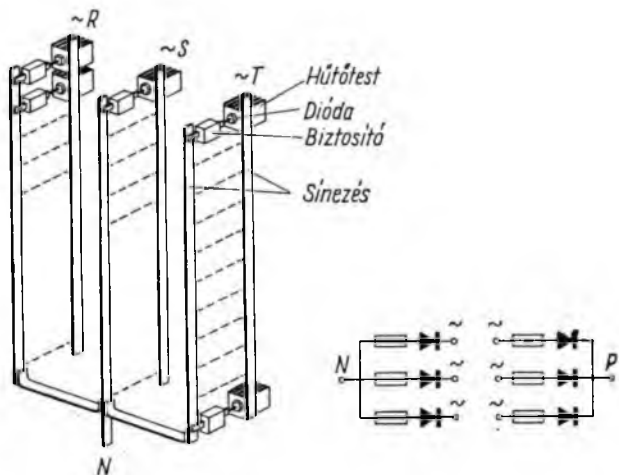
$$u_d = U_{d0} + R_d i, \quad (1)$$

ahol  $U_{d0}$  a dióda ún. küszöb feszültsége és  $R_d$  a dióda dinamikus ellenállása. Ha a diódákkal biztosító is van sorbakapcsolva, a dinamikus ellenálláshoz hozzá kell adni a biztosító  $R_b$  ellenállását is.

A számítások értelemszerűen alkalmazhatók akkor is, ha a készülékben a diódák kapcsolása a 10-1b ábra szerinti. Ekkor mind a küszöb feszültségeket, mind a dinamikus ellenállásokat össze kell adni.

Ha az egyenirányító egyenáramú kapcsolaihoz a terhelés simítófojtón keresztül csatlakozik, vagy az egyenirányító-kapcsolás ütemszáma nagy, az egyes egyenirányító-ágakon folyó áram az áramvezetés alatt időben állandónak tekinthető. A névleges terhelés körül az áramvezetés időtartamához képest többnyire elhanyagolható az





10-3. ábra. Egyenirányító-készülék sínelrendezése

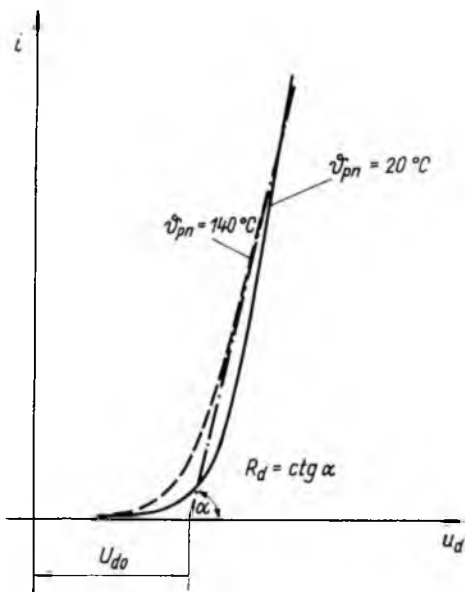
egyenirányító-ágak közötti kommutáció ideje is. Mindezek figyelembevételével az áramvezető sínek befolyó és elfolyó áramát időben állandónak tekintjük. A számítások alapjául a 10-5. ábra szolgál.  $I_0$  a be-, ill. elfolyó egyenáram,  $I$  a sínben folyó áram, amely a relatív koordináta függvénye. A  $H$  hosszúságú,  $Q$  keresztmetszetű sínszal egyenáramú ellenállása, ha az üzemi hőmérsékleten a fajlagos ellenállása  $\varrho$ :

$$R = \varrho \frac{H}{Q} \quad (2)$$

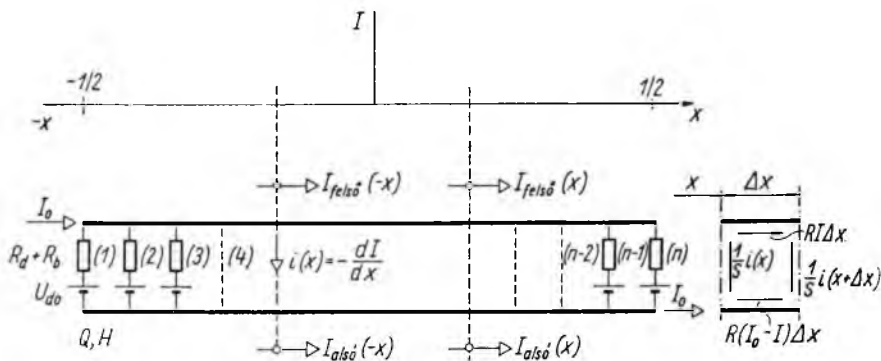
és a feltételezések szerint mindkét sín ellenállása egyenlő. (A következő számítások egyenlőtlen keresztmetszetek esetén is érvényesek, ha a két sínszal átlagos ellenállásával számolunk.) A sínek között  $n$  darab dióda van párhuzamosan kapcsolva, amelyek küszöbfeszültsége és dinamikus ellenállása egyenlő. A dinamikus ellenállások és a biztosítók ellenállásának összegéből számítva, a két sín közötti vezetőképesség:

$$S = \frac{n}{R_d + R_b} \quad (3)$$

Ha elegendően nagy számú dióda van párhuzamosan kapcsolva, feltételezhetjük, hogy a sínek hossza mentén egyenletesen elosztott átvezetést jelenítenek. A rendszer szimmetriájából következik, hogy (a 10-5. ábra szerint) a



10-4. ábra. Egyenirányító-elem nyitóirányú jelleggörbéje



$$I_{\text{alsó}}(-x) - I_{\text{felső}}(x) = I$$

$$I_{\text{felső}}(x) + I_{\text{alsó}}(x) - I_0$$

10-5. ábra. Áramköri helyettesítő kapcsolat

felső sín árama az  $x$  helyen egyenlő az alsó sín áramával a  $-x$  helyen. Ugyanakkor valamely  $x$  helyen a felső és alsó sínben folyó áram összege állandó és  $I_0$  értékű.

Az egyes diódák árama a sínek mentén elosztott átvezetési árammal, ill. a sín hosszegységére eső keresztirányú árammal arányos, amely viszont a sínáram hosszegységre eső csökkenése:

$$i = - \frac{dI}{dx}. \quad (4)$$

A sín  $\Delta x$  hosszúságú szakaszára felírt huroktörvény szerint (10-5. ábra), mivel a küszöbfeszültségek egyenlők:

$$RI \Delta x - R(I_0 - I) \Delta x + \frac{i(x + \Delta x)}{S} - \frac{i(x)}{S} = 0,$$

$$R(2I - I_0) = \frac{1}{S} \frac{i(x + \Delta x) - i(x)}{\Delta x}. \quad (5)$$

$\Delta x \rightarrow dx$  határátmenettel, a (4) egyenletet figyelembe véve:

$$\left( I - \frac{I_0}{2} \right) 2RS = \frac{di}{dx} = \frac{d^2 I(x)}{dx^2}. \quad (6)$$

Mivel  $I_0$  áram az  $x$  helytől független, az egyenlet felírható a következőképpen is:

$$\left( I - \frac{I_0}{2} \right) 2RS = \frac{d^2}{dx^2} \left( I - \frac{I_0}{2} \right). \quad (7)$$

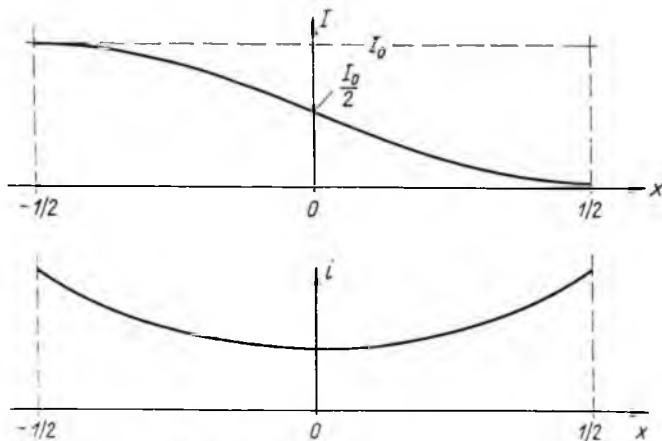
A (7) differenciálegyenlet megoldása, figyelembe véve a kezdeti feltételeket és a szimmetriafeltételeket:

$$I(x) = \frac{I_0}{2} \left[ 1 - \frac{\text{sh} \sqrt{2RS}x}{\text{sh} \sqrt{2RS} \frac{1}{2}} \right]. \quad (8)$$

A diódák áramosztása szempontjából a rajtuk átfolyó áram erősségét kell kiszámítani. A (4) egyenlet értelmében

$$i(x) = \frac{I_0}{2} \sqrt{2RS} \frac{\operatorname{ch} \sqrt{2RS}x}{\operatorname{sh} \sqrt{2RS} \frac{1}{2}}. \quad (9)$$

A 10-6. ábrán a sínekben és a diódákban folyó áramot ábrázoltuk vázlatosan, a relatív hossz függvényében.



10-6. ábra.  $\sin(I)$  és diódaáram ( $i$ )

A diódák igénybevételének meghatározásához csak a sín végéhez csatlakozó dióda áramát kell meghatározni az átlagos áramhoz viszonyítva. Ha a diódák között az áram egyenletesen oszlana meg, az egységnyi relatív hosszúságú sín mentén a hosszegységre eső áram  $I_0$  lenne. A (9) képlettel számított áramérték viszont az  $x = \pm \frac{1}{2}$  helyen az átlagos  $I_0$  áramhoz viszonyítva

$$\frac{i(1/2)}{I_0} = \sqrt{\frac{RS}{2}} \operatorname{cth} \sqrt{\frac{RS}{2}}. \quad (10)$$

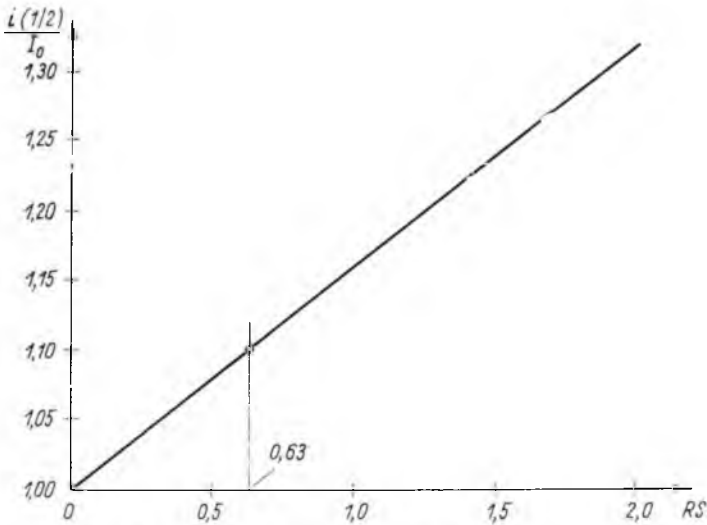
Mint látható, az árameltérés a sínezés ellenállásának és a diódák eredő dinamikus ellenállásának viszonyától függ. Az összefüggést a 10-7. ábrán rajzoltuk fel. Az  $RS$  szorzat növekedésével az árameltérés növekszik. Ha előírjuk, hogy az eltérés nem lehet 10%-nál nagyobb, akkor  $RS$  értékére az alábbi előírást kapjuk:

$$RS < 0,63. \quad (11)$$

Ha egy példaként felvett elrendezésben áganként 24 párhuzamos dióda van, amelyek dinamikus ellenállása  $0,8 \text{ m}\Omega$ , a biztosítók ellenállása  $0,2 \text{ m}\Omega$ , akkor

$$S = \frac{24 \cdot 10^8}{0,8 + 0,2} = 24 \cdot 10^8 \Omega^{-1}.$$

Legyen az áramvezető sín hossza  $1600 \text{ mm}$  és keresztmetszete  $1000 \text{ mm}^2$ . (Ilyen nagy áramú készü-



10-7. ábra. Áramosztási hiba a sínellenállás hatására

lécek általában vízhűtéssel készülnek, ezért a vízzel hűtött sínben az áramsűrűség nagy lehet.) Egy szinál ellenállása 80 °C üzemi hőmérsékleten

$$R = 0,022 \frac{1,6}{1000} = 35,2 \cdot 10^{-6} \Omega.$$

Az  $RS$  szorzat ennek megfelelően 0,845 értékű lesz, amelyhez a 10-7. ábra szerint 14% többlet-árameltérés tartozik.

A számpéldából látható, hogy a járulékos áramosztási hiba a tapasztalatokkal egyezően valóban nagy lehet, ha

- a) nagyszámú diódát kapcsolunk párhuzamosan;
- b) a sín ellenállása viszonylag nagy, mert a diódák nem elegendően szoros szerelése miatt a sín hosszú (pl. léghűtésű készülékben),
- c) a sín (sín) keresztmetszete kicsi, mert a sín intenzív hűtése (pl. víz- vagy olajhűtés) a keresztmetszet csökkentését lehetővé teszi.

Több dióda soros kapcsolásakor a 10-1b, ill. 10-1c ábra szerinti kapcsolásban egyrészt az egyes diódák dinamikus ellenállása összeadódik, ezzel a vezetési irányú feszültségesés szórása csökken, másrészt az  $RS$  szorzat is megnő, az áramosztási hiba általában megengedhető marad [4].

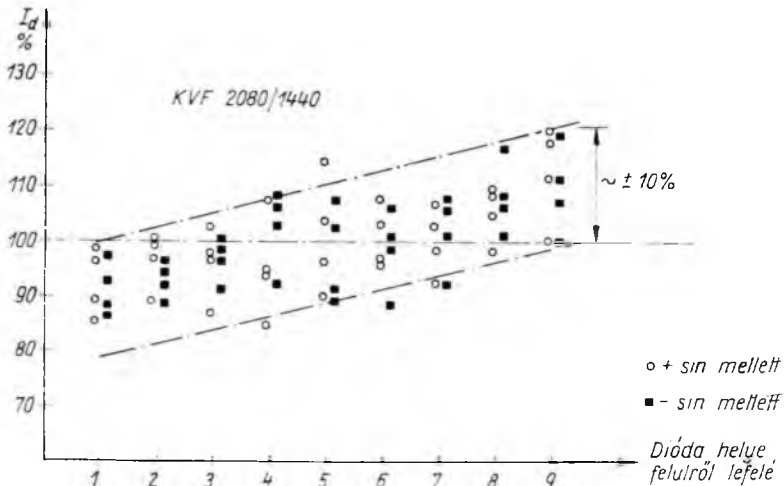
## 2. A sínezés induktivitásának hatása

Ha a készülék tervezésekor az előbbi fejezetben közölt előírásokat betartják (l. (11) képlet), a sínezés ellenállása nem befolyásolja megengedhetetlen mértékben a diódák közötti áramelosztást. A sínezések egymáshoz képesti kölcsönös induktivitása azonban hasonló áramosztási hibát okozhat.

A sínezés induktivitásának csak akkor lehet befolyása az áramosztásra, ha a sínekben folyó áram időben változik. Ez az időbeli változás akkor jelentős, ha kis

ütemszámú kapcsolást (pl. vontatási egyenirányító egyfázisú hidkapcsolásban) ellenállással terhelünk, vagy nagy ütemszámú kapcsolásban a névleges áramhoz viszonyítva nagy a terhelés (pl. az egyenirányító túlterhelések vagy zárlatakor), ezáltal a fedési szög oly mértékben megnő, hogy az egyenirányító-ágak árama gyakorlatilag időben félhullámú szinuszos lefolyású [5], [6], [7].

Méréseket végeztünk a hazai gyártású, V 43 sorozatú szilícium-egyenirányítós mozdony főüzemi egyenirányítóján, próbateremben, ellenállás terheléssel. Az egyenirányító egyfázisú hidkapcsolású, áganként kilenc párhuzamos és öt soros diódát tartalmaz, a 10-1a ábra szerinti kapcsolásban. Nagyszámú mérési eredményt megvizsgálva, az egyenáramú sínek melletti oszlopban levő diódák árama (az átlagáram százalékában) a 10-8. ábra szerinti eloszlást mutatta. Jól felismer-



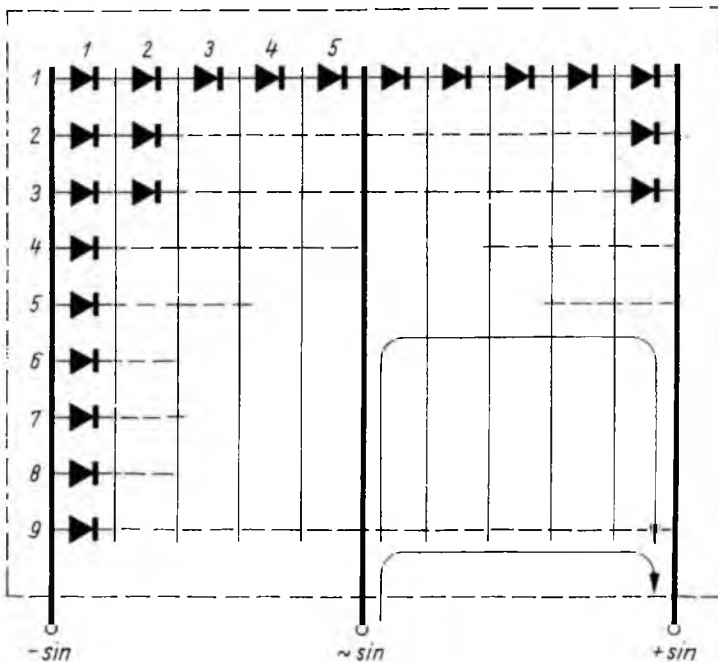
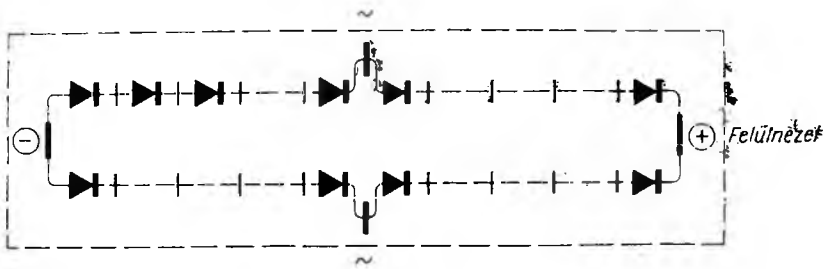
10-8. ábra. KVF 2080/1440 típusú egyenirányító áramelosztása konduktív terhelésnél

Egy helyen a P és N sínek melletti diódák százalékos áramterhelése szerepel; négy készüléken mért adatok.

hető, hogy az azonos helyre beépített diódák árameltérése, amely kb.  $\pm 10\%$ , a beépítés helyétől függően további 10% járulékos árameltéréssel növekszik. Annak bizonyítására, hogy ezt a járulékos hibát valóban a sínezés induktivitása okozza, a mérést megismételtük úgy, hogy a terhelő ellenállást fojtótekercsen keresztül kapcsoltuk az egyenirányító kimenetére. Ebben az esetben a járulékos hiba jelentősen csökkent. (Az áramosztás helyfüggése nem szűnt meg teljesen, mert az egyenirányító készülék áramhozzávetései nem szimmetrikusan vannak elhelyezve: a 10-9. ábra vázlatos elrendezési rajzán látható, hogy az egyes diódákhoz tartozó áramutak nem egyenlő hosszúak. Ennek következtében a sínezés ellenállása is kedvezőtlenül befolyásolja az áramosztást. Az, hogy ebben az aszimmetrikus elrendezésben az áramosztás mégis kielégítő, azzal magyarázható, hogy a soros diódák eredő vezetőképessége a sín ellenállásához viszonyítva kicsi [8]).

Az áramelosztást általános esetre, a sínezés konduktív ellenállását elhanyagolva számítjuk. A két sín kölcsönös induktivitása  $M$ , amely a két sínszal közötti térben egymással kapcsolt fluxus-eloszlásból számítható. Az előbbi fejezetben felvett feltételek és hasonló számítási menet szerint egy  $\Delta x$  hosszúságú szakaszra felírt Kirchhoff-féle hurokegyenlettel

$$\left[ \frac{\partial I}{\partial t} - \frac{\partial (I_0 - I)}{\partial t} \right] M \Delta x - \frac{1}{S} \left[ \frac{\partial I(x + \Delta x)}{\partial x} - \frac{\partial I(x)}{\partial x} \right] = 0. \quad (12)$$



10-9. ábra. KVF. 2080/1440 típusú egyenirányító diódaelrendezése

A jelölések megegyeznek az előző fejezet jelöléseivel.  $\Delta x \rightarrow dx$  határátmenettel és a (7) képlet szerinti helyettesítéssel az alábbi parciális differenciálegyenletet kapjuk:

$$\frac{\partial \left( I - \frac{I_0}{2} \right)}{\partial t} 2MS = \frac{\partial^2 \left( I - \frac{I_0}{2} \right)}{\partial x^2}. \quad (13)$$

Az egyenlet megoldásához először tételezzük fel, hogy az áram szinuszosan,  $\omega$  körfrekvenciával változik. Ez csak az állandósult állapot elérése után igaz és csakis akkor, ha a diódák egyenirányító hatását nem vesszük figyelembe. Ezekkel a feltételezésekkel tehát  $I_0$  áram is időben szinuszos lefolyású. Először számítsuk ki az egyszerűsítéssel kapható eredményt. Feltevés szerint (komplex alakban):

$$I_0(t) = I_0 e^{j\omega t} \quad (14)$$

Behelyettesítve a (13) egyenletbe és  $e^{j\omega t}$ -vel egyszerűsítve, figyelembe véve, hogy

$$\frac{d}{dt} e^{j\omega t} = j\omega e^{j\omega t}, \quad (15)$$

$$\left( \mathbf{I} - \frac{I_0}{2} \right) 2jXS = \frac{d^2}{dx^2} \left( \mathbf{I} - \frac{I_0}{2} \right) \quad (16)$$

eredményt kapjuk. A kezdeti feltételek helyettesítésével a differenciálegyenlet megoldása

$$\mathbf{I}(x) = \frac{I_0}{2} \left( 1 - \frac{\text{sh} \sqrt{2jXS}x}{\text{sh} \sqrt{2jXS} \frac{1}{2}} \right). \quad (17)$$

A megoldás a sínáram komplex amplitúdóját szolgáltatja a sín relatív hosszának függvényében. A sínáram mind a hely, mind az idő függvényében a következő alakban írható fel:

$$\mathbf{I}(x, t) = \mathbf{I}(x) e^{j\omega t}. \quad (18)$$

A diódák árama a sínáram hossz szerinti negatív deriváltja, az előzőhöz hasonlóan:

$$\mathbf{i}(x, t) = \frac{I_0}{2} \sqrt{2jXS} \frac{\text{ch} \sqrt{2jXS}x}{\text{sh} \sqrt{2jXS} \frac{1}{2}} e^{j\omega t}. \quad (19)$$

$i(x, t)$  függvény amplitúdójának négyzetét a konjugálttal való szorzás adja:

$$i^2 = \mathbf{i}(x) \cdot \mathbf{i}^*(x),$$

$$i^2 = -\frac{I_0^2}{4} 2XS \frac{\text{ch} \sqrt{2jXS}x \text{ch} \sqrt{-2jXS}x}{\text{sh} \sqrt{2jXS} \frac{1}{2} \text{sh} \sqrt{-2jXS} \frac{1}{2}} \quad (20)$$

figyelembe véve, hogy  $2\text{ch}(a) \cdot \text{ch}(b) = \text{ch}(a+b) + \text{ch}(a-b)$  és  $2\text{sh}(a) \cdot \text{sh}(b) = \text{ch}(a+b) - \text{ch}(a-b)$ , továbbá, hogy  $\sqrt{2j} = j+1$  és  $\sqrt{-2j} = j-1$ , az amplitúdó négyzete

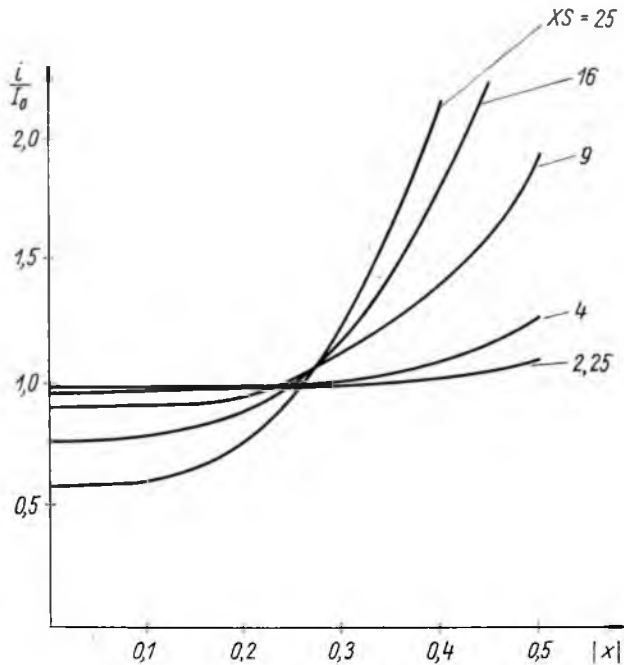
$$i^2 = -I_0^2 \frac{XS}{2} \frac{\text{ch} j\sqrt{XS} 2x + \text{ch} \sqrt{XS} 2x}{\text{ch} j\sqrt{XS} - \text{ch} \sqrt{XS}}. \quad (21)$$

Mivel  $\text{ch} ja = \cos a$  és (a későbbiekhez)  $\text{sh} ja = j \sin a$ ,

$$i^2 = I_0^2 \frac{XS}{2} \frac{\text{ch} \sqrt{XS} 2x + \cos \sqrt{XS} 2x}{\text{ch} \sqrt{XS} - \cos \sqrt{XS}} \quad (22)$$

eredményt kaptuk (10-10. ábra).

A diódaáramok (19) képletében szereplő komplex amplitúdóból kiszámítható  $i$  áramnak  $I_0$ -hoz képesti  $\varphi$  fázisszöge. Az eredő fázisszöget az egyes tagok fázis-



10-10. ábra. Áramosztási hiba a sín induktivitás hatására, az elemek egyenirányító-hatásának figyelembevétele nélkül

szögéből számíthatjuk: legyen  $A$ ,  $B$  és  $C$  a (19)-ben szereplő egyes tényezők valós része, akkor

$$\sqrt{2jXS} = (j+1)\sqrt{XS} = Ae^{j\pi/4}, \quad (23)$$

$$\text{ch } \sqrt{2jXS}x = Be^{j\varphi'}, \quad (24)$$

ahol

$$\text{tg } \varphi' = \text{tg } \sqrt{XS}x \cdot \text{th } \sqrt{XS}x; \quad (25)$$

végül

$$\text{sh } \sqrt{2jXS} \frac{1}{2} = Ce^{j\varphi''}, \quad (26)$$

ahol

$$\text{tg } \varphi'' = \frac{\text{tg } \sqrt{XS} \frac{1}{2}}{\text{th } \sqrt{XS} \frac{1}{2}}. \quad (27)$$

Végeredményben a

$$\varphi(x) = \frac{\pi}{4} + \varphi'(x) - \varphi'' \quad (28)$$

függvény  $XS$  paraméterértékkel a 10-11. ábrán látható. Az amplitúdófüggvény (22) és a fázisszögfüggvény (28) egy  $XS$  értéknél összetartozó értékeit a 10-12. ábra



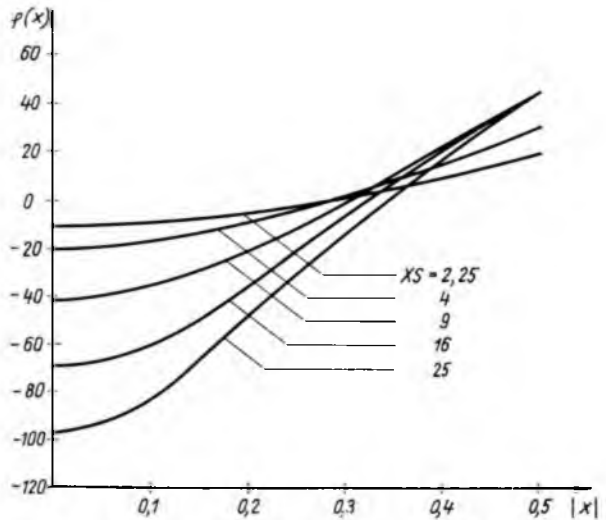
szemlélteti. (Az egyes sinszakaszok részarámának vektoros összege a befolyó áramot szolgáltatja.)

Az ábrán látható, hogy a szélső diódák helyén folyó áram ( $x=0,5$ ) az  $I_0$  áramhoz képest fázisban siet, a középső diódáknál ( $x=0$ ) pedig késik. Az áram amplitúdója a két szélén nagyobb, közepen kisebb, tehát az áram abszolút értékének eloszlása hasonló az előző fejezetben számítottához.

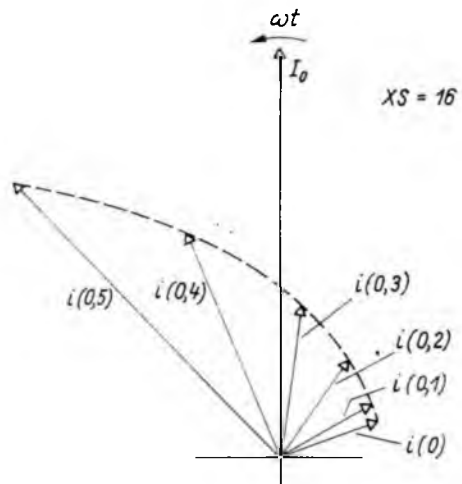
Most vizsgáljuk meg, hogyan vehetjük figyelembe a kapott eredményekben a diódák egyenirányító hatását. Háromfázisú egyenirányító túlterhelésekor, vagy egyfázisú kapcsolásban ellenállás terheléssel az  $I_0$  áram időben nem szinuszos, hanem jó közelítéssel félhullámú szinusz függvény szerint változik. Ennek megfelelően az áramok állandósult állapotbeli értéke csak a minden periódusban induló újbóli bekapcsolási folyamat összegezésével lenne számítható, amely a számításokat nagyon megnehezítené [9]. Ennek elkerülésére további egyszerűsítő feltétellel végezzük a számításokat.

Az  $I_0$  áram nullaátmenetekor induló bekapcsolási folyamat átmeneti áramösszetevőt hoz létre. Ha most — a szokásosnak megfelelő elrendezésben — két dióda közötti sinszakasz induktivitását igen nagyra, pl.  $100 \mu\text{H}$  értékűnek tételezzük fel, a szakaszt összefogó két dióda együttes, kb.  $2 \text{ m}\Omega$  dinamikus ellenállásával számolva, a körben létrehozott átmeneti áram  $0,2 \text{ ms}$  időállandóval csillapodik. Tekintettel arra, hogy ez az érték a hálózati frekvenciának megfelelő  $20 \text{ ms}$  periódusidőnél két nagyságrenddel kisebb, jogos az a közelítő feltevés, hogy az áram átmeneti összetevőjét a diódaáramokban elhanyagoljuk. Úgy folytathatjuk a számításokat, mintha az állandósult állapotra kapott eredmények bármely időpillanatban érvényesek lennének. (Ezt a közelítést a kis-minta-mérések is igazolták.)

Az  $I_0$  áramhoz képest az egyes diódákon a 10-12. ábrán látható áramoknak

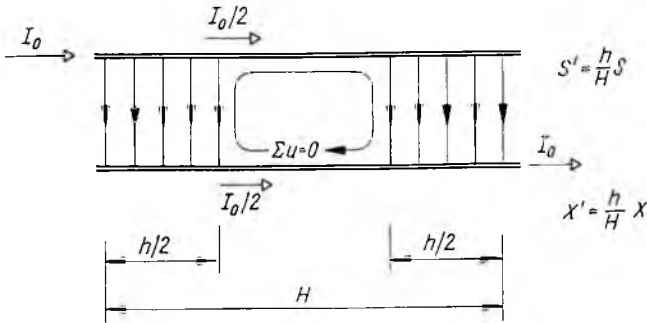


10-11. ábra. Az elemek áramának fázishelyzete  $I_0$  áramhoz képest, az elemek egyenirányító-hatásának figyelembevétele nélkül



10-12. ábra. Áramamplitúdó és fázisszögeloszlás

kellene folyni. Mivel a diódákön záróirányban áram nem folyhat, azokon a diódákön, ahol az áram pillanatértéke negatív lenne, áram nem folyik. Ha azonban a diódák egy része nem vezet áramot, megváltozik az árameloszlás számításakor felvett kiinduló feltételünk is.



10-13. ábra. Viszonylagos sínrövidülés

Azon a sínszakaszon, ahol a diódák nem vesznek részt az áramvezetésben, a szimmetria következtében a felső és alsó sínben folyó áram egymással egyenlő. Ennek megfelelően a még éppen áramot vezető diódák által bezárt hurokban különbségi áramot létrehozó feszültség nem jön létre (10-13. ábra). Végeredményben az elrendezés úgy fogható fel, mintha a sín a keresztirányban áramot nem vezető részszel rövidebbé vált volna. Ennek az lesz a következménye, hogy  $X$  és  $S$  értéke a sín „rövidülése” következtében  $X'$  és  $S'$  értékére változik, amelyhez egy megváltozott árameloszlási kép tartozik. A tényleges árameloszlást e két feltétel együttes teljesülése szabja meg.

Azt, hogy mekkora lesz a nem vezető szakasz, az szabja meg, hogy a legbelső (a módosult  $X$  és  $S$  értékhez tartozó,  $x=0$  helyen levő) dióda áramának fáziskésése legfeljebb az  $I_0$  áram nulla átmenetétől számított  $\omega t$  szögnek megfelelő értékű lehet:

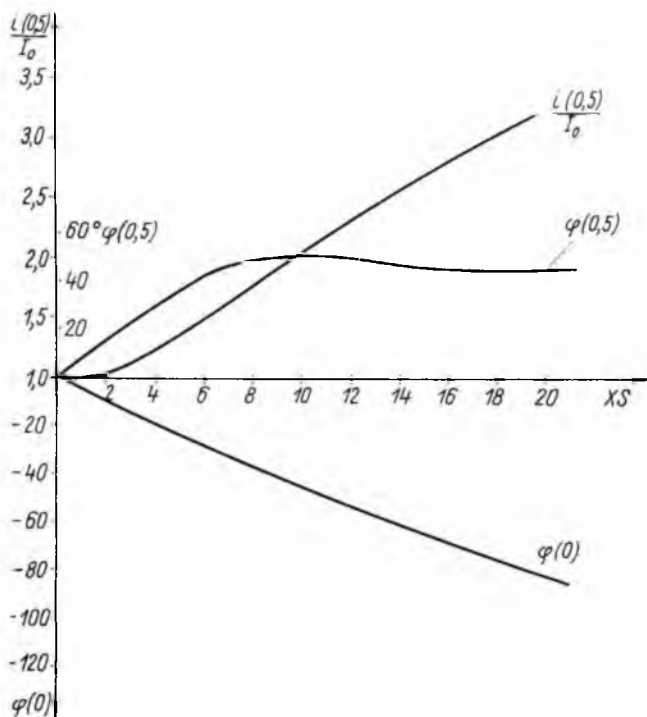
$$-\varphi(0) = \frac{\pi}{4} + \varphi'(0) - \varphi'' = \omega t. \quad (29)$$

Ez az összefüggés minden  $\omega t$  időpillanathoz meghatároz egy  $X'S'$  szorzatot,  $\varphi$  ugyanis  $XS$  függvénye (10-14. ábra). A részünkre fontos szélső dióda árama ezek után közelítőleg úgy határozható meg, hogy  $0 < \omega t < \pi$  értékei között lépésenként meghatározzuk  $X'S'$  értékét, ezután a 10-14. ábra diagramjából leolvassuk az adott időpillanathoz tartozó  $i(0,5)$  értékét, amelyben figyelembe kell venni, hogy az  $x$  relatív koordináta a teljes sínhosszra vonatkozik, tehát a leolvasott értéket  $\sqrt{\frac{XS}{X'S'}}$  arányban növelni kell. Végeredményben a szélső dióda árama a hosszegységre vonatkoztatott értékkel

$$i(1/2; t) = \sqrt{\frac{XS}{X'S'}} i[\sqrt{X'S'}(\omega t)] \sin[\omega t + \varphi(\omega t)] \quad (30)$$

alakú egyenlettel írható le. Az áramvezetés addig tart, amíg  $i$  értéke pozitív. Az áram nem lesz szinuszos lefolyású, mert a szinuszos függvény amplitúdója és fázisszöge is az idő függvénye.

Az eredményből számunkra fontos az, hogy a szélső diódák a félperiódus idejénél csak rövidebb ideig vezetnek áramot. Az egyes helyeken levő diódák áramvezetésének idődiagramja egy felvett  $XS$  értékhez a 10-15. ábrán látható. A közép felé haladva az áramvezetés ideje úgy tolódik el, hogy a középső diódák vezetése késve kezdődik, és az áramvezetést a félperiódus végén fejezik be. Egy induktivitásokból,



10-14. ábra. A fázisszög és amplitúdó az  $XS$  szorzat függvényében

ellenállásokból és diódákból összeállított kismintán mért az áramalakokat a 10-16. ábrán mutatjuk be.

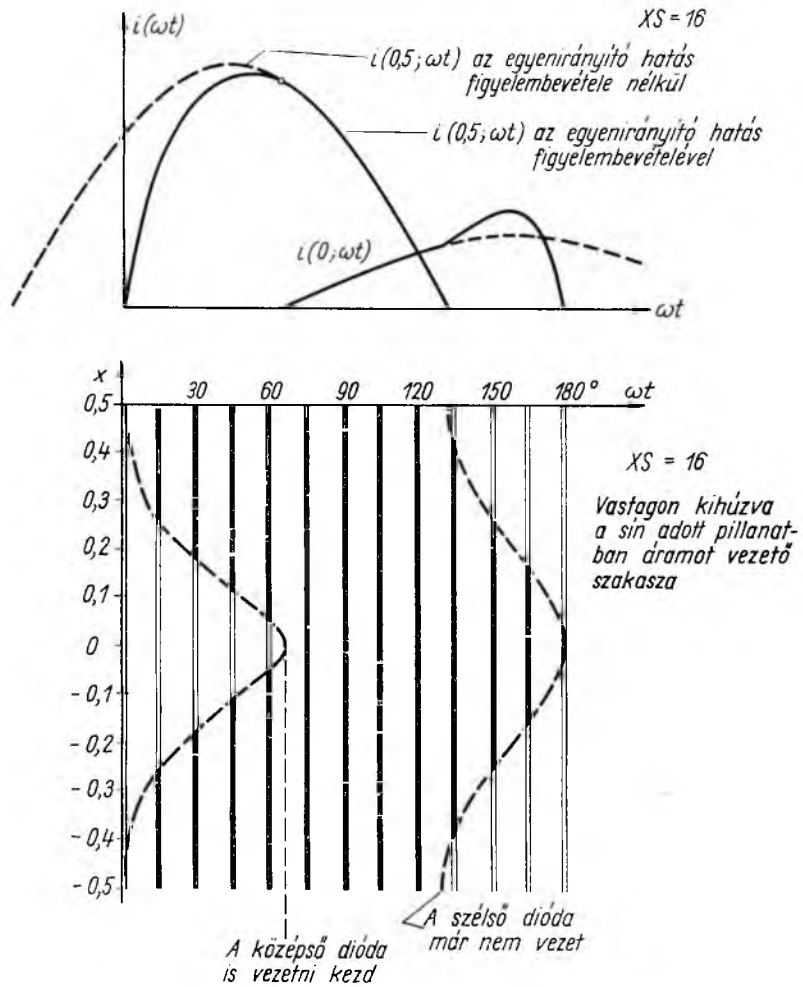
Az egyenirányító hatást figyelembe vevő számítások elvégzésére a gyakorlatban nincs mindig szükség. A pontosabb módszerrel kapott eredmények az áram középértékére kisebb értékeket szolgáltatnak, mintha a diódák egyenirányító szerepét nem vennénk figyelembe, a sín „rövidülése” miatt ugyanis az áram középértéke végeredményben csökken. Ez az eltérés azonban nem olyan nagy, hogy ne lenne elegendő a készülék méretezésekor betartani a szinuszos áramvezetési képre vonatkozó számításból kapható

$$XS < 2,3 \quad (31)$$

határfeltételt, amely biztosítja, hogy a szélső helyen levő dióda árama az átlaghoz képest 10%-nál jobban nem tér el. ( $XS$  értékét  $i(0,5)/I_0 = 1,1$  eltérésnél a 10-14. ábrából vehetjük.)

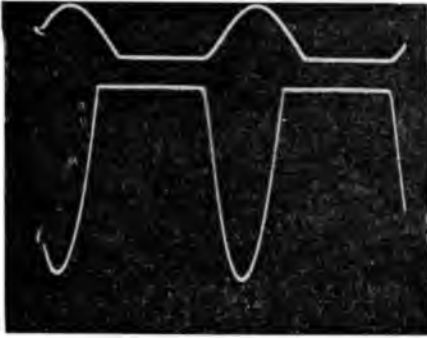
A sínek közötti kölcsönös induktivitás meghatározására — tekintettel az elrendezés bonyolultságára — pontos összefüggést nem adhatunk. A 10-17. ábrán közölt diagramból azonban elfogadható pontosságú értékeket olvashatunk le.

Példaként vegyünk egy olyan elrendezést, amelyben a sínek mérete  $20 \times 60$  mm, középvonaluk távolsága 200 mm, a sín hossza 1600 mm; ekkor a 10-16. ábrából leolvassa  $X = 0,165$  m $\Omega$ /m azaz  $X = 0,26$  m $\Omega$ ; 24 párhuzamos dióda esetében  $S = 24 \cdot 10^3 \Omega^{-1}$ . Ezekkel az adatokkal  $XS = 6,2$  amelyhez a 10-14. ábra szerint a szélső diódán az átlaghoz képest 48% többletáram tartozik. Ez az érték valamivel kisebb lenne, ha az ismertetett grafikus módszerrel a diódák egyenirányító hatásának figyelembevételével határoznánk meg az áram középértékét.

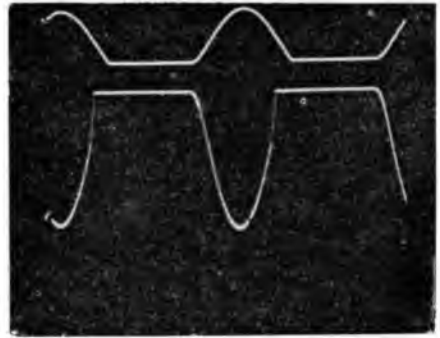


10-15. ábra. Diódák áramvezetési rendje a hely és idő függvényében

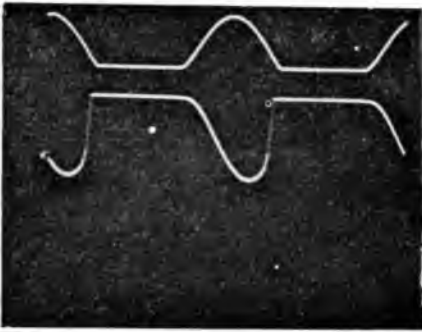
Megváltozna a helyzet, ha a síneket olyan közel helyeznénk egymáshoz, hogy közepes távolságuk 40 mm-re csökkenne. Ekkor  $X$  értéke 0,05 m $\Omega$ -ra változna és a szélső dióda árameltérése csak 8% lenne. Folyadékűtésű egyenirányító-berendezésben ez valóban megoldható és ezzel a sínezés induktivitásának hátrányos hatásai kiküszöbölhetők.



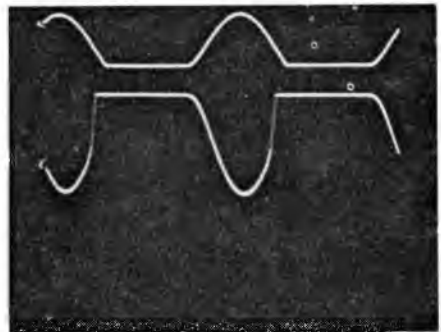
$x=0,5$



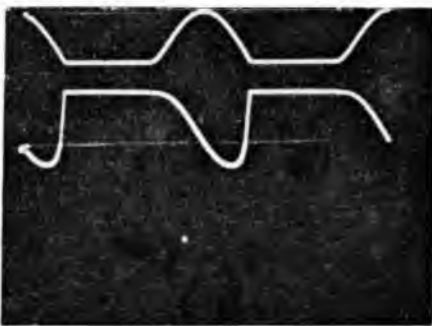
$x=0,4$



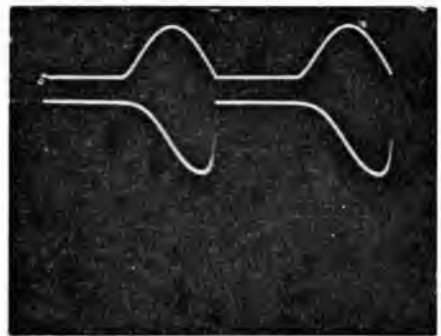
$x=0,3$



$x=0,2$

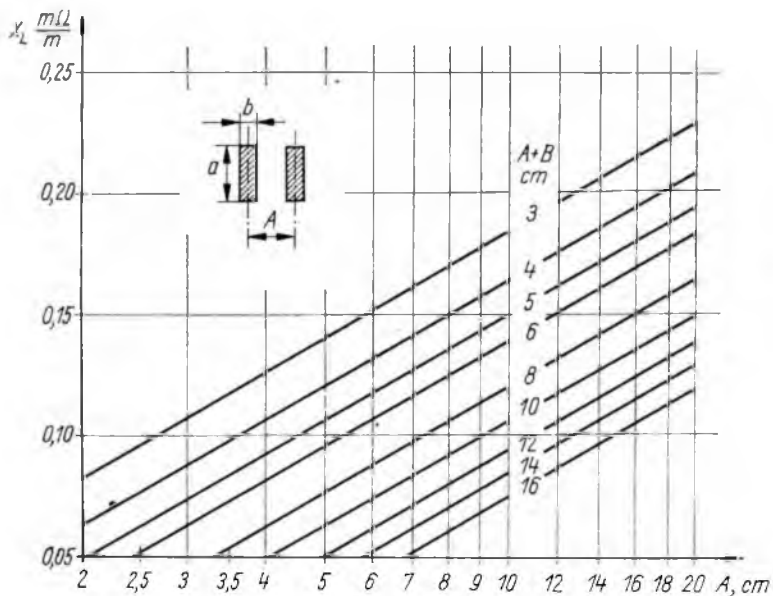


$x=0,1$



$x=0$

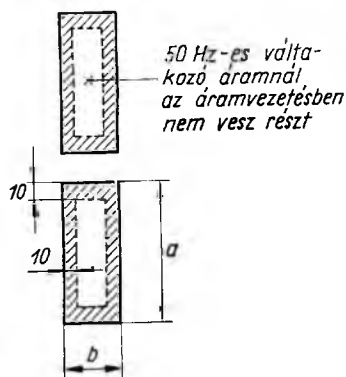
10-16. ábra. Diódaáramok a hely függvényében  
Felül a befolyó  $I_0$  áram, alatta az egyes diódák árama.  $XS=16$



10-17. ábra. Áramvezető sínek inductivitása

### 3. Az áramkiszorítás hatása az áramelosztásra

Ha elegendően szoros az áramvezető sínek elhelyezése, az áramirányító-elemek áramosztásának számításakor a sínezés inductivitását nem kell figyelembe venni. Az egyenirányító-ágakban folyó, időben változó áram és a sínek nagy keresztmetszete következtében azonban nem hanyagolható el az áramkiszorítás (skin effektus). Két, egymáshoz közel helyezett, négyszög keresztmetszetű sín esetében igen nehéz lenne meghatározni az ellenállásnövekedést. Tekintettel arra, hogy esetünkben közelítő értékkel is megelégedhetünk, elegendő figyelembe venni a sín ellenállásának növekedését, azt feltételezve, hogy az áram csak a hálózati frekvenciának megfelelő (réz sín esetében) 10 mm behatolási mélység által meghatározott külső keresztmetszetben folyik. Ha a sínek kisebb mérete nem több 20 mm-nél, az ellenállás megegyezik az egyenáramú ellenállással. Ha a sín 20 mm-nél szélesebb, az ellenállást akkor is csak 20 mm szélességű sínkeresztmetszetből számítjuk (10-18. ábra). A sín módosított ellenállását, ha a sín magassága  $a$ , szélessége  $b$ , a következő közelítéssel kaphatjuk:



10-18. ábra. Skinmélység

$$R' = \rho \frac{H}{20(a+b-20)}, \quad \text{ha } a, b > 20 \text{ mm.} \quad (32)$$

Ennek megfelelően (11) a következőképpen módosul:

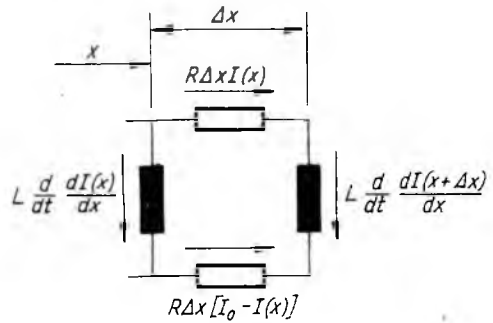
$$R'S > 0,63, \quad (33)$$

#### 4. Az áramirányító elemekkel sorbakapcsolt induktivitás hatása

A nagyteljesítményű tirisztoros áramirányítóokban, mint korábban már említettük, a párhuzamosan kapcsolt tirisztorok gyújtásának megkönnyítése és az áramfelfutási meredekség korlátozása érdekében az egyes elemekkel induktivitásokat szokás sorbakapcsolni.

Vizsgáljuk újra az áramelosztást azzal a feltétellel, hogy csak a sínek ellenállását vesszük figyelembe az elemekkel sorbakapcsolt induktivitások mellett és először eltekintünk az elemek egyenirányító hatásától. Ha feltevézzük emellett, hogy a sínbe befolyó  $I_0$  áram szinuszos lefolyású, a két sín között  $n$  számú,  $L_0$  nagyságú induktivitás van, amelyek párhuzamos eredője,

$$L = \frac{L_0}{n} \quad (34)$$



10-19. ábra. Helyettesítő kapcsolás keresztirányú induktivitásokkal

a  $\sin \Delta x$  hosszúságú szakaszára felírt huroktörvény szerint (10-19. ábra):

$$(2I - I_0) R \Delta x - \frac{d}{dt} L \left[ \frac{dI(x + \Delta x)}{dx} - \frac{dI(x)}{dx} \right] = 0. \quad (35)$$

$\Delta x \rightarrow dx$  határátmenettel, ha  $I(t) = Ie^{j\omega t}$  és  $\omega L = X$ , akkor

$$-2j \frac{R}{x} \left( I - \frac{I_0}{2} \right) = \frac{d}{dx^2} \left( I - \frac{I_0}{2} \right). \quad (36)$$

A kapott differenciálegyenlet megoldása a határfeltételek figyelembevételével:

$$I = \frac{I_0}{2} \left( 1 - \frac{\text{sh} \sqrt{-2j \frac{R}{X}} x}{\text{ch} \sqrt{-2j \frac{R}{X}} \frac{1}{2}} \right). \quad (37)$$

A megoldás lényegében megegyezik (17)-tel, azzal az eltéréssel, hogy  $\sqrt{2jXS}$  helyett most  $\sqrt{-2jR/X}$  szerepel. Ez azt jelenti, hogy az amplitúdó értékei megegyeznek az előbbi fejezetben számítottakkal, ha  $XS$  helyére  $R/X$  értékét írjuk, az egyes elemek áramának fázisszöge — tekintettel arra, hogy a komplex áramértékek konjugált értékei szerepelnek —, a (28) képlethez képest a következőképpen módosul:

$$\varphi^* = \frac{\pi}{2} - \varphi. \quad (38)$$

Ez az eredmény azt jelenti, hogy a diódák egyenirányító hatásának figyelembevételekor azzal kell számolni, hogy — az előzőkkel ellentétben — most először a középső diódák kezdenek vezetni, és a szélső diódák kapcsolódnak be késve az áramvezetésbe.

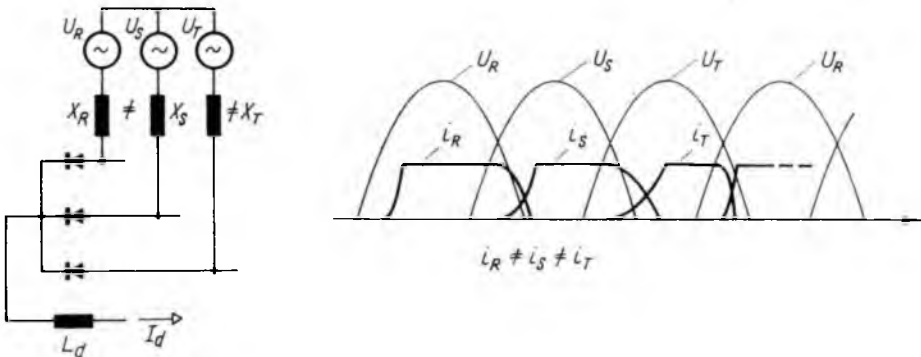
Az egyes elemekkel sorbakapcsolt induktivitások tehát amellett, hogy a rendeltetésüket betöltik, ha nem túl nagy értékűek, előnyösen hatnak az egyes elemek közötti árameloszlásra is. Az áramfelfutás meredekségét korlátozó induktivitások ugyanis a sínek közötti „átvezetést” csökkentve, a dinamikus áramosztást egyenletesebbé teszik, ugyanakkor a sín induktív hatását is ellensúlyozzák. Itt is be kell tartani az alábbi előírást:

$$\frac{R}{X} < 3,2. \quad (39)$$

### 5. Az egyes fázisokhoz tartozó sínek elrendezésének hatása

Egy áramirányító-készülékben egyetlen szekrényben általában több fázishoz tartozó elem kerül egymás közelébe. Az egyes elemek áramterhelését ennek következtében a különböző fázisokhoz tartozó sínek kölcsönös induktivitása is befolyásolja. Ez alapvetően két módon lehetséges.

Ha az egyes fázisokhoz tartozó sínek induktivitása nem egyenlő, a transzformátor szórási induktivitásával sorbakapcsolva különböző eredő reaktanciákat jelentenek. Nagyáramú készülékekben ez az eltérés olyan nagy lehet, hogy az egyes fázisok áramterhelése is egyenlőtlené válik azáltal, hogy a fázisok vezetési ideje különböző (10-20. ábra). Ennek elkerülésére a sínezést úgy kell kialakítani, hogy



10-20. ábra. Egyenlőtlen szórási reaktanciák hatása az egyes ágak áramterhelésére  
Az áram amplitúdója ugyanakkora, a vezetési idők változnak

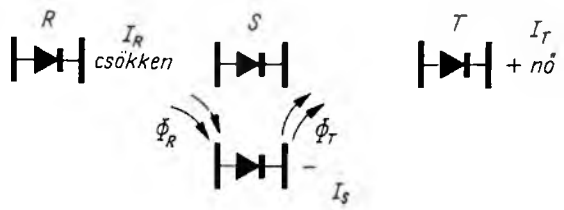
— esetleg a váltakozóáramú sínek sorrendjének cserélgetésével — az induktivitások végeredményben kiegyenlítődjenek.

Az áramirányító-szekrényen belül is kölcsönösen befolyásolhatják egymást az egyes fázisok sínezésében folyó áramok. Háromfázisú kapcsolásban névleges terhelés körül áramváltozás csak a fázisok közötti kommutáció alatt van.

Ha pl. a szekrény sínezését a 10-21. ábra szerint alakítjuk ki, példaképpen az *R* és *T* fázishoz tartozó oszlopban folyó áramok kommutációja alatt az *S* fázis két síne között levő elemek által bezárt keresztmetszetben feszültség indukálódik. Ez az indukált feszültség, — ha a két sín nem elegendően szorosan van beépítve, vagy egymás mellett és nem egymás előtt van, — olyan nagy lehet, hogy az egyes elemeken folyó áramot befolyásolhatja. A hatás folytán a sín felső és alsó végéhez csatlakozó

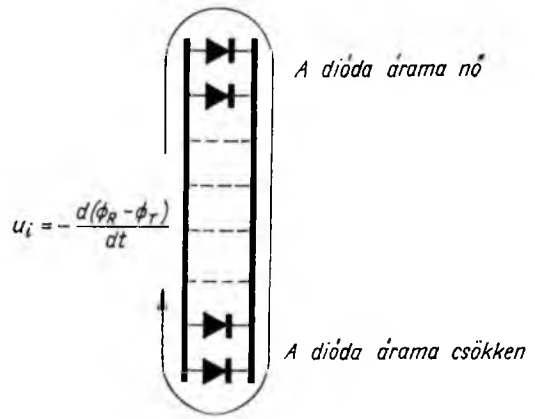


elemek árama nem lesz egyenlő: a 10-21. ábra szerinti elrendezésben a kommutáció alatt a felső elemek árama megnövekszik. Ezt az áramosztási hibára vezető áthatást ugyancsak a sínek megfelelő irányú és elegendően szoros szerelésével lehet ellensúlyozni.



### 6. Következtetések

Nagyszámú áramirányító-elem párhuzamos kapcsolásokor az áramirányító-készülék felépítésétől függően a sínezés ellenállása és induktivitása, az egyes elemekkel esetleg sorbakapcsolt induktivitások és a készülékben az egyes fázisokhoz tartozó sínek geometriai elrendezése az elemek áramelosztásában járulékos hibák oka lehet. Az egyes esetek minőségi és mennyiségi vizsgálatából azt a következtetést vonhatjuk le, hogy mintegy 20...25 elemnél több elem párhuzamos kapcsolásokor a készüléket már csak az áramosztási járulékos hibák figyelembevételével szabad kialakítani.



10.21 ábra. Az elemeket közrefogó sínekben indukált feszültségek kommutáció alatt

Tegyük fel, hogy a sínezés anyaga réz. Ha egy elem átlagosan 150 A-rel terhelhető, eredő dinamikus ellenállása 1 mΩ és egymástól 150 mm távolságra szerelhetők, akkor léghűtésű készülékben 2 A/mm<sup>2</sup> áramsűrűséggel számolva a sín ellenállásának figyelembevételéhez RS szorzat az elemek számának függvényében (n) így alakul (háromfázisú kapcsolatban):

$$R = \rho \frac{n \cdot 0,15}{Q}; \quad Q = \frac{n \cdot 150 \cdot \sqrt{3}}{2} \text{ mm}^2, \quad (40)$$

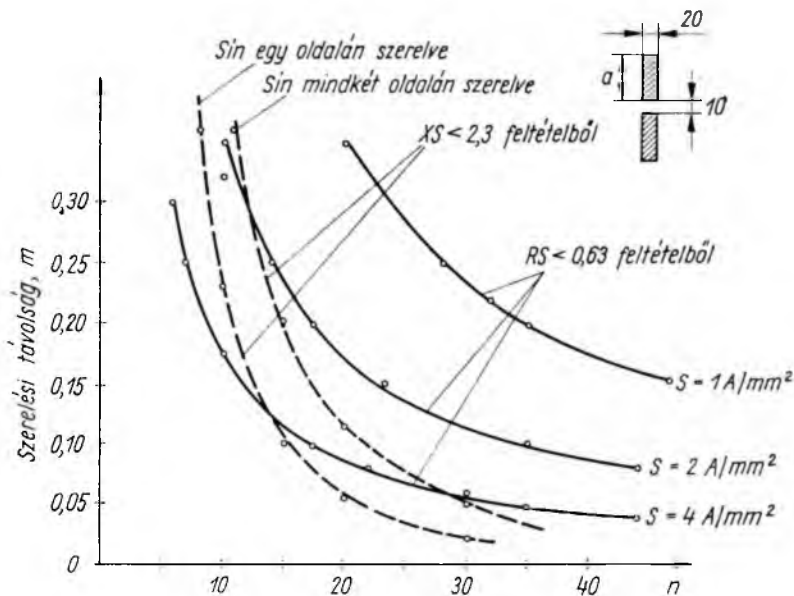
$$R = 0,022 \frac{0,15}{130} = 25,3 \cdot 10^{-6} \Omega, \quad (41)$$

$$S = \frac{n}{1} = n \cdot 10^3 \Omega + 1. \quad (42)$$

Ha RS értékét 0,63-ra korlátozzuk, az n darabszám maximálisan 25 lehet.

Növelhető a darabszám úgy, hogy folyadékhűtést alkalmaznak. Ekkor az elemeket a sín mindkét oldalára lehet szerelni, miáltal az osztásköz 150 mm-ről kb. 60 mm-re csökkenthető. Ebben az esetben változatlan áramsűrűség mellett n=60 lehet. 60 dióda esetében 2 A/mm<sup>2</sup> áramsűrűség mellett azonban a sín keresztmetszete 7800 mm<sup>2</sup>, amely már olyan nagy, hogy az áramkiszorítás és induktivitás miatti ellenállásnövekedés megengedhetetlenül nagy lesz. A sín ellenállásának, a sínezés induktivitásának és az áramkiszorításnak együttes figyelembevételével a 10-22. ábra diagramját kapjuk, amelyből leolvasható, hogy egy soros elem és háromfázisú áramirányító kapcsolat feltételezésével mekkora lehet a 10% járulékos hiba határára belül maximálisan párhuzamosan kapcsolható elemek száma.

Az elvégzett számításokból következik az is, hogy egyenként nagyobb terhelőségi elemek alkalmazásakor az előírásaink könnyebben betarthatók lesznek,



10-22. ábra. A maximálisan párhuzamosan kapcsolható elemek száma a készülék felépítésének függvényében

mert ugyanakkora áramerősség eléréséhez kevesebb elemet kell elhelyezni, ami viszonylag rövidebb síneket tesz szükségessé. Úgy tűnik, hogy diódákkal felépített készülékek esetében ez a körülmény nem játszik olyan döntő szerepet, hogy a diódagyártó cégeket a jelenleg elterjedt 200...300 A névleges áramnál nagyobb diódák kifejlesztésére ösztönözné. A tirisztoros készülékeknel azonban, tekintettel arra, hogy a tirisztorok mellett elhelyezendő vezérlőegységek jelentősen növelik a készülék méreteit, a nagyobb áramú elemek kifejlesztése indokolt. Ennek megfelelően kifejlesztésük több cégnél folyamatban van [11], [12].

#### Irodalom

- [1] Rácz, I.: Stromverteilung auf parallelschaltete Halbleiterzellen mit Ausgleichstransformatoren Acta techn. Hung. 1967. p. 379—394.
- [2] Mapham, N.: Overcoming turn-on effects in silicon controlled rectifiers. Electronics, (1962. aug. 17.) p. 50—51.
- [3] Irminger, G.: Beschaltung von Thyristoren (Brown Boveri Mitteilungen 10 (1966) p. 657—671.
- [4] Samek, E.: Dimenzovanie polovodivcovyh usmernovacov. Elektrotechnicky Obzor. 9 (1967) p. 504—507.
- [5] Möltgen, G.: Gleich- und Wechselrichter am Drehstromnetz (SSW Sonderdruck).
- [6] Pfothenhauer, J.: Digitale Berechnungen von Kurzschlussströmen in Stromrichteranlagen in Drehstrom-Brückenschaltung. Elektrie, 6 (1968) p. 221—224.
- [7] Jakubovszkij, U. Ja.: Osznovü teorii dvuhfaznoj szhemi preobrazovanija toka. Izvesztija VUZ Elektromechanika. 1966. jan p. 8—19.
- [8] Hadas J.: Főüzemi egyenirányító. VKI Közlemények 2. kötet.
- [9] Fodor Gy.: Laplace-transzformáció, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
- [10] Flachmann, U.—Steinbauer, W.: Wassergekühlte Silizium-Grossgleichrichter-Anlage in Kompaktbauweise für eine Aluminiumelektrolyse. Siemens Zeitschrift, 8 (1967) p. 679—687.
- [11] Herlet, A.—Hoffmann, A.: Flächengröße und Strombelastbarkeit von Thyristoren. Siemens Zeitschrift, 3 (1965) p. 180—184.
- [12] IEE Conference on power applications of controllable semiconductor devices. Direct Current 11 (1965) p. 168—170.

# 11.

## Tirisztor-gyújtóáramkörök

NEMESKÉRY GÉZA

### ÖSSZEFOGLALÁS

A tirisztorok begyújtási folyamatának rövid áttekintése után összefoglaljuk a gyújtó-impulzussal szemben támasztott követelményeket. Megvizsgáljuk a gyújtóáramkörök működését, különös tekintettel a háromfázisú hídkapcsolások vezérlésére, és összegezzük azokat az irányelveket, amelyeket a nagy áramirányítókat gyártó cégek gyújtóáramköreik kifejlesztése során követtek. Végül ismertetjük a Villamosipari Kutató Intézetben az elmúlt években kifejlesztett gyújtóáramkör szilícium alapanyagú félvezetőkkel és fémréteg ellenállásokkal megépített, továbbfejlesztett változatát.

### СХЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ ТИРИСТОРОВ

*G. Немешкери*

#### Резюме

После краткого обзора процесса зажигания тиристоров перечислим требования, предъявляемые к импульсам зажигания. Проанализируем работу схем зажигания, рассмотрев более подробно те, которые применяются в управляемых мостовых трехфазных схемах. Проследим также процесс развития схем зажигания для преобразователей тока, производимых различными фирмами. И, наконец, дадим описание разработанной в НИИЭП за прошедшие годы схемы зажигания с применением кремниевых полупроводниковых приборов и слоистых металлических сопротивлений, а также усовершенствованного варианта этой схемы.

### STEUEREINRICHTUNGEN FÜR THYRISTOREN

*G. Nemeskéry*

#### Zusammenfassung

Nach einer kurzen Übersicht des Zündungsprozesses von Thyristoren, werden die gegenüber den Zündimpulsen gestellten Anforderungen zusammengefasst. Es wird die Funktion der Steuereinrichtungen mit besonderer Hinsicht auf das Steuern der dreiphasen Brückenschaltungen untersucht und die Richtlinien zusammengefasst, welche bei der Entwicklung der Steuereinrichtungen die Firmen, die grosse Stromrichter herstellen, angewendet haben. Schliesslich wird eine neue Variante der im Institut der Elektroindustrie in den letzten Jahren entwickelten Steuersätze beschrieben, die mit Halbleiter aus Silizium Grundstoff und Metallschicht-Widerständen hergestellt wurde.

### FIRING CIRCUIT OF THYRISTORS

*G. Nemeskéry*

#### Summary

After a short review of the firing process of thyristors the requirements raised against the firing pulses are summarized. The function of firing circuits with special regard to the control of triphase bridge circuits are examined and the governing principles

are summed up followed by firms which worked out their own firing circuits in connection with the big rectifiers produced by them. Finally the recently improved type of firing circuit is described, which was worked out by the Institute of the Electrical Industry and is based on silicon semiconductors and metal-laminated resistances.

## 1. Bevezetés

Az áramirányítók vezérléséhez használt tirisztor-gyűjtőáramkörök feladata: az áramirányítók működés módja által meghatározott időpontban szolgáltatni a tirisztorok biztos bekapcsolásához szükséges gyűjtőáramot, és biztosítani, hogy a begyűjtött tirisztorok — az áramirányítókban fellépő járulékos hatások ellenére is — vezető állapotban maradjanak a szükséges időtartamig. A következőkben az ipari frekvenciájú váltakozófeszültségű hálózatról táplált áramirányítók gyűjtőáramköreit fogjuk tárgyalni, előbb azonban röviden áttekintjük a tirisztorok néhány, a gyűjtőáramkörök szempontjából fontos jellemzőjét.

Egy nem vezető tirisztor a pozitív záró jelleggörbe bármely pontján vezető állapotba hozható — begyűjtő. A begyűjtött tirisztor mindaddig vezető állapotban marad, amíg az anódáram a tartóáram ( $I_H$ ) értékénél nagyobb. A tirisztor begyűjtő a billenőfeszültség túllépésével vagy a tirisztor vezérlő elektródjára kapcsolt pozitív áramimpulzussal. Az első módszert csak mint elvi lehetőséget említjük, mert a jelenleg forgalomban levő tirisztorok esetében a billenőfeszültség üzemszerű túllépését nem engedjük meg, ezért a továbbiakban csak a második módszerrel foglalkozunk.

A tirisztor vezérlőkörének jellemzése céljából a gyártó cégek közlik a vezérlőkör karakterisztikáit. Ezek a réteghőmérsékletet és a példányszórást figyelembe véve megadják a vezérlőáram és a vezérlőfeszültség közötti összefüggést.

A jelleggörbéből megállapíthatjuk a gyűjtőáramot és a gyűjtőfeszültséget. Ezek azok az értékek, amelyek hatására a legnagyobb gyűjtőáramot, ill. gyűjtőfeszültséget igénylő tirisztorpéldányok a várható legalacsonyabb üzemi hőmérsékleten is biztosan begyűjtanak a katalógusban megadott anódfeszültség esetén.

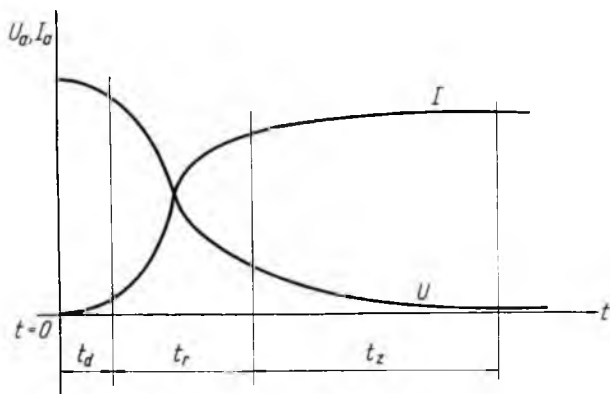
A jelleggörbéből megállapíthatók a vezérlőáramnak és a vezérlőfeszültségnek azok az összetartozó értékei is, amelyeknél a legkisebb gyűjtőáramot, ill. gyűjtőfeszültséget igénylő tirisztorpéldányok a megengedett legnagyobb réteghőmérséklet fellépésekor sem gyűjtanak be. A vezérlőkör karakterisztikái a megengedett maximális vezérlőtéljesítményt is megadják.

Arra azonban, hogy egy meghatározott áramirányító kapcsolás esetén a tirisztorokat milyen amplitúdójú, időtartamú és lefolyású árammal kell gyűjtani, a tirisztorok adatlapjai nem nyújthatnak felvilágosítást. A gyűjtőáram paramétereit a tirisztor és az áramirányító kapcsolása együtt határozzák meg.

Vizsgáljuk meg röviden a 11-1. ábra alapján, hogyan gyűjt be a tirisztor.

A  $t = 0$  időpontban igen meredek feljutású áramimpulzust kapcsolunk a vezérlő elektródra. Az áramimpulzus megjelenése után  $t_d$  ideig az anódfeszültség alig változik. Ez alatt az idő alatt a vezérlő áramimpulzus által injektált töltéshordozók elérik a tirisztor középső pn-átmenetét. A  $t_d$  időt gyűjtési késleltetésnek nevezik. A  $t_d$ -t a töltéshordozók futásiideje határozza meg. A  $t_d$  idő végére kialakulnak a tirisztor begyűjtésének feltételei: a két külső pn-átmenet áramerősítésének összege 1-nél nagyobbá válik. A  $t_d$  növekvő anódfeszültséggel, növekvő vezérlőárammal és növekvő réteghőmérséklettel csökken. Értéke néhány tized  $\mu$ s-tól néhány száz  $\mu$ s-ig változik a meghatározó tényezőktől függően.

A  $t_d$  idő elmúltával az anódfeszültség rohamosan csökken, ennek megfelelően az anódáram növekszik. Megkezdődik a tirisztor begyűjtása. További  $t_r$  idő múlva az anódáram gyakorlatilag eléri állandósult értékét. A  $t_r$  időt átkapcsolási időnek nevezik. Nagyságát elsősorban az anódáramkör határozza meg, és értéke általában nagyobb, mint  $t_d$ . A  $t_r$  idő alatt a szilícium tárcsának csak a vezérlőelektród közelében



11-1. ábra. A tirisztor gyűjtési folyamata

levő kis keresztmetszetű része vesz részt az anódáram vezetésében. Mivel az átkapcsolás alatt az anód—katód feszültség még jelentős és már az anódáram is nagy, ez alatt az idő alatt a szilícium tárcsának ez a kis keresztmetszetű része rendkívül nagy igénybevételnek van kitéve. Ha az anódáramkörben az áram növekedési sebessége nagyobbá válhat, mint a tirisztorra megengedett érték (ez általában  $5...25 \text{ A}/\mu\text{s}$ ) a növekedés sebességét járulékos kapcsolási elemekkel korlátozni kell. Ellenkező esetben a  $t_r$  idő alatt vezetővé vált szilícium tárcsarész összeolvad, azaz a tirisztor tönkremegy.

Az átkapcsolási folyamat után  $t_z$  idő múlva az áramvezetés kiterjed a szilícium tárcsa egész felületére. A  $t_z$ -t szétterjedési időnek nevezik. A szétterjedés sebessége kb.  $100 \text{ m/s}$ , amivel — egy  $15 \text{ mm}$  átmérőjű szilícium tárcsát véve alapul —  $t_z$  értéke  $150 \mu\text{s}$  [2].

## 2. A vezérlőáram amplitúdója és meredeksége

A fentiekben vázolt gyűjtési folyamat első két szakaszában ( $t_d$ ,  $t_r$ ), a tirisztor konstrukciója mellett a vezérlőáram meredeksége és amplitúdója is fontos szerepet játszik, a harmadik szakaszban ( $t_z$ ) lejátszódó folyamatot azonban a vezérlőáram már kevésbé befolyásolja.

A gyűjtési késleltetés ( $t_d$ ) egy kész tirisztor esetében csak a gyűjtőáram amplitúdójának növelésével csökkenthető. A gyűjtőáram növelésével a  $t_d$  idő néhány tized  $\mu\text{s}$ -ra rövidíthető.

Párhuzamosan kapcsolt tirisztorok esetében az egyes példányok gyűjtési késleltetése közötti különbségek miatt a kisebb gyűjtési késleltetésű példányok áramban, sorosan kapcsolt tirisztorok esetében pedig a nagyobb gyűjtési késleltetésű példányok feszültségben túlterhelődnek.

A gyűjtési késleltetést a gyűjtőimpulzus amplitúdójának növelésével lerövidítve az egyes példányok gyűjtési késleltetése közötti különbségek is kisebbek lesznek. Ez azt eredményezi, hogy az egyenletes áram- és feszültségeloszlás olcsóbb kiegészítő kapcsolási elemekkel (fojtótekerccsek,  $RC$ -tagok) és nagyobb biztonsággal valósítható meg. Ez ellensúlyozhatja a meredek impulzust szolgáltató gyűjtőegységre fordított többletet.

Az átkapcsolási időt ( $t_c$ ) a külső áramkör határozza meg, ezért azt a vezérlőimpulzussal nem tudjuk befolyásolni. Meredek felfutású anódáram esetén azonban lényeges, hogy a szilícium tárcsának az a része, amelyben a vezérlőelektród közvetlen közelében az átkapcsolás megtörik, minél nagyobb keresztmetszetű legyen. Az erősen túlterhelt csatornának a keresztmetszete a vezérlőáram amplitúdójának növelésével növelhető. Ehhez azonban az kell, hogy a vezérlőáram már az átkapcsolás folyamatának megindulása előtt, vagy annak kezdetén elérje a csúcserőértékét. Ezért is szükséges, hogy a gyűjtőimpulzus fölfutási meredeksége is nagy legyen.

A fenti tárgyalásból kitűnik, hogy a vezérlőimpulzus szükséges amplitúdóját és felfutási meredekségét párhuzamos vagy soros üzemben, ill. gyors anódáram-változások esetén, a tirisztorban lejátszódó fizikai folyamatok határozzák meg. A gyűjtőimpulzus amplitúdóját a katalógusokban szereplő gyűjtőáram 1,5...2-szeresére célszerű választani [3]. A gyűjtőimpulzus szükséges felfutási meredeksége, ha az áramirányítóban párhuzamosan vagy sorosan kapcsolt tirisztorok üzemelnek:  $2 \text{ A}/\mu\text{s}$  [3]. Ha az áramirányító nem tartalmaz párhuzamosan vagy sorosan kapcsolt tirisztorokat, és az anódáram felfutási meredeksége sem túl nagy, a vezérlőimpulzus meredekségét inkább az áramirányító kapcsolása határozza meg. Ilyen esetekben elegendő, ha a vezérlőáram  $50 \mu\text{s}$  alatt éri el a gyűjtőáram értékét [3]. Ha ez a feltétel teljesül, a sokfázisú áramirányító-kapcsolásokban a tirisztorok a vezérlőimpulzus megjelenése után a periódusidőhöz képest elhanyagolható késési idővel gyűjtanak a példányszórástól függetlenül.

### 3. A gyűjtőimpulzus időtartama

A gyűjtőimpulzus szükséges meredekségét és amplitúdóját elsősorban a tirisztorban lejátszódó fizikai folyamatok határozzák meg. A gyűjtőimpulzus időtartama szempontjából az egész áramirányító kapcsolása a döntő. A tirisztor gyűjtési folyamatának megindításához kb.  $10 \mu\text{s}$  hosszúságú impulzus elegendő. Hálózati áramirányítók vezérlésére használt gyűjtőimpulzusok hossza  $10 \mu\text{s}$  és  $10 \text{ ms}$  között változik, ezzel kapcsolatban azonban meg kell jegyeznünk a következőket.

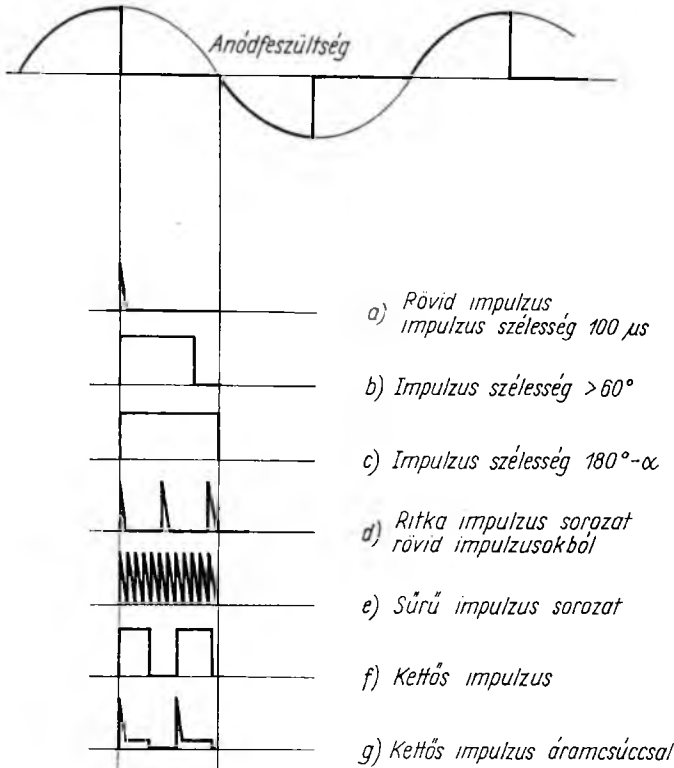
Hálózati áramirányítóknak a tirisztorok gyűjtésakor rezgési folyamatok lépnek fel. Ezek a rezgések erősen csillapodók ugyan, de a kis anódáramok tartományában előfordul, hogy a már egyszer begyűjtött tirisztort kioltják. A jelenség elkerülésére közepes és nagyobb teljesítményű áramirányítók vezérlésénél ajánlatos legalább  $0,2 \dots 0,8 \text{ ms}$  hosszúságú gyűjtőimpulzusokat használni [3].

A 11-2. ábrán összefoglaltunk néhány gyűjtőimpulzus-alakot [3]. Egyes impulzust ott alkalmazunk, ahol a kívánt vezérlési tartományban mindig fennállnak a tirisztor gyűjtési feltételei.

Egyfázisú és háromfázisú egyutas kapcsolásoknál a szaggatott vezetés tartományában nagy ellenfeszültséget tartalmazó fogyasztó (akkumulátor, egyenáramú gép, gyűjtősín) esetén a megkívánt vezérlési tartomány jelentős részében előfordulhat, hogy az ellenfeszültség nagyobb, mint a hálózati feszültség pillanatértéke. Ilyenkor a tirisztor anód—katód feszültsége negatív, és ha ekkor kapja az egyetlen gyűjtő-

impulzust, akkor nem gyújt be, ennek következtében az egyenirányító egy üteme kimarad.

Ha az áramirányító üzeme szempontjából ez a jelenség hátrányos, úgy küszöbölhetjük ki, hogy a megkívánt vezérlési tartományban több egymás után következő gyújtóimpulzust alkalmazunk (11-2d ábra), vagy az impulzus időtartamát a kívánt mértékben meghosszabbítjuk.



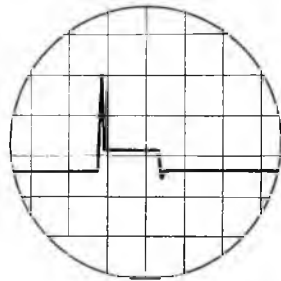
11-2. ábra. Gyújtóimpulzusok

Ha váltakozófeszültséget antiparalel kapcsolt tirisztorokkal szabályozunk, a gyújtást  $180^\circ - \alpha$  szögtartományban fenn kell tartanunk. Ez több szempontból ajánlatos. Így ugyanis egyrészt a szabályozást változó  $\cos \varphi$  esetén is kézben tudjuk tartani, másrészt üresen járó transzformátorok vagy aszinkron motorok ilyen táplálása esetén a tirisztoroknak a kommutációs lengések okozta kialvása a transzformátorok vagy motorok egyenáramú előmágnesezését idézi elő, ami föltétlenül elkerülendő.

A  $180^\circ - \alpha$  hosszúságú impulzust (11-2c ábra) a kimeneti transzformátor méreteinek csökkentése érdekében sűrű impulzussorozattal helyettesíthetjük (11-2e ábra).

Háromfázisú teljesen vezérelt hídkapcsolásokban biztosítani kell, hogy az ellentétes hídágakban levő két tirisztor (párhuzamos vagy soros kapcsolás esetén két tirisztorcsoport) egyidejűleg kapjon gyújtóimpulzust. Ezt úgy érhetjük el, hogy vagy a vezérlőimpulzus időtartamát  $60^\circ$ -nál hosszabbra választjuk (11-2b ábra),

vagy kettős impulzust alkalmazunk (11-2f ábra). Az utóbbi a kedvezőbb, mert a feladatot dinamikusán oldja meg. Kettős impulzussal történő gyújtás esetén az első vezérlőimpulzust akkor adjuk a vezérlőelektródra, amikor a tirisztornak át kell vennie az áramvezetést, a második impulzust pedig akkor, amikor a másik hídágban levő párja kommutál. Ilyen vezérlési mód megvalósítható úgy, hogy a tirisztort először a saját impulzuserősítőtől, másodszer a másik hídágban levő tirisztor impulzuserősítőtől gyújtjuk. Az impulzusokat diódás VAGY-kapun keresztül kapcsoljuk a vezérlőelektródra. Ebben a rendszerben egy impulzuserősítő mindig két különböző hídágban elhelyezett tirisztort vagy tirisztorcsoportot gyújt egyszerre, azonban egy periódusban ( $360^\circ$ ) csak egyszer működik. Kettős impulzussal úgy is megvalósítható a vezérlés, hogy egy tirisztort mindig csak a hozzátartozó impulzuserősítő vezérel. Ekkor az impulzuserősítő egyszerre mindig csak egy hídágban levő tirisztort vagy tirisztorcsoportot gyújt, azonban egy periódusban kétszer egy hídágban levő tirisztort vagy tirisztorcsoportot gyújt, a második impulzust a másik hídágban levő tirisztorhoz tartozó gyújtóegységtől érkező jel váltja ki [4].



*Csúcs:  $3 \text{ A}$ , meredekség nagyobb, mint  $2 \text{ A}/\mu\text{s}$   
Csúcs időtartama:  $1,25 \mu\text{s}$   
Telj. impulzus időtartama: kb.  $3 \text{ ms}$*

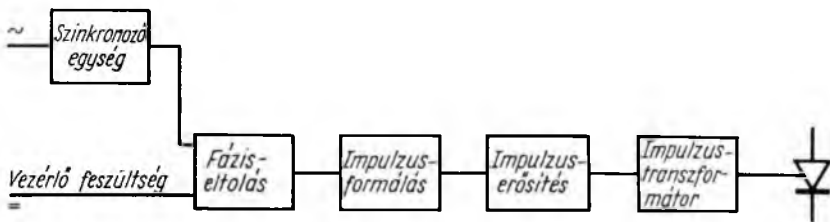
11-3. ábra. Vezérlő áramimpulzus meredek áramcsúccsal (Siemens)

Sorosan és párhuzamosan kapcsolt tirisztorok gyújtására alkalmazzák az olyan vezérlőimpulzust, amelynek felfutó élén meredek áramcsúcs van (11-2g ábra). Ilyen impulzust mutat a 11-3. ábra (SIEMENS).

Sorosan és párhuzamosan kapcsolt tirisztorok gyújtására alkalmazzák az olyan vezérlőimpulzust, amelynek felfutó élén meredek áramcsúcs van (11-2g ábra). Ilyen impulzust mutat a 11-3. ábra (SIEMENS).

#### 4. Gyújtóáramkörök felépítése

A hálózatról vezérelt áramirányítókhoz használt gyújtóáramkörök fő szerkezeti egységeit a 11-4. ábrán tüntettük fel. Ezek az egységek nem mindig különülnek el élesen egymástól. Például egyátmenetű tranzisztorral építve, a szinkronozás, fáziseltolás és impulzusformálás feladatát az egyátmenetű tranzisztor egymaga ellátja.



11-4. ábra

A fáziseltolást sokszor fűrészfogfeszültség felhasználásával létesítik. Egy ilyen fokozat működését a későbbiekben részletesen tárgyalni fogjuk. Előnyei: egyszerű eszközökkel megvalósítható és  $180^\circ$ -onként érkező szinkronozóimpulzusok esetén a fáziseltolás majdnem a teljes  $0^\circ \dots 180^\circ$ -os tartományra kiterjeszhető. Több fáziseltoló fokozat könnyen összehangolható, mert azonos meredekségű fűrészfeszültsé-

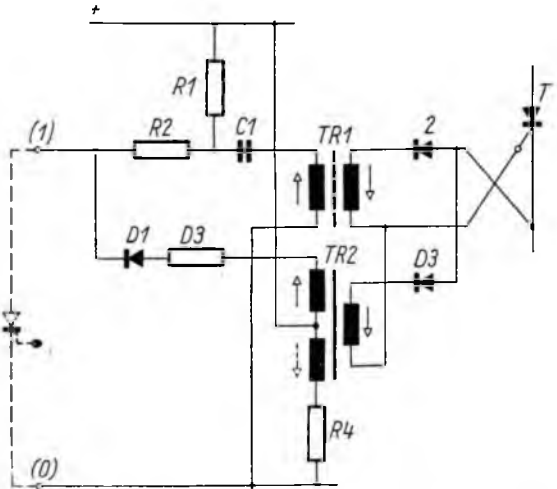


geket könnyen előállíthatunk. A fűrészgenerátort stabilizált tápforrásról üzemeltetve a hálózati zavarokat kiküszöbölhetjük.

Ugyanazt a fázistoló fokozatot a hálózati feszültség pozitív és negatív félperiódusában is kihasználva igen jó szimmetriájú vezérlést érthetünk el, ami különösen antiparalel tirisztorok vezérlésénél nagyon előnyös.

Azoknál a fázistoló fokozatoknál, amelyek a fáziseltolást fűrészfogfeszültség felhasználásával valósítják meg, a bemenő feszültség és a fáziseltolási szög között lineáris kapcsolat van, ezért a vezérelt áramirányító kapcsolófeszültsége a bemeneti feszültség koszinuszával arányos.

Félig vezérelt hidkapcsolású egyenirányítók esetén, ha a fáziseltolást fűrészfogfeszültség helyett  $U(1 + \cos \omega t)$  alakú feszültség felhasználásával oldjuk meg, az egyenirányító kapcsolófeszültsége és a fázistoló fokozat bemenő feszültsége között lineáris összefüggést kapunk, ami szabályozástechnikai szempontból kedvező.



11-5. ábra. Impulzustranzformátor-egység (Siemens)

A fázistoló fokozat kimenetén rendelkezésre álló jel az impulzusformáló fokozat bemenetére kerül. Ez a fokozat teljesítményerősítőként működik, másrészt meghatározza a vezérlőimpulzus időtartamát. Erre a célra használhatunk blocking oszcillátort (rövid impulzusok), telítődő vasmagos oszcillátort (hosszabb impulzusok), monostabil multivibrátort (hosszú impulzusok).

Az impulzusformáló fokozat működhet úgy is, hogy egy feltöltött kondenzátort négyréteg-diódán vagy tirisztoron keresztül az adott időpontban kisütünk. A kondenzátor és a töltőfeszültség változtatásával különböző időtartamú és energiájú impulzusok állíthatók elő.

Ha az áramirányító nem tartalmaz sok párhuzamos és soros tirisztor, további impulzuserősítő fokozatra nincs szükség. A tirisztorok vezérléséhez elegendő az impulzusformáló kimenetén rendelkezésre álló jel, amely az impulzustranzformátoron keresztül jut a tirisztor vezérlőelektródjára.

Nagy áramirányítók esetén a megfelelő nagyteljesítményű vezérlőimpulzusokat külön impulzuserősítők állítják elő. Ezek jelentős teljesítményű impulzusok leadására képesek, pl. a 11-3. ábrán közölt vezérlőjelet előállító impulzus erősítő 100  $\mu$ s-on keresztül 120 A-el terhelhető 50 Hz-es üzem esetén. Ilyen teljesítményszinteken gyors tirisztorokat alkalmaznak teljesítményerősítő elemként. A kapcsolások a tirisztoros szaggatók elvén működnek. A mágneses szórások csökkentése céljából az impulzuserősítők kimeneti feszültségét aránylag nagyobbra választják (100...200 V).

Az impulzustranzformátorok a vezérlőkört galvanikusan elválasztják a tirisztoroktól és egyben az impulzuserősítő kimeneti paramétereit illesztik a tirisztor vezérlőköréhez. Az impulzustranzformátoroknak jó nagyfrekvenciás tulajdonságokkal kell rendelkezniük. Ez kisveszteségű vasmaggal (ferrit, vékony permalloy

lemezek) és kis szórású tekercseléssel érhető el. Ha az impulzussal szemben fokozott követelményeket támasztanak (meredek felfutás, hosszú hát), a feladatot gyakran nem lehet egy impulzustranzformátorral megoldani.

A néhány ms időtartamú hát átvitelére alkalmas tranzformátorokkal nem lehet biztosítani a párhuzamos járás esetén ajánlott  $2 \text{ A}/\mu\text{s}$ -os áramfelfutási meredekséget.

Ilyenkor két impulzustranzformátort alkalmaznak. Az igen rövid impulzusok átvitelére alkalmas ferritmagost és egy másikat, amely az impulzus hátát alakítja ki. Az utóbbit közönséges tranzformátor vasmagra célszerű elkészíteni, mert ennek sokkal nagyobb a telítési indukciója, mint a középfrekvenciás vasaknak és így kisebbek a méretek. Ezekre a tranzformátorokra még egy harmadik tekercset is készítenek, amelynek segítségével a vasmagot egyenárammal ellenkező irányban előmágnesezik. Ezt a megoldást alkalmazva impulzusadáskor az indukció változása a vasmagban a telítési indukció kétszerese. Mivel ennél a tranzformátornál a nagyfrekvenciás átvitel lényegtelen, a tranzformátor vasvesztései hátrányt nem jelentenek.

A két különböző impulzustranzformátor szekunder áramát diódákkal összegezik a tirisztor vezérlőelektródján. A 11-5. ábrán egy ilyen kapcsolást mutatunk be (Siemens).

A rövid, meredek impulzus úgy jön létre, hogy a feltöltődött  $C1$  kondenzátort az impulzuserősítő (1)—(0) kapcsolatokra csatlakozó tirisztor a  $TR1$  tranzformátor primer tekercsén át kisüti.

Az impulzus hátát a  $TR2$  tranzformátor alakítja ki. A  $TR2$  vasmagját az  $R4$  ellenálláson át folyó áram, a  $TR1$  vasmagját pedig  $C1$  töltőárama az impulzus-szünetekben visszaállítja.

## 5. A Villamosipari Kutató Intézetben kifejlesztett tirisztorvezérlő egység

A vezérlőegység kapcsolását a 11-6. ábra mutatja.

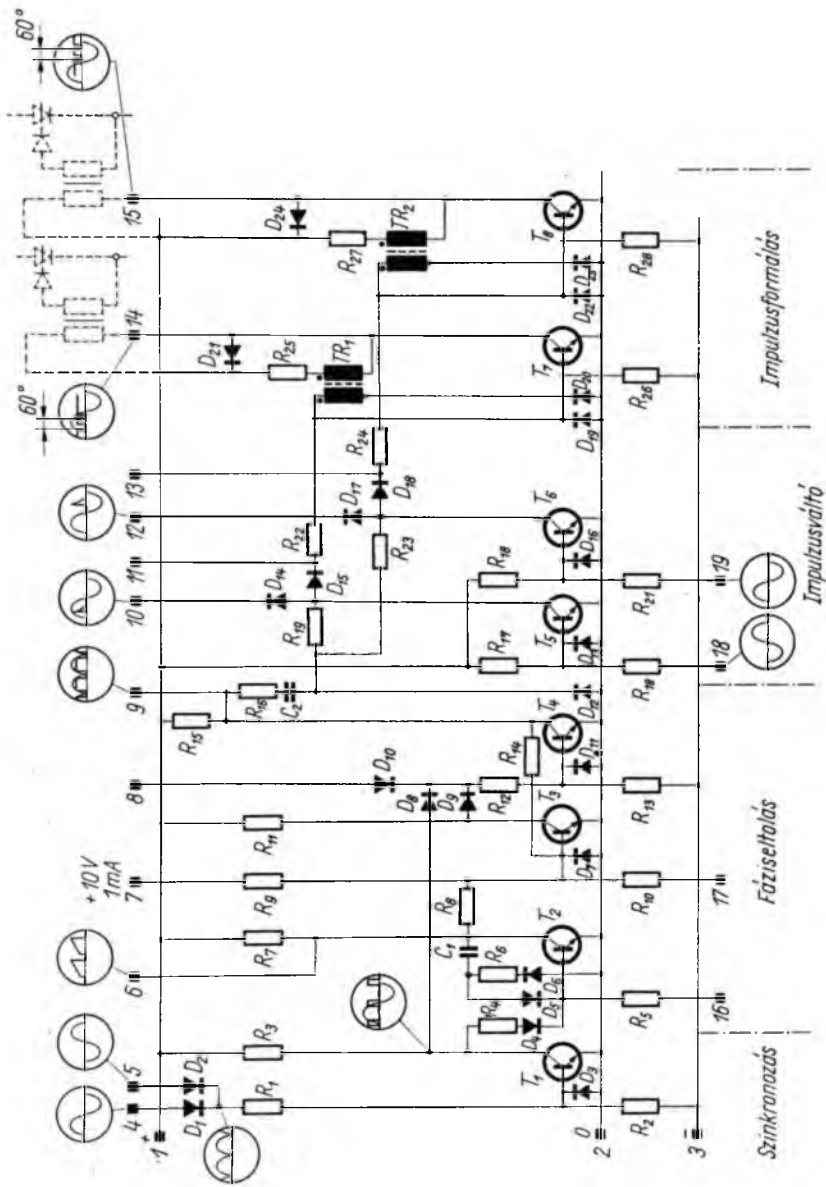
*Főbb műszaki jellemzői:*

Tápfeszültségek:

1	+ 24 V (+ 20 V... + 30 V)
2	0 V
3	- 24 V (- 20 V... - 30 V)

Bemeneti pontok:

7	0... + 10 V/1 mA vezérlőfeszültség
8	+ 24 V (+ 20 V... + 30 V) 2,2 k $\Omega$ -os ellenállásról, impulzusletiltás
11	+ 3 V <sub>csüics</sub> } indítóimpulzusok a másik fázis vezérlőegységéről
13	+ 3 V <sub>csüics</sub> }
16	0... - 10 V/0,5 mA fűrészfog-meredekség beállítása
17	0...10 V/1 mA 0 vezérlőfeszültséghez tartozó gyűjtásszög beállítása
4	24 V <sub>eff</sub> (20 V...60 V) szinkronozófeszültség
5	24 V <sub>eff</sub> (20 V...60 V) szinkronozófeszültség
18	24 V <sub>eff</sub> (20 V...60 V) impulzusváltót szinkronozó feszültség
19	24 V <sub>eff</sub> (20 V...60 V) impulzusváltót szinkronozó feszültség



11-6. ábra. Gyűjtőegység elvi kapcsolása

Kimeneti pontok:

- 6 + 5  $V_{csücs}$  ... + 10  $V_{csücs}$  fűrészfogfeszültség  
 9 + 6  $V_{csücs}$  négyszögfeszültség  
 10 + 3  $V_{csücs}$  } indítóimpulzusok a másik fázis vezérlőegységéhez  
 12 + 3  $V_{csücs}$   
 14 - 24 V, 2 A, 0,5 ms időtartam; négyszögimpulzus, periódusonként egy vagy 2 db, egymáshoz képest 60°-kal eltolva; felfutási idő: 0,5  $\mu$ s.  
 15 ugyanaz, mint a 14 kimeneten, de fázisban 180°-kal eltolva.  
 Az alábbiakban röviden ismertetjük a tirisztorvezérlő egység működési elvét.

### Szinkronozó fokozat

A szinkronozó fokozat  $T1$  tranzisztorának bázisán két áram összegeződik. Az egyik a szinkronozófeszültségek által a  $D1$  vagy  $D2$  diódákon és az  $R1$  ellenálláson áthajtott pozitív áram. (Pozitív előjelűnek nevezzük a továbbiakban az összegezési pontokba befolyó, negatív előjelűnek az onnan elfolyó áramot.) A másik az  $R2$  ellenálláson át a negatív tápfeszültség által hajtott negatív áram. Amíg az áramok összege pozitív,  $T1$  tranzisztor vezet, amint az összeg negatívvá válik,  $T1$  tranzisztor lezár. Az áramkört úgy méretezzük, hogy  $T1$  a szinkronozófeszültségek nullaátmenetének környezetében zár le. Ekkor  $T1$  kollektorán pozitív szinkronozóimpulzus jelenik meg.

### Fázistoló fokozat

A fáziseltolást a  $T2$  tranzisztorból álló fűrészfog-generátorral és a  $T3$ — $T4$  tranzisztorokból álló billenőkörrel oldottuk meg.

A szinkronozóimpulzus a szinkronozófeszültség átmenetekor az  $R4$ — $D4$  elemeken keresztül kinyitja  $T2$  tranzisztort. Ekkor a  $C1$  visszacsatoló kondenzátor a  $T2$  tranzisztoron, a  $D6$  diódán és az  $R6$  korlátozó-ellenálláson keresztül kisül. A  $D5$  dióda erre az időtartamra a  $C1$  kondenzátort leválasztja  $T2$  bázisköréről és ezzel biztosítja a gyors kisütést.

A szinkronozófeszültség nullaátmenete után  $T1$  kinyit, a szinkronozóimpulzus megszűnik és  $T2$  kollektor potenciálja az időben lineárisan növekedni kezd. A következőkben röviden megvizsgáljuk a fűrészfogfeszültség emelkedő szakaszának kialakulását. Amikor  $T2$  az aktív tartományban üzemel, bázisa a kb. 10 V-os jelszintekhez viszonyítva 0 potenciálon van, ezért  $T2$  kollektor potenciálja megegyezik a  $C1$  kondenzátoron levő feszültséggel:

$$U_{T2 \text{ koll}} = U_{C1} \quad (1)$$

A kondenzátor feszültsége időben az alábbi összefüggés szerint változik:

$$U_{C1} = \frac{1}{C1} \int_0^t i_{i0110} dt; \quad U_{C1/t=0} = 0. \quad (2)$$

A kondenzátor töltődése alatt  $T1$  tranzisztor vezető állapotban van és így  $D4$  diódán áram nem folyik. Ekkor  $T2$  bázisára az alábbi csomóponti egyenletet írhatjuk fel:

$$i_{i0110} - i_{R5} - i_{T2 \text{ bázis}} = 0. \quad (3)$$

Az áramkört úgy méreteztük, hogy  $T2$  bázisárama elhanyagolható az egyenletben szereplő másik két áram mellett. A bázisáram elhanyagolásával a (3) egyenlet így egyszerűsödik:

$$i_{10115} = i_{R5}. \quad (4)$$

Mivel  $T2$  bázisa  $C1$  töltődése alatt közelítőleg nullapotenciálra van, az  $R5$  ellenálláson átfolyó áram csak a  $I6$  kapcsolásra kötött negatív polaritású egyenfeszültségtől függő, időben állandó mennyiség:

$$i_{R5} = \frac{U_{16}}{R5}. \quad (5)$$

Az (1) egyenlet a (2), (3), (4) és (5) összefüggések figyelembevételével így alakul:

$$U_{T2\text{ koll}} = \frac{U_{16}}{R5 C1} \cdot t \quad (6)$$

A  $I6$  kapcsolásra kötött feszültség változtatásával a fűrészfog emelkedő szakaszának meredeksége folyamatosan, üzem közben állítható. Ez egyszerűvé teszi a vezérlőegységek összehangolását.

A  $T2$  tranzisztor kollektorfeszültségének a növekedése a következő szinkronozó-impulzus megjelenéséig tart, ezután a folyamat a  $C1$  kondenzátor kisütésével ismét újra kezdődik.

A  $T2$  tranzisztor kollektorán megjelenő fűrészfeszültség az  $R8$  ellenálláson át fűrészfog alakú áramot hajt.

A  $T3$  bázisán négy áram összegeződik:

1. Az  $R8$ -on át érkező pozitív, fűrészfog alakú áram:  $i_{R8}$ ;

2. a 7 kapcsolásra kötött vezérlő egyenfeszültség hatására az  $R9$  ellenálláson át folyó pozitív áram:  $i_{R9}$ ;

3. az  $R10$  ellenálláson elfolyó negatív áram, amelynek nagyságát a  $I7$  kapcsolásra kötött  $U_{17}$  negatív polaritású feszültséggel változtathatjuk:  $i_{R10}$ ;

4. az előző három áram eredője:  $i_{\text{eredő}}$ , amely ha pozitív, a  $T3$  tranzisztor bázisán, ha negatív, a  $D7$  diódán át folyik a csomópontba.

$T3$  vezetni kezd, mihelyt az eredő áram pozitívvá válik. Mivel  $T3$  és  $T4$  tranzisztorok billenőkört alkotnak,  $T3$  billenészerűen vezető állapotba kerül.

Vizsgáljuk meg, hogyan változik  $T3$  átkapcsolásának a szinkronozófeszültséghez képesti fázishelyzete, ha a 7 kapcsolásra kötött vezérlőfeszültséget változtatjuk.

A  $T3$  bázisára felírt csomóponti egyenlet:

$$i_{R8} + i_{R9} - i_{R10} = i_{\text{eredő}}. \quad (7)$$

A  $T3$  tranzisztor átbillenésének feltétele:

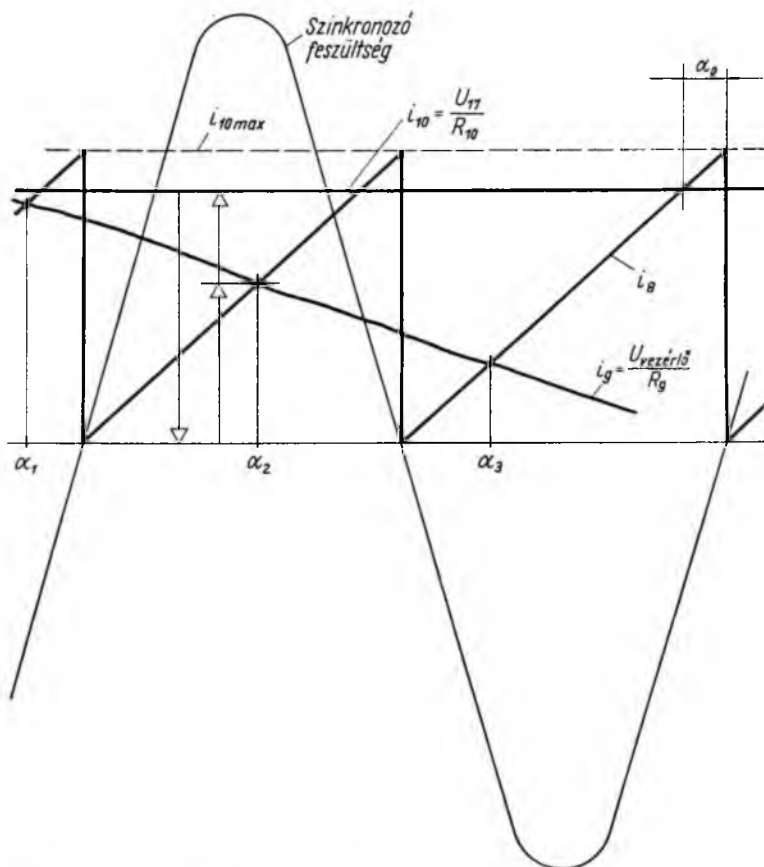
$$i_{\text{eredő}} > 0, \text{ határesetben: } i_{\text{eredő}} = 0.$$

Ezt figyelembe véve az átbillenés időpontját meghatározó egyenlet (7) alapján:

$$i_{R8} + i_{R9} - i_{R10} = 0. \quad (8)$$

A (8) egyenletet a 11-7. ábrán grafikusán ábrázoltuk. Az átbillenések helyét  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ -mal jelöltük. Az ábra alapján megállapíthatjuk, hogy  $U_{\text{vezérlő}}$  növelésével az  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  pontok fáziskésleltetése a szinkronozófeszültséghez képest lineárisan csökken.

A 11-7. ábrából kitűnik, hogyha az  $U_{17}$  feszültséget úgy választjuk meg, hogy az  $i_{10}$  áram az  $i_8$  fűrészfogáram csúcserkével legyen egyenlő, nulla vezérlőfeszültség esetén  $T3$  tranzisztor még éppen nem billen át a szinkronozófeszültség félperiódusai végén. Ha  $U_{17}$  értékét kisebbre választjuk,  $T3$  billenése már a félperiódusok vége előtt  $\alpha_0$  szöggel bekövetkezik. Az  $\alpha_0$  villamos szög a nullavezérlőfeszültséghez tartozó gyűjtásszög értékével egyenlő. Mivel  $\alpha_0$   $U_{17}$  feszültséggel folyamatosan változtatható, az áramirányítók inverter üzeme esetén szükséges gyűjtásszög-tartalékot ilyen módon állíthatjuk be.



11-7. ábra. Gyűjtőegység működése

A  $T3$ — $T4$  tranzisztorokból álló billenőkörben  $T3$  nyitása esetén  $T4$  kollektorán pozitív feszültségugrást kapunk. A feszültségugrás homloka  $C2$  kondenzátoron át mint impulzus jut a következő fokozat bemenetére.

A 11-7. ábrából láthatjuk, hogy ha a vezérlőfeszültség meghaladja a fűrészfogfeszültség csúcserkével,  $T3$  állandóan vezető állapotban marad. Ekkor  $T4$ , ha csak  $T3$ -ról kapna vezérlést, folyamatosan lezárt állapotban lenne, kollektorán nem keletkezhethetne feszültségugrás, és így a  $C2$  kondenzátoron keresztül nem kapna indítóimpulzust a következő fokozat. Ezt a kellemetlen jelenséget azzal hidaltuk át,

hogy *T4*-et nemcsak *T3*-ról vezéreljük, hanem a *D8* diódán át a szinkronozóimpulzussal is.

A vezérlőegység a 8 kapcsolra adott pozitív feszültséggel letiltható. Ilyenkor a *D10* diódán keresztül állandó bázisáramot kap, és ezért állandóan vezet.

### *Impulzusváltó*

A *T5* és *T6* tranzisztorokból álló impulzusváltó határozza meg azt, hogy a *C2* kondenzátoron keresztül érkező indítóimpulzus hatására a *T7*, ill. *T8* tranzisztorok közül melyik adjon ki tirisztorgyűjtő impulzust. Az impulzusváltó *T5* és *T6* tranzisztorait a *18* és *19* kapcsolokra kötött szinkronozófeszültségek vezérlik.

Az *R17*, ill. *R20* ellenállásokon keresztül folyó pozitív áram nyitja a *T5*, ill. *T6* tranzisztorot, ha a *18*, ill. *19* kapcsolokon nincsen megfelelő nagyságú negatív feszültség. Ezért a *T5*, ill. *T6* tranzisztorok a *18*, ill. *19* pontokra kapcsolt szinkronozófeszültség pozitív félhulláma alatt, sőt a negatív félhullámnak a nullaátmenet közelébe eső rövid szakasza alatt is nyitva vannak. Amíg pl. a *T5* tranzisztor nyitott állapotban van, addig a *C2* kondenzátoron át érkező indítóimpulzus nem mehet tovább a *D14*, ill. *D15* diódán keresztül, tehát nem vezérelheti a *T7* tranzisztorot. Mivel a *18* és *19* kapcsolokra ellenfázisban levő váltakozófeszültségeket kapcsolunk, *T5* és *T6* fölváltva vezet és zár le.

### *Impulzusformálás*

A fázistoló fokozat kimenő jele az impulzusváltón át az impulzusformáló bemenetére kerül.

A 11-6. ábra szerinti tirisztorvezérlő egységben, két teljesen azonos felépítésű impulzusformáló van (*T7* és *T8* tranzisztorok áramkörei), amelyek közül az egyik a szinkronozófeszültség pozitív félhulláma alatt, a másik a negatív félhullám alatt működik.

A működést a *T7* tranzisztor áramköre alapján tárgyaljuk.

Alapállapotban az *R26* ellenálláson átfolyó áram *D19* diódán kb.  $-0,5$  V feszültségesést hoz létre. Ez a negatív bázisfeszültség *T7*-et lezárja.

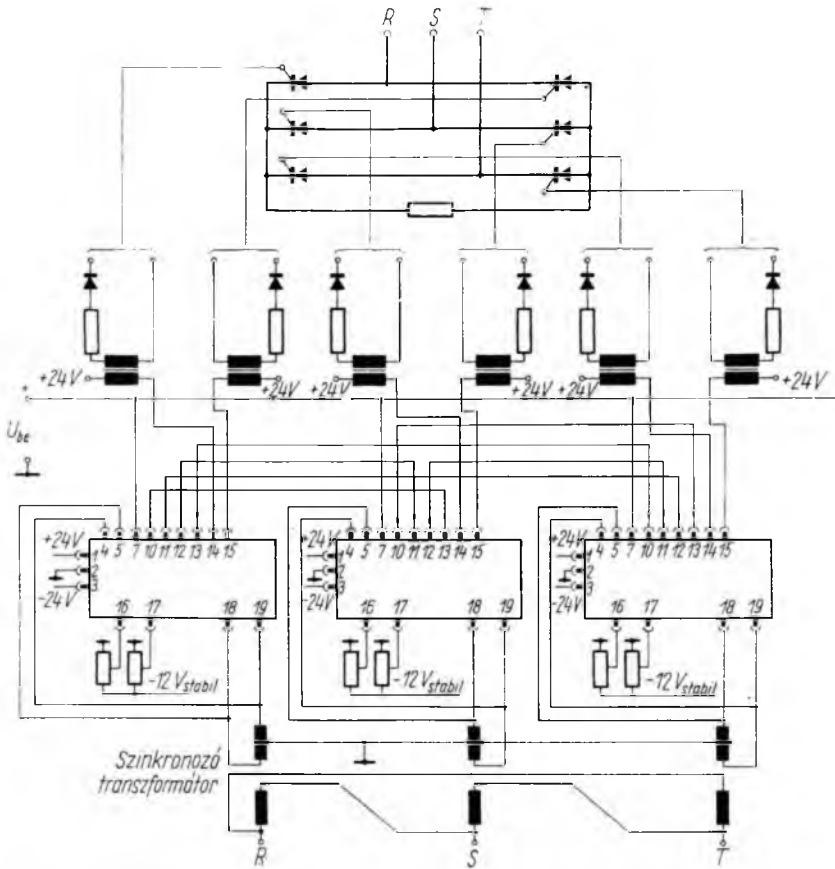
Az impulzusváltóból az *R22* ellenálláson át érkező pozitív impulzus hatására megindul *T7* bázisárama, ennek következtében kollektorárama is növekedni kezd. A kollektoráram egy része átfolyik a *TR1* transzformátor primer tekercsén. *TR1* szekunder tekercse olyan polaritással van bekötve, hogy a növekvő kollektoráram növekvő bázisáramot hoz létre. Ennek a pozitív visszacsatolásnak az eredményeként *T7* az indítóimpulzus megjelenésekor gyorsan kinyit, és az indítóimpulzus megszűnése után is vezető állapotban marad mindaddig, amíg *TR1* az ehhez az állapothoz szükséges bázisáramot szolgáltatni tudja. *TR1* vasmagjának telítődésével a mágnesezőáram megnő. A megnövekedett mágnesezőáram *R25* ellenálláson járulékos feszültségesést okoz, így a *TR1* primer tekercsére egyre kisebb feszültség esik, amelynek az lesz a következménye, hogy a szekunder körében folyó bázisáram lecsökken. Amint a bázisáram kisebbé válik a *T7* nyitvatartásához szükséges értéknél, *T7* hirtelen lezár és lezárt állapotban marad a következő indítóimpulzus megjelenéséig.

Az egység *1* és *14* kapcsai között megjelenik a kimenőimpulzus.

A tirisztorok impulzustranzformátorait az *1* és *14* pontokra csatlakoztatjuk. Befejezésül bemutatunk egy alkalmazási példát.

A 11-8. ábrán egy teljesen vezérelt háromfázisú hídkapcsolás ún. kettős impulzussal dolgozó vezérlőrendszerét láthatjuk. A rendszer három, a 11-6. ábra szerinti kapcsolású gyűjtőegységet tartalmaz.

A gyűjtőegység használható háromfázisú, féligvezérelt hídkapcsolások vezér-



11-8. ábra. Háromfázisú teljesen vezérelt hídkapcsolás gyújtási vázлата

lésére is. Ehhez három egység szükséges, azonban  $T5$ ,  $T6$ ,  $T7$  tranzisztorok és a hozzájuk csatlakozó alkatrészek nem vesznek részt a működésben és így azok el is hagyhatók.

Egyfázisú teljesen vezérelt hídkapcsolás vezérléséhez két gyújtóegységre, egyfázisú féligvezérelt hídkapcsolás vezérléséhez pedig egyetlen gyújtóegységre van szükség.

A gyújtóegységekkel ezeken kívül más típusú egy- és háromfázisú áramirányító kapcsolások vezérlése is megoldható.

#### Irodalom

- [1] Köhl, G.: Wirkungsweise und Grundlagen der steuerbaren Halbleiterelemente. Energieelektronik und geregelte elektrische Antriebe. VDE — Buchreihe Band 11. (1966). S. 13—30.
- [2] Gerlach, W. und Stumpe, A. C.: Das Schaltverhalten von Thyristoren. Energieelektronik und geregelte elektrische Antriebe. VDE — Buchreihe Band 11. (1966). S. 32—50.
- [3] Frankenberg, W.: Steuereinrichtungen für Stromrichter. Energieelektronik und geregelte elektrische Antriebe. VDE — Buchreihe Band 11. (1966). S. 223—235.
- [4] Sinclair, W. D.: Thyristor power converters for d. c. machine drives. AIE Engineering Volume 7 No. 3, (1967). p. 118—127.



# 12.

## Tirisztoros inverterek szükségáramforrások céljára

FÜZESI ENDRE—KONDOR TIBOR

### ÖSSZEFOGLALÁS

Sok olyan berendezés van, amelynek folyamatosan kell üzemelnie még a hálózati tápfeszültség kimaradása esetén is. A folyamatos táplálásnak villamos eszközökkel való megvalósítása az egyen/váltakozófeszültségátalakító inverterekkel lehetséges. Ennek a feladatnak az ellátására alkalmas a Villamosipari Kutató intézetben kidolgozott tirisztoros invertersorozat.

Az inverter módosított kapcsolású párhuzamos inverter, amelynek fő jellemzője az, hogy a feszültség szabályozás nem igényel külön elemet, pl. tirisztor vagy mágneses erősítőt, hanem az inverterhez feltétlenül szükséges két tirisztorral valósul meg. A fogyasztóknak az inverterről hálózatra és fordítva történő átkapcsolását mágneskapcsolók végzik. A feszültségkimaradás ideje 40 ms-nál kisebb.

### ПРИМЕНЕНИЕ ТИРИСТОРНЫХ ИНВЕРТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ РЕЗЕРВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

*E. Füzési—T. Kondor*

#### Резюме

Существует много таких устройств, которые должны непрерывно работать даже при отсутствии сетевого напряжения. Осуществление бесперебойного питания электрическими средствами возможно только при применении преобразователей постоянного тока в переменный. В статье даётся описание серии тиристорных инверторов, разработанных ВКИ для вышеуказанной цели.

Инвертор представляет собой изменённую схему параллельного инвертора, основной особенностью которого является то, что регулировка напряжения не требует применения отдельного элемента, в частности магнитного усилителя или тиристора, а осуществляется на двух тиристорах, которые необходимы для работы инвертора. Переключение потребителя с инвертора на сеть и обратно осуществляется магнитными переключателями. Время отсутствия напряжения составляет менее 40 мсек.

### THYRISTORWECHSELRICHTER ALS NOTSTROMQUELLEN

*E. Füzési—T. Kondor*

#### Zusammenfassung

Es gibt zahlreiche Anlagen, bei denen der ununterbrochene Betrieb auch bei dem Ausfall der Netzspeisung gesichert werden muss. Die Verwirklichung der laufenden, ununterbrochenen Speisung durch elektrische Mittel, ist mit Hilfe von Wechselrichter möglich. Zur Erfüllung dieser Aufgaben wurde im Forschungsinstitut der Elektroindustrie, eine mit Thyristoren arbeitende Wechselrichter-Baureihe entwickelt.

Dieser Wechselrichtertyp ist ein Parallelinverter mit veränderter Schaltung, dessen Hauptmerkmal darin besteht, dass zur Spannungsregelung kein besonderes Element, z. B. Thyristor oder Magnetverstärker erforderlich ist, sondern diese Aufgabe wird durch die zum Inverter unbedingt erforderlichen beiden Thyristoren ver-

wirklicht. Die Umschaltung der Verbraucher vom Inverter an dem Netz und umgekehrt, wird durch Magnetschalter verwirklicht. Die Zeitdauer des Spannungsausfalles bleibt stets unter 40 ms.

## THYRISTOR INVERTERS FOR EMERGENCY SUPPLIES

*E. Füzési—T. Kondor*

### Summary

There exist a considerable number of equipment which have to operate continuously even if the mains supply voltage fails. Continuous supply can be realized by the application of d. c./a. c. inverters. The paper describes a series of thyristor inverters developed by the Research Institute of the Electrical Industry for this duty.

The inverter is a parallel inverter of amended circuit having the main feature, that voltage control does not call for any separate element, e. g. a thyristor or magnetic amplifier; the duty of voltage control is realized by the two thyristors which are indispensably necessary for the inverter. The consumers are switched over from the inverter to the mains and inversely by contactors. The time of the voltage failure is shorter than 40 ms.

### 1. Bevezetés

A villamosenergia-ellátás legkézenfekvőbb módja az, hogy a fogyasztókat rákapcsoljuk az országos villamos hálózatra. Ez a legtöbb esetben teljesíthető, vannak azonban kivételek. A kivételek két csoportba sorolhatók. Az egyik esetben a hálózati csatlakozás lehetősége hiányzik, például járműveken, vagy a közszolgáltatástól távol eső területeken, a másik esetben van hálózat, de meghibásodás miatt nincs energiaszolgáltatás. Mindkét esetben hálózatpótló energiaforrásról kell gondoskodni a hálózati energiaellátáshoz illesztett fogyasztók üzemeltetéséhez. A hálózati energia alapvetően két módon pótolható: vagy erőgéppel hajtott generátorral, vagy tárolt villamos energiával. A villamos energia tárolása akkumulátorok segítségével egyenfeszültségű formában lehetséges, ezért egyen/váltakozófeszültség-átalakító berendezésről kell gondoskodni. Az átalakító feladata az, hogy az akkumulátor egyenfeszültségű energiáját — általában 6...220 V — a lehető legjobb hatásfok mellett 50 Hz frekvenciájú 220 V egyfázisú, vagy  $3 \times 380$  háromfázisú váltakozófeszültségű energiává alakítsa át a fogyasztó által meghatározott tolerancián belül.

Ezt a feladatot kezdetben motorgenerátoros forgóátalakítók látták el, ezek azonban költséges karbantartást igényeltek és rossz volt a hatásfokuk. A hatásfok javítása érdekében új megoldások születtek. Az új alapelv az volt, hogy a villamos energiát jó hatásfokú transzformátor alakítsa át, ehhez azonban az egyenfeszültséget „váltakozóvá” kell tenni. Erre alkalmas volt a forgó kommutátor, majd a forgó mozgás helyett lengő vagy rezgő polaritásváltó. A mechanikus polaritásváltó élettartam-problémái és teljesítményátviteli korlátozottsága, továbbá az elektronikus kapcsolóelemek fejlődése meghatározta a fejlődés irányát. Az új félvezető elemek, mint a kapcsolótranszisztorok és a tirisztorok, sokkal magasabb igényeket is kielégítenek, élettartamban és teljesítményátvitelben szinte korlátlan lehetőséget biztosítanak. A kapcsolótranszisztorokat főleg kisebb teljesítményeknél, egyszerűbb átalakítóknak alkalmazzák, továbbá nagyfrekvenciás célokra, a tirisztorok pedig a nagy teljesítmények átalakításának ideális eszközei. Hátrányként mindössze azt lehetne a félvezetők rovására írni, hogy kis hőtehetetlenségük miatt — az energiaátvitelben nem szokott módon — érzékenyek termikus túlterhelésekre, ezért különleges olvadószálas vagy elektronikus védelmet igényelnek.

## 2. Alapelvek

Meghatároztuk az átalakítás első két legfontosabb kellékét, a transzformátort és a polaritásváltót. Mindkettővel szemben meg kell vizsgálni a működés fizikai feltételeit.

Az ipari frekvenciájú feszültség transzformálására alkalmazott transzformátor vasmagja nemlineáris mágneses tulajdonságú, telítési jelleget mutat. Ebből az következik, hogy a mágneses indukció célszerűen csak egy meghatározott értékig növelhető. A transzformátorra érvényes az alábbi ismert összefüggés

$$NA \, dB = U \, dt.$$

Az  $N$  menetszámot és az  $A$  vasmagkeresztmetszetet állandónak felvéve az összefüggés meghatározza azt, hogy egyenfeszültséget kapcsolva a transzformátortekercsre az indukció értéke az idővel arányosan nő. Ha  $B$  eléri a  $B_{\text{vas}}$  telítési értékét, a transzformátoron az egyenfeszültséget kommutálni kell, különben a telítés után lecsökkent inductívitás miatt a primer tekercsen erőteljesen megnő az áram.

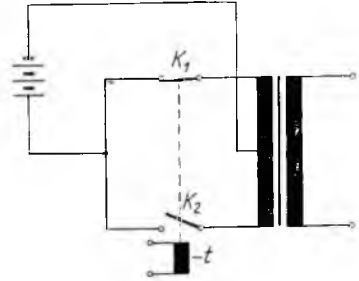
Megállapítható, hogy a transzformátor nemcsak szinuszos, hanem meghatározott időnként kommutált egyenfeszültség „gömbét” is át tud transzformálni, és ennek csak  $Udt$  feszültség—idő szorzata (területe) lényeges, amelyet az  $NA$  és a  $B_{\text{vas}}$  meghatároz, a feszültség nagyságának időbeli változása önmagában véve lényegtelen. Lényeges azonban, hogy az egymást követő ellentétes, kommutált feszültség—idő területek egymással egyenlők legyenek, különben aszimmetrikus telítés lép fel.

A transzformátor primer tekercsén a periodikus polaritásváltás a 12-1. ábra szerinti elrendezésben valósítható meg.

A primer tekercs középmeccsapolására a tápegyenfeszültség egyik pólusát kapcsoljuk, másik pólusát pedig az ellentétesen működtetett  $k_1$  és  $k_2$  kapcsolók közösített végéhez. A kapcsolók másik végei a primer tekercs kezdetéhez, ill. végéhez csatlakoznak. A kontaktusokat  $t$  tekercs mozgatja, aminek eredményeként  $k_1$  és  $k_2$  kontaktuspár váltakozva kapcsol feszültséget a primer tekercs kezdetére és végére.  $k_1$  és  $k_2$  kontaktuspárok feladatát kapcsolótranzisztorral vagy tirisztorral is el lehet látni, egyedül vezérlésükről kell gondoskodni a kapcsolási funkció elvégzéséhez.

Vizsgáljuk meg először a kapcsolótranzisztor. A tranzisztor háromelektrodós félvezető erősítő elem. Egyik jellegzetes erősítési funkciója, hogy vezérlőelektrodjára, azaz bázisára kapcsolt „nyitó” áram hatására kollektorán az erősítésére jellemző  $\beta$ -szoros áram folyik át. A kapcsolóüzemre jellemző, hogy kollektor áramkörében olyan fogyasztó van, amelynek áramfelvétele alacsonyabb, mint a tranzisztor megengedett kollektorárama, ill. amekkorát a bázisáram  $\beta$ -val szorozva meghatározná. Így a kollektor áramkörébe kapcsolt fogyasztóra a teljes feszültség jut, a vezérlés kimaradásakor viszont a teljes feszültség a tranzisztorra jut. Kapcsolóüzemben így a bázisáram a maximális terhelhetőséget meghatározza.

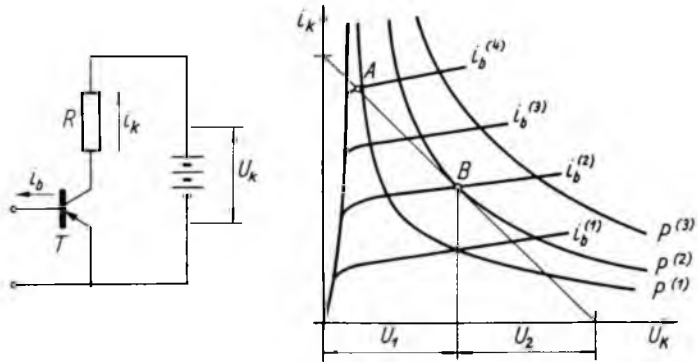
A 12-2. ábrán látható  $R$  fogyasztón keresztül átfolyik a  $T$  tranzisztor  $i_k$  kollektorárama, amelyet  $i_b$  bázisáram vált ki. Látható, hogy  $i_k$  elérésére legalább  $I_b^{(1)}$  bázisáramot kell beállítani, mert pl.  $I_b^{(2)}$  beállítása esetén a  $B$  pontból vetített  $U_1$  feszültség jutna a tranzisztorra és  $U_2$  a fogyasztóra, ami azt jelentené, hogy a fogyasztó a szükségesnél kisebb teljesítményt kapna, a tranzisztor pedig a  $P^{(2)}$  veszteségi teljesítményt



12-1. ábra. Polaritásváltós átalakító

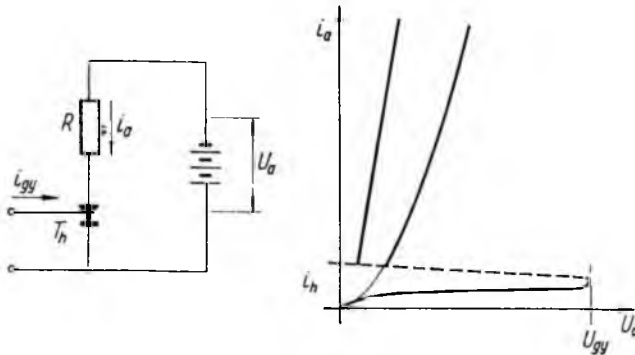
venné magára. A cél pedig az, hogy a kapcsolóeszköz, jelen esetben a kapcsoló-transzisztor a minimális teljesítményt vegye magára.

A tirisztorok mint összetettebb félvezető elemek nem alkalmasak lineáris erősítésre billenő jellegük miatt. Annál alkalmasabbak kapcsolási funkciók elvégzésére,



12-2. ábra. Transzisztor jelleggörbéje

így periódikus polaritásváltásra is. Vezérlésükhöz gyűjtőáramra van szükség, amely a kapcsoló jelleg miatt lehet impulzus, impulzussorozat vagy állandó értékű gyűjtőáram. Lényeges eltérés a tranzisztorokhoz viszonyítva az, hogy egyenfeszültségű körben begyűjtás után a tirisztoron átfolyó anódáramot nem lehet megszüntetni a gyűjtés megszüntetésével. A tirisztor „kioltására” külön kell intézkedni, mégpedig legalább egy meghatározott ideig a rajta átfolyó áramot az ún. tartóáram alá kell levinni. Ezt a feladatot látja el az oltókör.



12-3. ábra. Tirisztor jelleggörbéje

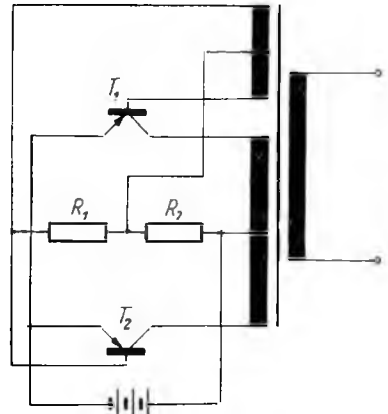
A 12-3. ábrán látható a tirisztor (vezérelt dióda) és az anódkörébe iktatott fogyasztó. Az anódáram—anódfeszültség karakterisztikából látható, hogy nagyobb áram elérésére — gyűjtés nélkül — igen magas  $U_{gy}$  rákapcsolása volna szükséges.

### 3. Megvalósított tranzisztoros inverterek

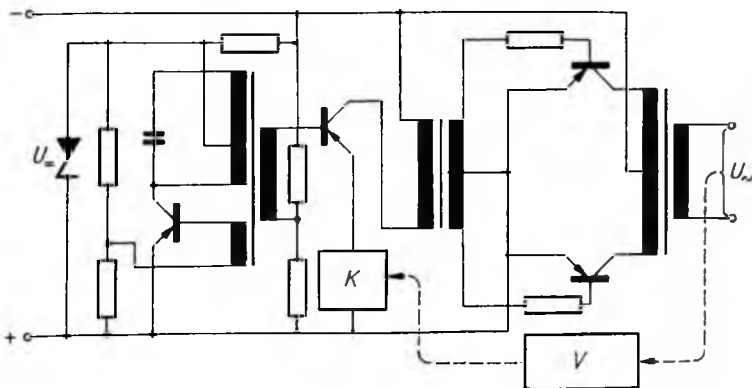
Ha a 12-1. ábrán látható kapcsolásban  $k_1, k_2$  kapcsolókat tranzisztorokkal helyettesítjük, továbbá gondoskodunk a tranzisztorok vezérléséről (két változat szokásos, úgymint az önvezérlésű és a külső vezérlésű), a félvezető átalakító legegyszerűbb formájához jutunk. Önvezérlésű tranzisztoros alapkapcsolás a 12-4. ábrán látható. Az önvezérlés abból áll, hogy a tranzisztorokat vezérlő szakaszos bázisáramot az ún. visszacsatoló tekerecs szolgáltatja. Az  $R_1$  és  $R_2$  ellenállásokból alkotott feszültségosztó szerepe kettős:  $R_1$  a szükséges bázisáramot állítja be a visszacsatoló tekercsről vett feszültség hatására,  $R_2$  ellenállás a tranzisztorok ún. nyugalmi áramát növeli meg, ami a bekapcsolás utáni biztos rezgés elindulásához szükséges.

Külső vezérlés esetén a vezérlést valamely korábbi rezgéskeltő fokozat általában alacsonyabb teljesítményszinten és pontos frekvencia-stabilizálással, erősítő fokozaton keresztül végzi el. Ilyen esetben a teljesítményt szolgáltató végfokozatot túlterhelés és zárlat ellen védeni kell.

A 12-5. ábrán látható (balról jobbra) egy önvezérelt stabilizált tápfeszültségű rezgéskeltő áramkör, ez vezéri az erősítőfokozatot, amelynek emitterkörében a védelmi fokozat által vezérelt kapcsolótranzisztor van beiktatva. Erősítőfokozat vezéri a teljesítményt szolgáltató végfokozatot. A végfokozat túlterhelésére vagy zárlat esetén a kimeneti váltakozófeszültség letörik, amit a védelmi fokozat érzékel.



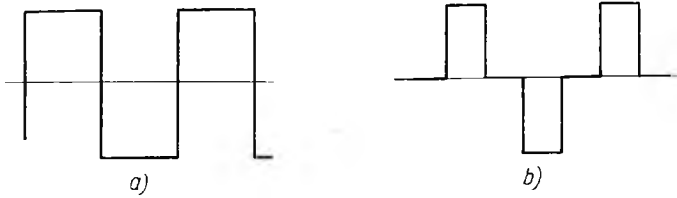
12-4. ábra. Tranzisztoros átalakító alapkapcsolása



12-5. ábra. Teljes tranzisztoros átalakító védelmi fokozata

Meg kell említeni, hogy mind az önvezérelt, mind a külső vezérlésű átalakító a tápfeszültséget a transzformátor áttételi aránya szerint alakítja át váltakozófeszültséggé, amelynek időbeli változása négyszög hullám alakú (12-6a ábra). Változó tápfeszültség, mint pl. különböző töltöttségi állapotú akkumulátor, a kimeneti

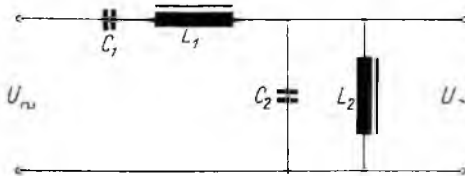
feszültséget is változtatja nagyságában. A kimeneti feszültség állandóságát el lehet érni szabályozással, mégpedig a vezérlőfeszültség időbeli szélességének változtatásával (12-6b ábra).



12-6. ábra. a) Az átalakító szabályozatlan feszültsége;  
b) Az átalakító szabályozott feszültsége

Általában követelmény az is, hogy a szolgáltatott feszültséggörbe ne a 12-6a vagy b ábra szerinti szögletes, hanem szinuszos alakú legyen. Ennek elérésére a ki-

meneten ún. szinuszosító egységet kell alkalmazni, amelynek általánosan használt példáját a 12-7. ábra vázolata mutatja be. Itt teljesülni kell a



12-7. ábra. Szinuszosító fokozat

$$C_1 L_1 = C_2 L_2 = \frac{1}{\omega_0^2}$$

összefüggésnek, ahol  $\omega_0$  az alapprofrekvenciából ( $f_0$ ) meghatározott körfrek-

kvencia ( $2\pi f_0 = \omega_0$ ). A szűrés jóságát, vagyis a felharmonikustartalom leszorítását a

$$b = \frac{C_2}{C_1} = \frac{L_1}{L_2}$$

viszony határozza meg. Nagyobb teljesítményigényeket tirisztorral megépített átalakítókkal elégíthetünk ki.

A Villamosipari Kutató Intézetben megvalósított tranzisztoros inverterek teljesítménye 60, 150, 300 VA, 24 V egyenfeszültségről 220 V 50 Hz váltakozófeszültséget állítanak elő. Hatásfokuk 70 és 80% között van.

Felhasználási területük villanyborotva, magnetofon, erősítőberendezések, mérő- és ellenőrző berendezések táplálása. 500 Hz-es tranzisztoros inverterek szelzines és mágneses erősítős szabályozástechnikai áramkörök részére készültek, 1,2 kVA teljesítményű tranzisztoros inverterek járművek fénycsöveinek központi táplálásához.

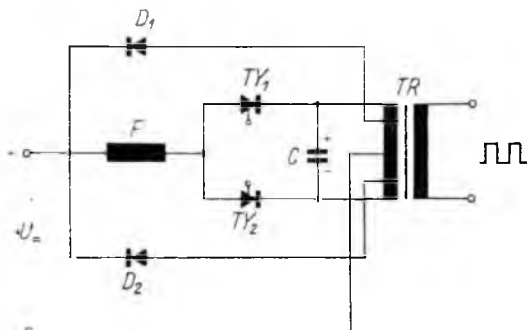
#### 4. Tirisztoros hálózatpótló inverterek

A tirisztor a mechanikus és más statikus kapcsolóelemekhez viszonyított ismert előnyei következtében a paraméterei által meghatározott teljesítménytartományban az utóbbi években épített inverterek kizárólagos kapcsolóeleme. A teljesítménytartomány felső határa jelenleg 100 kVA körül van, amikor még nem szükséges tirisztorokat sorosan vagy párhuzamosan kapcsolni.

A hálózatpótló inverterek általában 24, 48, 110 és 220 V feszültségű akkumulátorokról üzemelnek. Figyelembe véve, hogy a beszerezhető, inverterüzemre alkalmas

legnagyobb teljesítményű tirisztor árama jelenleg kb. 400 A, a tirisztorok párhuzamos kapcsolása nélkül az egyes feszültségeknél 10, 25, 63 és 100 kVA teljesítményű inverterek építhetők.

A legegyszerűbb tirisztoros inverteráramkör, a párhuzamos inverter a 12-1. ábra szerinti kapcsolásból származtatható, ha a kapcsolók helyébe tirisztorokat teszünk és gondoskodunk a tirisztorok be- és kikapcsolásához szükséges áramkörökről (12-8. ábra). A bekapcsoláshoz a gyűjtőáramkörnek félperiódusonként váltokozva kell a tirisztorok számára gyűjtőáramot biztosítania. A tirisztorok oltását az  $F$  fojtótekerescsből és  $C$  kondenzátorból álló oltóáramkör végzi. Ha  $TY1$  tirisztor vezet, akkor  $C$  kondenzátor az  $U_+$  tápfeszültség közel kétszeresére töltődik fel a 12-8. ábrán jelzett polaritással.  $TY2$  tirisztor bekapcsolásakor  $C$  kondenzátor  $TY1$  tirisztornak zárófeszültséget biztosít, aminek hatására  $TY1$  kialszik. Ennek a zárófeszültségnek az időtartama  $C$  kondenzátor át-polarizálódási idejétől függ, amelyet  $F$  fojtótekeres induktivitása,  $C$  kondenzátor kapacitása és a terhelés nagysága határoz meg. A  $TY1$  tirisztoron a zárófeszültség időtartamának nagyobbak kell lennie, mint a tirisztorra jellemző oltási idő. Ellenkező esetben ugyanis  $TY1$  nem alszik ki, ami az áramkör helytelen működését jelentené.  $D1$  és  $D2$  diódák induktív terhelés miatt áramvisszavezetésre szolgálnak. Az induktív jelleget már maga a  $TR$  transzformátor is biztosítja.



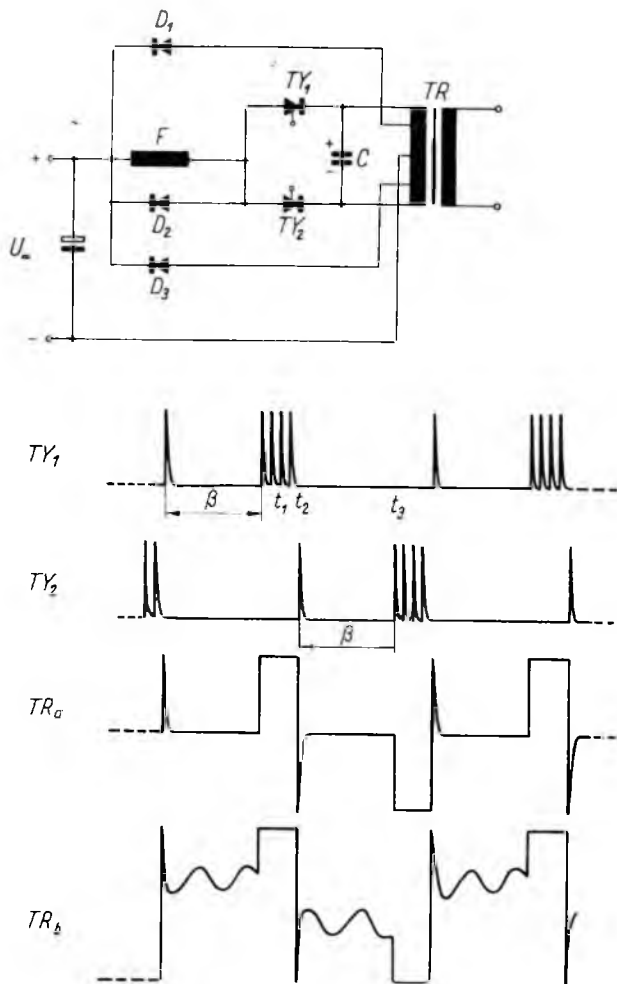
12-8. ábra. Párhuzamos inverter-alapáramkör

Ez az áramkör a  $TR$  transzformátor szekunder tekercsén négyzöghullám formájú feszültséget állít elő, amely a tápfeszültséggel és a terheléssel változik. A váltakozófeszültség frekvenciáját és annak stabilitását a gyűjtőáramkör határozza meg. Ahhoz, hogy a 12-8. ábra szerinti inverter a hálózat pótlására alkalmas legyen, két lényeges kiegészítés szükséges. Az egyik a négyzögfeszültség átalakítása szinuszos feszültséggé, a másik a szinuszos feszültség szabályozása. A feszültség szabályozásra több lehetőség van. A legtöbb módszer jellemzője az, hogy a négyzögfeszültségből háromszintű lépcsős négyzögfeszültséget állít elő. A három szint  $+U$ ,  $0$  és  $-U$ . Ezek közül az ismertebbek a transzformátor szekunder körében mágneses erősítő vagy tirisztoros antiduktor ( $I$ ) szabályozás alkalmazása, két azonos felépítésű inverter váltakozófeszültségének sorbakapcsolása és egyidejűleg az inverterek fázisban eltolt vezérlése ( $1, 2$ ). Ugyancsak három szintű lépcsős négyzögfeszültség állítható elő a 12-8. ábra szerinti alapáramkörnek harmadik tirisztorral való kiegészítésével, amelynek feladata az, hogy váltakozva oltsa  $TY1$  és  $TY2$  tirisztorokat.

A feszültség lépcsőzése az újonnan begyűjtő tirisztor késleltetett gyűjtésével biztosítható. A felsorolt esetekben a feszültséget a kivágási szög változtatása szabályozza, ami a kimeneti alapharmonikus szinuszos feszültség nagyságát meghatározza. A feszültség szabályozásának más módja még a ferrezonanciás stabilizátorral való szabályozás és a modulációs szabályozás. A modulációs szabályozás esetén a 12-8. ábra szerinti alapáramkör az előállítani kívánt szinuszos jel frekvenciájánál nagyobb, legalább hatszoros frekvencián üzemel. Az alapáramkör a szinuszos jel frekvenciájának ütemében úgy van vezérelve, hogy az egyik félperiódusban az egyik, pl. a  $TY1$  tirisztor vezet hosszabb szakaszokban, a másik félperiódusban pedig a másik. A fél-

perióduson belül a kimeneti feszültség alapharmonikusának nagysága a tirisztorok vezetési arányának a változtatásával szabályozható. A felsorolt esetekben a kimeneti feszültség szabályozásához lényeges új elem szükséges, vagy pedig az invertert a kimeneti feszültség frekvenciájának többszörösén kell üzemeltetni, ami a kommutációs veszteségek növekedését eredményezi.

A Villamosipari Kutató Intézetben a három szintű lépcsős feszültséggel való szabályozás új megvalósítását dolgoztuk ki, amelynek előnye az, hogy az alapáramkört csak egyetlen diódával kell kiegészíteni. Ez a dióda az  $F$  fojtóval van párhuzamosan kapcsolva. A módosított áramkör a 12-9. ábrán látható. Ugyancsak ezen az ábrán látható a  $TY_1$  és  $TY_2$  tirisztorok vezérlőjelei és a transzformátor kimeneti feszültségének hullámalakja konduktív terhelésnél ( $TR_a$ ) és szinuszosítón keresztüli terheléskor ( $TR_b$ ). A tirisztorok gyújtásához blocking oszcillátorokat alkalmaztunk, amelyeknek jeleit úgy kapztuk, hogy a tirisztorok a vezetési félperiódusukban a félperiódus kezdetén egyetlen impulzust, majd azt  $\beta$  szöggel követő, a félperiódus



12-9. ábra. Kettősgyújtású inverter-alapáramkör

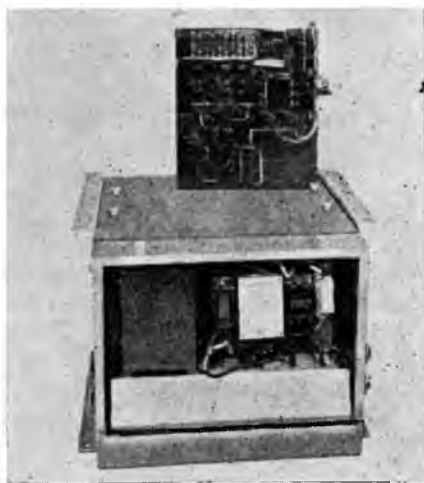


végéig tartó impulzussort kapnak. A tirisztorok a szünet félperiódusokban nem kapnak gyújtóimpulzust. Mivel egy félperiódusban a tirisztorok kétszer vannak begyújtva, az invertert kettősgyújtású inverternek neveztük el (3). Az áramkör működése a fentiek előrebocsátása után a következő. Kiindulási állapotnak vegyük a  $t_1$  pillanatot. Ekkor  $TY1$  tirisztor vezet,  $CI$  kondenzátor feltöltődik a tápfeszültségnek közel a kétszeresére az ábrán jelzett polaritással.  $t_2$  időpontban megszűnnek  $TY1$  tirisztor gyújtóimpulzusai és ugyanakkor egyetlen impulzus hatására begyújt  $TY2$  tirisztor, aminek eredményeként  $TY1$  az ismert módon kialszik. Ezt követően azonban a korábbiakban ismertetett párhuzamos inverter működésétől eltérően  $TY2$  tirisztor is kialszik.  $TY2$  tirisztor kialvásának a feltétele az, hogy az árama a tartóáram alá csökkenjen. Ehhez egyrészt az szükséges, hogy az  $F1$  fojtó ne hajtson áramot  $TY2$  tirisztoron keresztül, amit  $D3$  rövidrázó dióda biztosít, másrészt a kommutációs frekvencián a terhelés induktív jellegű legyen, aminek következtében a kommutációt követően áramvisszatáplálás van, tehát a terhelés hatására sem folyik áram  $TY2$ -n keresztül. Utóbbi feltétel automatikusan teljesül, ha a  $TR1$  transzformátor szekunder tekercsére szinuszosító áramkör csatlakozik. Ha nincs szinuszosító, akkor két eset lehet. Vagy elegendő a  $TR1$  transzformátor szórási induktivitása, az induktív jelleg biztosításához, vagy ha nem, kis értékű induktivitást kell a terheléssel sorbakapcsolni.  $t_3$  időponttól a félperiódus végéig  $TY2$  folyamatosan kap gyújtóimpulzusokat, amelyek hatására végig vezet. Az elmondottak alapján a  $TR$  transzformátor szekunder tekercsén a  $TRa$  jelű hullámformájú feszültséget kapjuk, ha a terhelés induktív. Hálózatpótló inverterek esetében a  $TR$  transzformátor a 12-7. ábra szerinti szinuszosító áramkörre csatlakozik, aminek következtében a hullámforma a  $TRb$  jelű lesz. Ugyanis amikor egyik tirisztor sem vezet, a  $TR$  transzformátor szekunder oldalára redukált  $C$  kondenzátor a szinuszosító áramkör elemeivel rezgőkört alkot. A redukált  $C$  kondenzátor kapacitásához képest a szinuszosító áramkör kondenzátorai rövidzárnak tekinthetők, így a rezgés frekvenciáját a szinuszosító soros rezgőkörében levő fojtó induktivitása és a redukált kapacitás határozza meg. A szinuszosító kimenetén a  $TRb$  jel alapharmonikusa jelenik meg, amelynek nagysága  $\beta$  szög változtatásával szabályozható.

A kettősgyújtású áramkör alkalmazásával több hálózatpótló invertert dolgoztunk ki. A 12-10. ábrán 110 V tápfeszültségű 1,5 kVA teljesítményű vasúti üzemi inverter látható. A tápfeszültség ingadozása 90...140 V, a kimeneti feszültség 220 V  $\pm$  3%. A kimeneti szinuszos feszültség felharmónikus tartalom maximum 5%.

Ugyancsak vasúti üzemre készítettünk 700 VA teljesítményű, hordozható hálózatpótló invertert mérőműszerek táplálása céljából. Az inverter 24, 48, 72 és 110 V névleges feszültségű lúgos akkumulátorokról üzemeltethető az inverter főtranszformátorának és kommutáló áramkörének cseréjével.

A kettősgyújtású áramkör felhasználásával háromfázisú szükségáramforrásinvertert is készítettünk. A szükségáramforrás-inverter abban különbözik a háló-



12-10. ábra. 110 V tápfeszültségű 1,5 kVA teljesítményű 50 Hz frekvenciájú inverter

zati pótló invertertől, hogy átkapcsoló automatikája van, amely vagy az invertert, vagy a hálózati feszültséget kapcsolja a fogyasztóra. A szükségáramforrás-inverternek alapvetően két üzemmódja van. Az egyik a hálózati alapüzem, amikor a kimeneti feszültség mindig a hálózati feszültség, ha pedig nincs hálózat akkor az inverter feszültsége. A másik az inverter alapüzem, amikor a kimeneti feszültség mindig az inverter váltakozófeszültsége, ha az inverter üzemel, ha pedig nem üzemel, akkor a hálózati feszültség. Az alapüzem megválasztását befolyásolja a hálózat és az inverter megbízhatóságának viszonya, az átkapcsoláskor fellépő feszültségkimaradás megengedhető ideje és az inverteren keresztüli energiaellátás gazdaságossága. A fenti szempontok alapján az alapüzem megválasztása általában a következő döntések alapján történik. Ha a hálózat a megbízhatóbb, akkor minden körülmények között a hálózati alapüzemet kell választani. Itt a megbízhatóság arra vonatkozik, hogy a hálózati paraméterek meghatározott tűréseken belül vannak. Ha az inverter a megbízhatóbb, akkor az átkapcsolások gyakoriságával összefüggő zavarok döntik el, hogy melyik alapüzemet válasszuk. Hálózati alapüzemben az átkapcsolások sűrűbbek lesznek.

Hálózati alapüzem esetén az inverter teljesen kikapcsolt vagy üresjárású állapotban lehet. Ennek megfelelően két átkapcsolási idő lehetséges. Az inverter kikapcsolt állapotában az átkapcsolási idő hosszabb, mint üresjárású esetén. A megvalósítható idők az első esetben 60...300 ms, a második esetben 30 ms. Utóbbi mágneskapcsolókkal történő átkapcsolásra vonatkozik.

Szükségáramforrás céljára négy különböző típusú háromfázisú invertert dolgoztunk ki. Ezek 48 V tápfeszültségű 4 és 6,3 kVA, valamint 110 V tápfeszültségű 6,3 és 10 kVA teljesítményű inverterek. A 48/6,3 kVA teljesítményű inverter a budapesti földalatti vasútnál kerül üzembe a biztosítóberendezések és a váltóállító motorok táplálására.

A 48/6,3 kVA-s inverter főbb jellemzői:

tápfeszültség	38...64 V,
kimeneti feszültség	220 V $\pm$ 5%
torzítás (klirr faktor)	max. 15%,
frekvencia	50 Hz $\pm$ 1 Hz.

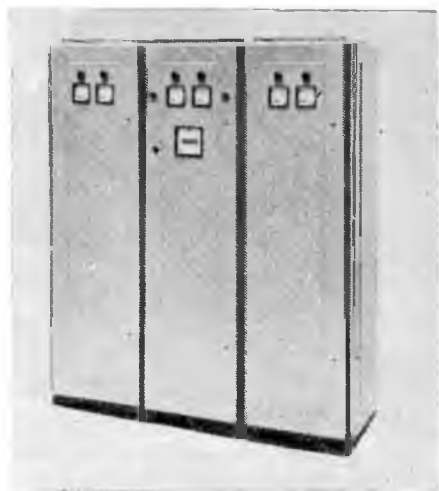
Átkapcsolási idő:

hálózatkimaradás esetén	
az inverter teljesen kikapcsolva	250 ms,
az inverter előkészítve	70...130 ms,
az inverter üresjárásban	max. 40 ms,
hálózatvisszatérés esetén	max. 30 ms.

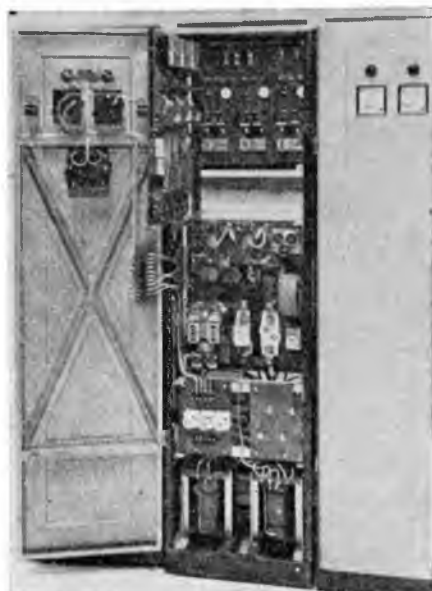
Mind hálózati, mind inverter alapüzem lehetséges. Az inverter többcélú felhasználása érdekében lehetőséget biztosítottak kétféle alapüzemre és több átkapcsolási időre. A teljesen kikapcsolt állapot azt jelenti, hogy az inverter egyenáramú oldali mágneskapcsolója ki van kapcsolva. Ekkor az átkapcsolási idő a mágneskapcsoló meghúzási idejéből, a vezérlőegységek tápfeszültségeinek felfutási idejéből és az inverter felgerjedésének idejéből tevődik össze.

Az inverter előkészített állapotában az egyenáramú oldali mágneskapcsoló be van kapcsolva és az inverter vezérlése le van tiltva. Ekkor az átkapcsolási idő legnagyobb részét az inverter felgerjedése teszi ki. Ez a fajta átkapcsolás a kettősgyűjtésű inverterrel nagyon kedvezően valósítható meg, mert a rendszer lehetővé teszi az inverter indítását és leállítását a vezérlőimpulzusok be- és kikapcsolásával. Ez

igen kedvező üzemmód, mert aránylag kicsi átkapcsolási idő valósítható meg úgy, hogy az inverternek nem kell üresjárásban üzemelnie. Ilyenkor az inverter áramfelvétele kb. 1 A.



12-11. ábra. 48 V tápfeszültségű 6,3 kVA teljesítményű háromfázisú inverter



12-12. ábra. 48 V tápfeszültségű 6,3 kVA teljesítményű háromfázisú inverter egyik fázisának főáramköre és a vezérlőáramkörök

A 12-11. ábra 48 V tápfeszültségű 6,3 kVA teljesítményű háromfázisú inverter fényképe. A 12-12. ábrán az egyik fázis főáramköre és a vezérlőáramkörök láthatók.

### 5. Tirisztoros hálózatpótló inverterek mérései és üzemi tapasztalatok

A hálózatpótló inverterek az üzemeltetni kívánt fogyasztók teljesítményének megfelelő névleges áramra készülnek. Névleges áramnál az inverter váltakozófeszültségének jellemzői a meghatározott tűréseken belül vannak, gyakran azonban az inverter fogyasztói tranziens üzemben a névleges áramnál jóval nagyobb áramokat vesznek fel. Ez jellemző a motorikus vagy kondenzátoros terhelések bekapcsolási tranzienseire. Ilyen esetben a fogyasztók legtöbbször nem igénylik, hogy a nagyobb tranziens áramokat az inverter ugyanolyan tűrésű kimeneti váltakozófeszültséggel szolgáltatassa, mint a névleges áramot. Ehhez ugyanis az lenne szükséges, hogy az inverter dropját meghatározó soros elemek a tranziens áramra legyenek méretezve, amely sok esetben a névleges áramnak 5...8-szorosa. Ez az inverter jelentős részének nagyfokú túlméretezését igényelné, aminek eredményeként az inverter az előírt névleges teljesítménynél nagyobb teljesítményű lenne. Az azonban szükséges, hogy az inverter a tranziens áramokat a kimeneti feszültség ejtése mellett meghibásodás nélkül szolgáltatassa.

Annak igazolására, hogy az elkészített hálózatpótló inverterek a várható tranziens áramokat meghibásodás nélkül szolgáltatják, laboratóriumi és üzemi méréseket végeztünk.

Az 1500 VA-s vasúti hálózatpótló inverternek két hűtőgépmotort kell táplálnia, amelyek bekapcsolási tranziense a hűtőgépek üzemből adódóan gyakran jelentkeznek. A 2. motor tranziens árama az inverter névleges áramának 2,5-szerese, időtartama 20...30 ms. A laboratóriumi vizsgálatok során a hűtőgépek megbízhatóan üzemeltek az inverterről, egyidejű bekapcsoláskor.

A 48 V/6,3 kVA-s háromfázisú szükségáramforrás-inverter tranziens áramai két ok miatt jelentkeznek. Az egyik a motoros fogyasztók indítási áramai, a másik az átkapcsolási tranziens áramok. A szükségáramforrás-inverternek vasúti váltó-állító motorokat is táplálnia kell. Ennek az üzemnek a vizsgálata céljából az inverter laboratóriumi példányát egy hétig kísérleti üzemben üzemeltettük Rákos-állomáson. Automatikus pályakiválasztás esetén, amikor az irányítótáblán a pálya kezdő és végpontját jelölik ki, 6...10 váltó is kapcsolhat egymásután kb. 0,2 s-os késéssel. A tranziens áram csúcserőértéke a motorok késleltetett indítása ellenére is eléri az inverter névleges áramának kétszeresét. Napi 8 órás folyamatos üzemben az inverter program szerint egy hétig zavartmentesen üzemelt megnövelt igénybevétel mellett.

Az átkapcsolási tranziens áramok rövid idejű átkapcsoláskor léptek fel, ha a fogyasztók transzformátoron keresztül csatlakoznak az inverterre. Átkapcsoláskor a fogyasztók is okozhatnak tranziens áramokat, de maga a transzformátor is jelentős áramingadozást idézhet elő. Rövid idejű átkapcsoláskor ugyanis előfordulhat, hogy a transzformátor 20...40 ms-os megszakítással egymás után két azonos polaritású félhullámot kap, aminek hatására telítődik és jelentősen megnövekszik a mágnesező-áram. Minél élesebb a transzformátor vasmagjának telítése, annál nagyobb lehet a tranziens mágnesezési áram. Ha a transzformátor névleges teljesítménye közel van az inverter névleges teljesítményéhez, akkor a tranziens áram az inverter névleges áramának 3...4-szerese is lehet. Ilyen tranziens áram minden esetben az inverter kimeneti feszültségének jelentős csökkenését okozza, ha az inverter egyáltalán képes ilyen nagy áram szolgáltatására. Ezért célszerűnek találtuk, hogy átkapcsoláskor előtét-ellenállás beiktatásával 3...4 periódus időtartamra korlátozzuk a terhelő-áramot. Az előtét-ellenállás a telítés kialakulását is korlátozza, így a kiiktatása utáni esetleges tranziens áram is kisebb. Ez a megoldás kedvezőbb az inverter áramának szabályozás útján való korlátozásánál, mert így korlátozás nélküli kimenet biztosítható azoknak a fogyasztóknak, amelyek átkapcsoláskor nem okoznak tranziens áramot.

## Irodalom

- [1] *Eden, E.—Samberger, K.*: Ausgangsspannung bei Wechselrichtern. Siemens Zeitschrift **10** (1964) p. 775—781.
- [2] *Weihl, H.*: „Wechselrichter — Wirkungsweise und Grundschaltungen”. AEG különnyomat.
- [3] *Füzesi E.—Kondor T.—Lencsés J.*: Kapcsolási elrendezés egyenfeszültségnek szabályozott nagyságú váltakozófeszültséggé történő átalakítása. Magyar szabadalom, (lajstromszám 155008).

# 13.

## Új rendszerű elektronikus—hidraulikus ívkemence-szabályozó

BEREND ERVIN—BOÉR JENŐ—BÖJTHE LÁSZLÓ—  
DR. VITÁLYOS LÁSZLÓ

### ÖSSZEFOGLALÁS

A Villamosipari Kutató Intézet által kifejlesztett, sok év óta sikerrel alkalmazott és folyamatosan továbbfejlesztett ívkemence-szabályozó az elektródok mozgását hidraulikusan, a hidraulikus végrehajtó rendszerbe iktatott mágnesszelep működtetését félvezetős erősítővel oldja meg. A cikk részletesen ismerteti a szabályozórendszer felépítését, fő alkatrészeinek tulajdonságait, konstrukcióját, a működés néhány jellegzetességét. Az elért eredményeket összehasonlítja a szakterület nemzetközi szintjével.

### ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕГУЛЯТОР НОВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ

*E. Berend—J. Boér—L. Böjthe—Dr. L. Vitályos*

#### Резюме

Регулятор дуговых печей, разработанный и усовершенствованный Исследовательским Институтом Электропромышленности, успешно применяемый уже ранее, производит гидравлическое перемещение электрода, а привод в действие магнитных клапанов, объединенных в гидравлическую исполнительную систему, осуществляется полупроводниковым усилителем. Статья дает подробное описание построения регулирующей системы, свойств основных деталей, конструкции, некоторых особенностей работы. Производит сравнение полученных результатов с международным уровнем, достигнутым в данной области.

### NEUARTIGE ELEKTRONISCH-HYDRAULISCHE REGLER FÜR LICHT- BOGENÖFEN

*E. Berend—J. Boér—L. Böjthe—Dr. L. Vitályos*

#### Zusammenfassung

Der durch das Forschungsinstitut der Elektroindustrie entwickelte und bereits seit vielen Jahren mit Erfolg verwendete sowie laufend weiterentwickelte Regler für Lichtbogenöfen steuert die Elektrodenbewegung hydraulisch, das in das Hydrauliksystem eingebaute Magnetventil hingegen mit einem Halbleiterbestücken Verstärker. Die Abhandlung beschreibt ausführlich den Aufbau des Regelsystems, die Eigenschaften und die Konstruktion seiner Hauptbestandteile und die charakteristischen Züge seiner Arbeitsweise. Zum Schluss werden die erzielten Ergebnisse mit dem internationalen Stand auf diesem Fachgebiet verglichen.

### A NEW ELECTRONIC-HYDRAULIC ARC FURNACE REGULATOR

*E. Berend—J. Boér—L. Böjthe—Dr. L. Vitályos*

#### Summary

The arc furnace regulator developed by the Research Institute of the Electrical Industry and used successfully for many years has been further improved by the Institute on a permanent basis. The Regulator actuates the electrodes hydraulically by means

of a magnet valve controlled by a semiconductor amplifier. The paper describes the structure of the control system, the operating characteristics and construction of its main components and some features of the operation in detail. The results attained are eventually compared with the international standard of the art.

Az ívkemencében az acél olvasztásának egész folyamata során a kezdetben szilárd, majd folyékony betétanyag helyzete és így az ívhossz állandóan és igen gyorsan változik. Emiatt hasonlóan gyakran és gyorsan változik a kemence három fázisárama és ívfeszültsége, és a szorzatukkal meghatározott ívteljesítmény.

Az ívkemence-szabályozó *feladata* az, hogy egyenletes olvasztási teljesítmény biztosítása, valamint a fellépő rövidzárlatok és ívmegszakadások gyors megszüntetése érdekében az elektródok megfelelő értelmű és mértékű elmozdításával minél gyorsabban beavatkozzék, és helyreállítsa az olvasztási ciklus adott szakaszában legmegfelelőbb ívhosszat. Csak gyorsműködésű szabályozó alkalmazásával lehet a minimumra csökkenteni azoknak az időszakoknak az összességét, amelyekben a villamos ív útján való hőközlés akár ívmegszakadás, akár rövidzárlat vagy helytelen ívhossz következtében eltér az üzemvitel szempontjából optimális értéktől.

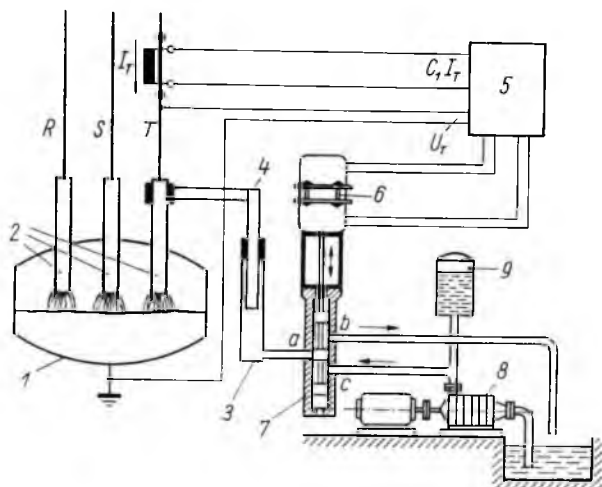
A fenti okból a jó ívkemence-szabályozó jellemző sajátága a nagy működési sebességgel párosult lengésmentes üzem. Ismeretes, hogy az elektronika biztosítja a leggyorsabb villamos érzékelést és parancsadást, a hidraulikus rendszer pedig a leggyorsabb mechanikai mozgatást különösen akkor, ha nagy tömegeket egyenes pályán, gyakori irányváltással, viszonylag rövid útszakaszon holtjátéktól mentesen kell elmozdítani. Ezek a mozgási feltételek jellemzők az ívkemencék elektródjainak mozgatására, és indokolják, hogy az elektródokat elektronikus úton vezérelt hidraulikus rendszer mozgassa. A jelen cikknek nem célja, hogy összehasonlítsa a hidraulikus és a motoros elektródmozgatás előnyeit és hátrányait, erre az irodalomban bő anyagot találhatunk, amelyből néhányat idézünk [1], [2], [3].

A Villamosipari Kutatóintézet több mint másfél évtizeddel ezelőtt dolgozta ki első elektronikus—hidraulikus rendszerű ívkemence-szabályozóját, amely az azóta eltelt időszakban magyar gyártmányú ívkemencékkel együtt nagyobb darabszámban került üzembe szocialista és kapitalista országokban egyaránt. Az Intézet a szabályozót folyamatosan továbbfejlesztette. A jelen közleménynek az a célja, hogy ismertesse a továbbfejlesztés eredményeként létrejött legújabb változatot, rámutasson az alkalmazott megoldások sajátosságaira, különösen azokra, amelyek megkülönböztetik más, ismert elektrohidraulikus szabályozóktól.

A 13-1. ábrán az elektronikus—hidraulikus ívkemence-szabályozó rendszer elvi felépítése látható egy kemencefázisra felrajzolva. Az 5 elektronikus szabályozónak fázisonként két bemenete és két kimenete van. Az egyik bemeneten a szabályozó áramváltó útján érzékeli az elektródban folyó áramot, a másik bemenetre pedig az elektród-hozzávezetés és a betétanyaggal érintkező szonda közötti feszültség hat. Ez az érzékelt feszültség olyan mértékben közelíti meg a tényleges ívfeszültséget, amennyire az elektródon és az elektród hozzávezetésén, valamint a betétanyagban fellépő feszültségesés elhanyagolható az ívfeszültség mellett. Akár jó megközelítést kapjuk az érzékelés eme módjával az ívfeszültségnek, akár nem, más egyszerű mód az érzékelésre nem kínálkozik.

A szabályozó kimenetei a 7 körtolattyús hidraulikus szelepet működtető 6 kettős elektromágnes egy-egy gerjesztőtekercsére csatlakoznak. Ha a kettős elektromágnes felső tekerce kap áramot az elektronikus szabályozóból, a körtolattyú felfelé mozdul el, és a 9 légüstben nyomás alatt tárolt vizet a *c* és *a* vezetékek össze-

kötésével a 4 elektródemelő dugattyú alá juttatja, és az elektród felfelé mozog. Az alsó tekercs gerjesztésekor a körtolattyú lefelé mozdul el, az elektródemelő dugattyú alatti teret a *b* visszafolyó vezetékkel köti össze és az elektród süllyed. Ha az elektromágnes egyik tekercse sem kap gerjesztést, a körtolattyú zárja az elektródemelő hengerhez csatlakozó vezetéket és az elektród helyben marad. A jó zárás



13-1. ábra. Elektronikus—hidraulikus ívkemenceszabályozó rendszer elvi felépítése

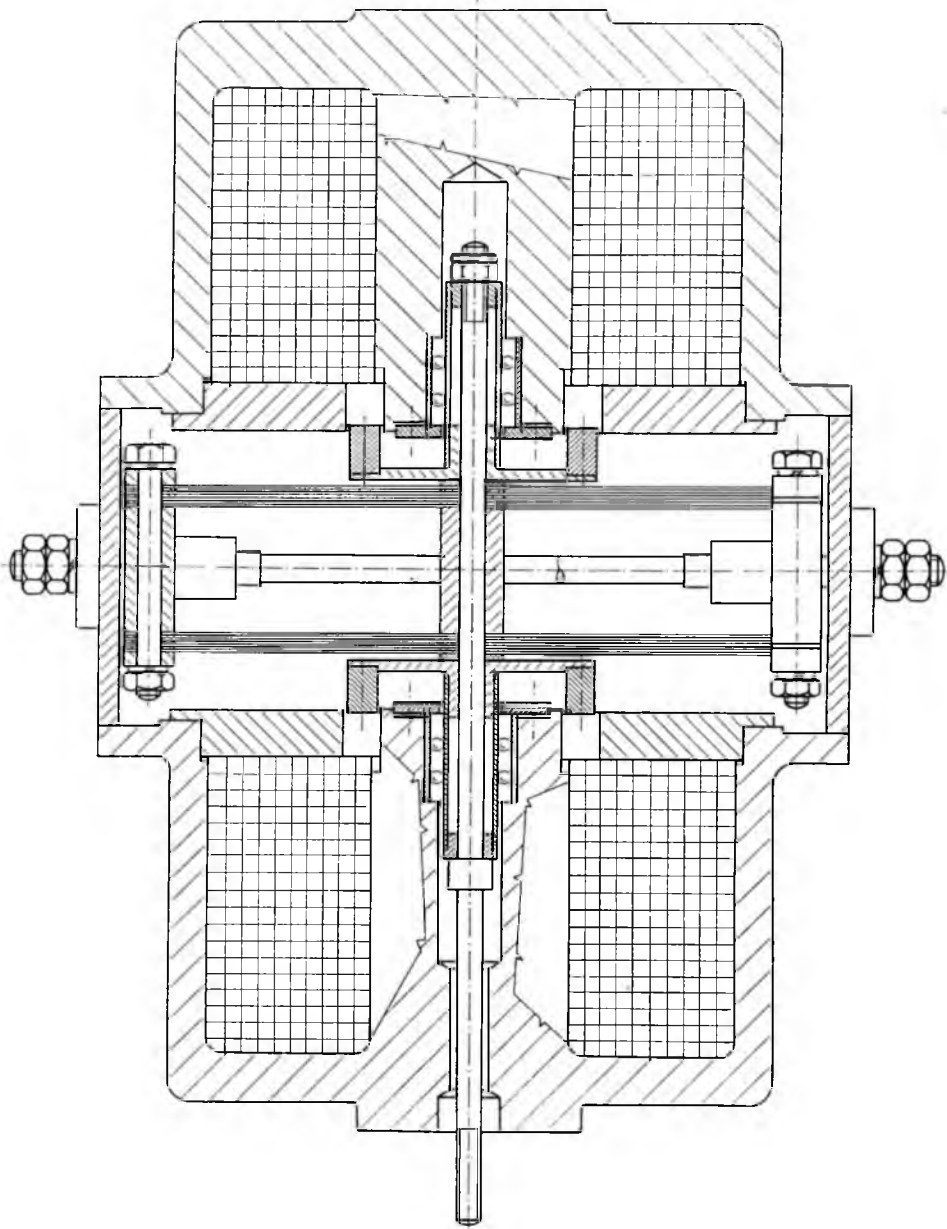
1 betétanyag; 2 elektródok; 3 elektródemelő henger; 4 elektródemelő dugattyú; 5 elektronikus szabályozó; 6 elektromágnes; 7 körtolattyús hidraulikus szelep; 8 centrifugálszivattyú; 9 légüst

érdekében a körtolattyú záró palástja átfedéssel illeszkedik, ennek következtében az elektromágnes fegyverzetének egyik irányú kismértékű elmozdulása sem okozza még a kemence elektródjának fel- vagy leirányú mozgását. A 9 légüstben a 8 centrifugálszivattyú pótolja az elfogyasztott nyomóvizet.

A berendezésnek a szorosan vett szabályozón és az elektromágnesen kívüli részei konvencionálisaknak tekinthetők, ezért ezekkel nem is foglalkozunk, ismeretésünket az *elektromágnessel* mint beavatkozószerrel kezdjük. Ez a szerkezet különbözik azoktól, amelyeket eddig a szakirodalomban ismertettek, és velük szemben előnyei vannak. Ezek az előnyök rendkívül robusztus kiképzéssel párosult gyors működéssel jellemezhetők.

Az elektronikus teljesítményerősítés alkalmazása lehetővé teszi, hogy a beavatkozószerként működő nagy erejű elektromágnes a kemence elektródjainak mozgását vezérlő körtolattyút még a legnagyobb befogadóképességű kemencék esetén is közvetlenül, finommechanikai jellegű, hidraulikus előfokozat nélkül működtesse.

A körtolattyút nyugalmi helyzetéből két irányban elmozdítani tudó elektromágnes szerkezeti felépítése a 13-2. ábrán látható. Fegyverzete két vasgyűrűből áll, amelyek egy közös vonórúdra vannak felerősítve. A két vasgyűrű egy-egy szimmetrikusan elhelyezett bődön alakú mágnesfél légrésébe nyúlik bele. Az alsó mágnesfél magja ki van fúrva, a vonórúd ezen keresztül jön ki a mágnesből, hogy a körtolattyúhoz némi excentricitást megengedő kötőelem közvetítésével csatlakozzék. A vonórúd mindkét mágnesfél magjában golyókon tud elmozdulni. A két mágnesfélben



13-2. ábra. Az elektromágnes szerkezete



egy-egy gerjesztőtekeres foglal helyet. Ezek közül mindig csak az egyikben folyhat áram. Az áram által gerjesztett mágnes tér a gyűrűalakú fegyverzetet behúzza a lég-résbe, és a fegyverzettel együtt a vonórúdat és a körtolattyút is elmozdítja.

A vonórúdat és vele együtt a körtolattyút a két mágnesfél közötti térben két kötegben elhelyezett rugólapok tartják középső, nyugalmi helyzetben. Ebben a helyzetben a körtolattyú zárja az elektród munkahengeréhez csatlakozó hidraulikus vezetékét és az elektród nyugalmi helyzetben marad. Az egyik mágnesfél gerjesztése a vonórúd és a körtolattyú elmozdulása útján az elektród emelkedő, a másik mágnesfél gerjesztése süllyedő mozgását váltja ki. A vonórúd elmozdulásakor a rugólapok behajlása a befogási köz megrövidülését okozza. Hogy ez bekövetkezhessék, a két befogó tuskó keresztirányú vezetékéken elcsúszhat.

Az egyes gerjesztőtekereseket egy-egy egyfázisú, kétütemű vezérelhető egyenirányító táplálja. Vezérelhető egyenirányító elemként régebben tiratron csöveket használtunk, újabban tirisztorokat alkalmazunk.

A vázolt elven működő mágnes nagy előnye rendkívül robusztus kivitele, hátránya *lassú működése*, aminek az az oka, hogy a mágneses fluxust minden egyes működéshez létre kell hozni, illetőleg meg kell szüntetni. A villamos és mágneses mennyiségeket összekapcsoló jól ismert egyenlet:

$$u = Ri + \frac{d\psi}{dt}, \quad (1)$$

ahol

$u$  a mágnes tekeres tápfeszültsége;

$R$  a tekeres ellenállása;

$i$  a pillanatnyi gerjesztőáram;

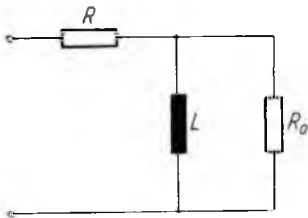
$\psi$  a pillanatnyi tekeresfluxus.

A látszólag igen egyszerű összefüggést bonyolulttá teszi, hogy a mágneses fluxust az  $i$  áram és a tömör vastestekben keletkező örvényáramok együttesen gerjesztik, hogy a mágneskör mágneses vezetőképessége a fegyverzet helyzetével változik, továbbá, hogy a vezetőképességet a telítés és a hiszterézis jelenségei befolyásolják.

A beavatkozószerelv viselkedésének teljes leírásához fel kell még írni a fegyverzet—vonórúd—körtolattyú rendszer mozgásának mechanikai differenciálegyenletét a súrlódás és a körtolattyúra ható, nyomáskiegyenlítetlenségből eredő erő figyelembevételével.

Cikkünknek nem célja, hogy kísérletet tegyen az igen bonyolult nemlineáris differenciálegyenlet-rendszer megoldására. Megállapíthatjuk azonban, hogy a *működés gyorsításának* egyetlen lehetséges módja a forszírozás, vagyis a névleges  $I$  gerjesztőáram és a tekeres  $R$  ellenállásának szorzata által meghatározott  $RI$  feszültség-nél nagyságrenddel nagyobb tápfeszültség és a gerjesztőáramról vett negatív visszavezetés alkalmazása. Ha figyelembe vesszük, hogy a mágnesről azt kívánjuk, hogy fegyverzetét kb. 1 periódus alatt véghelyzetébe mozdítsa el, az egyenirányító gyűjtészőgére ható áramvisszavezetés nem alkalmazható, mivel az áramvisszavezetés mindig csak a következő félperiódusban, tehát a teljes működési időhöz képest jelentős késedelemmel lenne hatásos, és ez stabilitási szempontból nem engedhető meg.

Késlekedésmentes, áramról vett visszavezetést biztosít az (1) egyenlet  $Ri$  tagja.  $R$ -t növelni addig érdemes, amíg a  $\psi$  fluxus kialakítását késleltető örvényáram-hatás dominálni nem kezd. Az örvényáramok hatását *rögzített* fegyverzet esetére közelítően a 13-3. ábra helyettesítő vázlata veszi tekintetbe. A fluxus kialakulásának sebességét



jellemző időállandó:

$$T = \frac{L}{\frac{RR_0}{R+R_0}} \quad (2)$$

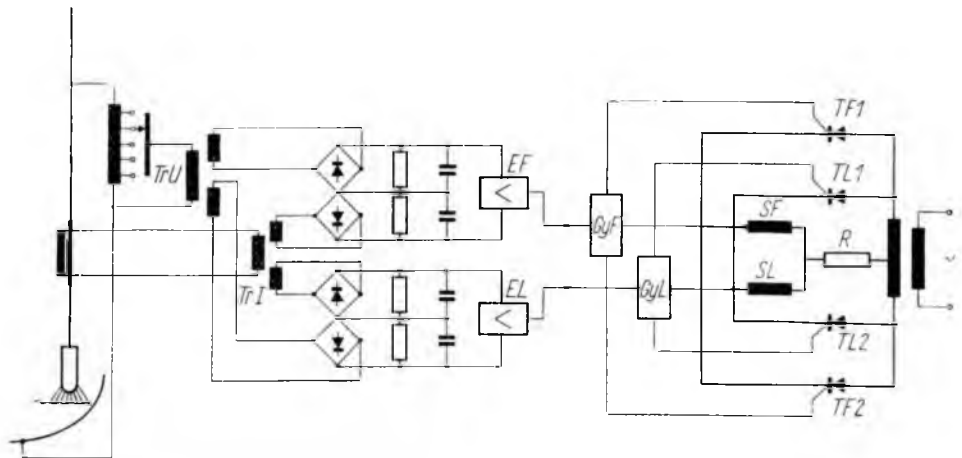
Látható, hogy  $R$ -t addig érdemes növelni, amíg a nevezőben levő

13-3. ábra. Az örvényáramok hatásának helyettesítő vázlatja az elektromágnes rögzített fegyvezete esetén

$$\frac{R_0}{1 + \frac{R_0}{R}}$$

kifejezésben  $R$  kb. egy nagyságrenddel nagyobbá nem válik, mint  $R_0$ . Ebben az esetben az általunk alkalmazott kb. 30 kp kezdeti erőf. kifejtő, 10 mm elmozdulású mágnes működtetéséhez szükséges teljesítmény 500 W körül van, és a mágnes fegyvezete 20 ms, tehát egy hálózati periódus alatt megmozdul ki nyugalmi helyzetéből a körtolattý teljes nyitásának megfelelő helyzetébe.

A konduktív ellenállásnak mint áramról vett negatív visszavezetésnek az az előnye is megvan, hogy megfelelő elhelyezéssel a tirisztoros egyenirányítók kimenő áramkörét zárlatbiztosítássá teszi. Ez nagy előny, ha figyelembe vesszük, hogy a mágnes-szelepek és tápvezetékeik olyan terepen vannak elhelyezve, ahol mind mechanikai hatásoknak, mint hő és nedvesség hatásának fokozottan ki vannak téve. A zárlatveszély tehát nagy, ugyanakkor a karbantartás nem olyan gondos, hogy arra számítani lehetne, hogy a tirisztorok áramkörében a kiegészítő biztosítókat mindig a megfelelő, gyorsműködésű diódbiztosítókkal pótolják.



13-4. ábra. A szabályozó elvi felépítése

A szabályozóberendezés elvi felépítését a 13-4. ábra mutatja. A  $TrU$  és  $TrI$  két szekunder tekercselésű transzformátorokkal két feszültségjel és két áramjel állítunk elő, és ezeket egyenirányítás és szűrés után két külön csatornába, az „elektrod fel” és az „elektrod le” csatornába vezetjük, és itt hasonlítjuk össze. A kapott különb-

ségi jelet a két csatorna *EF* és *EL* tranzistoros erősítőire visszük, amelyek a *TF1*, *TF2*, valamint *TL1*, *TL2* tirisztorokból álló két egyenirányító *GyF* és *GyL* gyújtóegységeire hatnak. Az egyik egyenirányító a beavatkozó szerv elektromágnesének *SF* „fel” oldali tekercsét a másik az *SL* „le” oldali tekercsét táplálja az *R* előtétellenálláson keresztül. A mágnesstekercsekben folyó áram a különböző jel nagyságától függ: minél nagyobb különböző jel hat az *E* erősítők bemenetére, annál nagyobb a kimenő jelük, és ez a kimenő jel annál nagyobb mértékben nyitja a tirisztoros egyenirányítókat. Az erősítők és a gyújtóegységek úgy vannak kialakítva, hogy a „fel” oldal csak akkor nyit, ha az áramjel, a „le” oldal pedig csak akkor, ha a feszültségjel van túlsúlyban. Így a két mágnesstekercs nem működhet egyszerre.

A 13-4. ábra a szabályozóberendezés működését csak vázlatosan szemlélteti. A részletes kapcsolásban lehetőség van az automatikus üzembe kézzel való beavatkozásra, nyomógombok segítségével, így bármelyik elektród mozgatható „le” vagy „fel” irányban, miközben a többi elektród helyzetének önműködő szabályozása fennmarad.

Az ívkemence-szabályozók működésének fontos jellemzője az *állítási sebesség*. Az ismertetett szabályozóval 80 mm/s állítási sebesség biztosítható lengésmentes üzemben, ha a mágnesszelepek közvetlenül az elektródmozgató szerkezet munkahengereire vannak felszerelve és ilyen módon rugalmasan változó térfogatú flexibilis vezeték nincs közöttük.

Az ívkemence-szabályozó olyan szabadalmazott *kiegészítő áramköröket* is tartalmaz, amelyek biztosítják, hogy a szilárd vagy folyékony betétanyag felületével először érintkező elektród nem marad álló helyzetben és nem nehezedik rá a szilárd betétre bizonytalan nagyságú erővel, ill. nem merül bele tartósan a folyékony betétbe. A szabályozó a betéttel egyedül érintkező elektródnak olyan parancsot ad, hogy az a betét felületét ismételten finoman érintgesse mindaddig, amíg már a következő elektród is érintkezik az anyaggal és az ívhúzás lehetővé válik. Ez a tulajdonsága a szabályozót az ezzel nem rendelkezők fölé helyezi.

A szabályozó kiviteli formáját tekintve szállítható pult alakban, amelynek fedelén vannak elhelyezve a kemence üzemének figyelemmel kíséréséhez szükséges műszerek, de szállítható függőleges elrendezésű kapcsolótáblába szerelhető kivitelben is. A pultot általában külön kezelő helyiségben állítják fel, amelyből a kemence csak ablakon keresztül látható, a kapcsolótáblába épített kivitel esetén viszont a szabályozó a kemencével egy helyiségben van.

### Irodalom

- [1] *Garde, A.*: High—Speed Electro—Hydraulic Arc Furnace Control. ASEA Journ. 1949. p. 3—9.
- [2] *Driller, A.—Ernst, H.*: Vergleichende Betrachtungen über die hydraulischen und elektromotorischen Elektrodenregelungen von Lichtbogen — Schmelzöfen sowie über die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit (Internationaler Elektrowärme — Kongress in Stresa vom 25. bis 29. Mai 1959.)
- [3] *Driller, A.—Zander, O.*: Neuerungen auf dem Gebiete grosser Lichtbogen — Stahlföfen und der Elektrodenregelung (V. Internationaler Elektrowärme — Kongress in Wiesbaden vom 30. Sept. bis 5. Okt. 1963. Vortrag No. 132.)



# 14.

## Tirisztoros egyenáramú szabályozott hajtás

*BALLÓK IMRE—NEMESKÉRY GÉZA*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A tirisztor szerepe a hajtás-szabályozások területén. A nagy pontosságú gyors működésű fordulatszám-szabályozás problémái. Egy félig vezérelt hídkapcsolású egyenirányítóval szerzett tapasztalatok ismertetése. Az armaturaköri szabályozás kiegészítése automatikus mezőgyengítéssel. A tranzisztoros szabályozók és a szabályozási körök elemzése. A szabályozott hajtás egyes elemeinek méretezési kérdései. A megépített 40 kW-os, 1:300 fordulatszám átfogású, 1% fordulatszám-pontosságú hajtás mérési eredményei.

### ТИРИСТОРНЫЙ РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА

*И. Баллок—Г. Немешкери*

#### Резюме

Роль тиристоров в области регулируемых электроприводов. Проблемы высокоточного и быстродействующего регулирования электроприводов.

Описание опыта, полученного при работе трехфазного полууправляемого моста. Дополнение арматурного регулирования автоматическим ослаблением напряженности поля. Анализ транзисторных регуляторов и регулирующих цепей. Вопросы расчета отдельных элементов регулируемых приводов. Результаты измерения привода 40 квт с диапазоном скорости вращении 1:300 и погрешностью скорости вращения 1%.

### GEREGELTER GLEICHSTROMANTRIEB MIT THYRISTOREN

*I. Ballók—G. Nemeskéry*

#### Zusammenfassung

Die Abhandlung erörtert die Rolle der Thyristoren auf dem Gebiet der Antriebsregelung, und beschäftigt sich dann mit den Problemen der schnellen und hochpräzisen Drehzahlregelung. Es folgen Mitteilungen über Erfahrungen mit einem Gleichrichter mit halbgesteuerter Brückenschaltung und über die Ergänzung der Ankerkreisregelung durch automatische Feldschwächung, sowie über die Analyse der transistorenbestückten Regler und Regelkreise. Schliesslich folgt eine Erörterung der Bemessungsfragen einzelner Elemente des geregelten Antriebs, und die Messergebnisse eines 40 kW Antriebes mit einem Drehzahlbereich von 1:300 und einer Drehzahlgenauigkeit von 1%.

## THYRISTOR-CONTROLLED D. C. DRIVE

I. Ballók — G. Nemeskéry

### Summary

The part taken by the thyristor in the control of drives. Problems of high-accuracy, quick-acting speed control experiences gathered with a semicontrolled bridge-connected rectifier. Completion of the armature circuit control with automatic field weakening. Analysis of transistorized controllers and control circuits. Design problems of certain elements of the controlled drive. Measuring results of the 40 kW drive of 1:300 speed range and 1% accuracy.

### 1. Bevezetés

A mind bonyolultabbá váló gépesített technológiai folyamatokban egyre fontosabb szerepet kapnak a teljesen automatizált villamos hajtások. Az egyik leggyakoribb szabályozási feladat: a hajtás fordulatszámát széles tartományban folytonosan kell beállítani és a beállított fordulatszámot szabályozó berendezésnek kell állandó értéken tartani. A hajtások szabályozási pontosságával és a szabályozás gyorsaságával szemben egyre szigorúbb követelményeket támasztanak. Hajtómotorként az esetek többségében az igen jó szabályozástechnikai tulajdonságokkal rendelkező egyenáramú motort használják. A motorokat régebben Ward—Leonard-egységekről, majd vezérelhető higanykatódos egyenirányítókról, az utóbbi években pedig egyre fokozódó ütemben tirisztoros áramirányítókról táplálják.

A kis- és közepes teljesítményű hajtások területén az elmúlt évek folyamán a tirisztoros áramirányítók majdnem teljesen kiszorították a higanykatódos egyenirányítókat, Ward—Leonard-gépcsoportokat és mágneses erősítőket. A tirisztorok gyors térhódításához kétségtelenül hozzájárult, hogy a vezérelt egyenirányítók megjelenése előtt a szilícium teljesítménydiódák többéves üzembiztos működésükkel eloszlatták a felhasználók bizalmatlanságát a teljesítményelektronika félvezető elemeivel szemben.

A diódák többéves üzeme lehetővé tette, hogy a tervezők megoldják a túlfeszültség- és túláram-védelem rendkívül fontos kérdéseit és ezzel az üzem közben kieső félvezetők számát elhanyagolhatóan kis értékre szorítsák.

A magyar tirisztorgyártás megindulásával előreláthatóan hazai vonatkozásban is egyre több és nagyobb teljesítményű tirisztoros hajtás kerül majd üzembe az ipar különböző területén.

A szabályozóelemek is lényeges átalakuláson mentek keresztül. A vákuumcsöveket, a kisteljesítményű, forgó erősítőgépeket és mágneses erősítőket szinte teljesen kiszorították a tranzisztoros szabályozó erősítők. Tirisztoros tápegység és tranzisztoros szabályozóerősítők alkalmazásával olyan jó minőségű szabályozott hajtások készíthetők, amilyenek a régebbi építőelemekkel csak igen nehezen vagy egyáltalán nem valósíthatók meg.

A VKI-ben 1966 végén megépült egy 40 kW-os tirisztoros egyenáramú hajtás, kísérleti célokra. Az országban megépített ilyen teljesítményű tirisztoros hajtások sorában az elsők között próbáltuk ki. A hajtással igen jó tapasztalatokat szereztünk. A berendezés néhány jellemző adata:

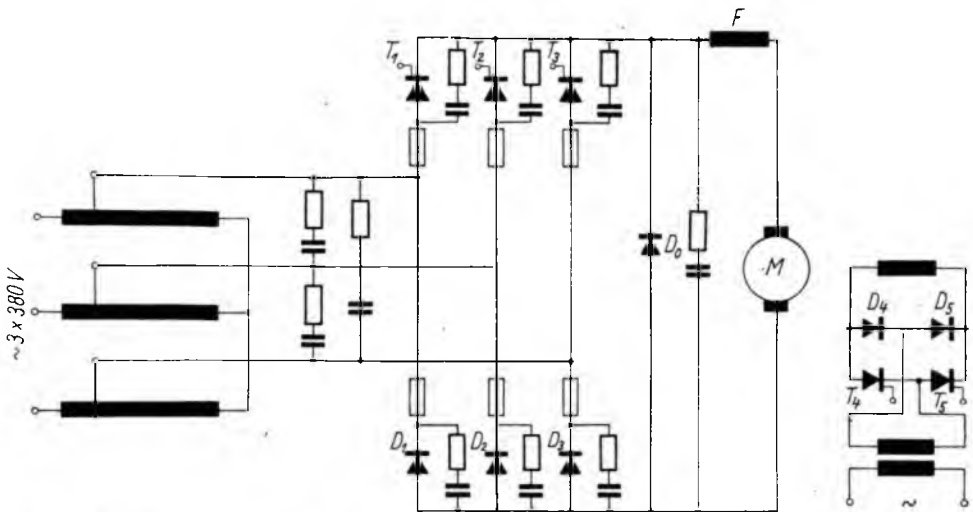
névleges motorteljesítmény:	40 kW
névleges kapocsfeszültség:	220 V
névleges armatúraáram:	210 A

névleges fordulatszám: 1000 1/min.  
 az egyenirányító maximális  
 korlátozott árama: 290 A  
 a hajtás fordulatszám-tartománya: 0...3000 1/min.

A fordulatszámot álló állapotból a motor névleges fordulatszámáig az armatúra-feszültség változtatásával szabályoztuk, 1000...3000 1/min tartományban a motor mezőgyengítéses üzemben dolgozott.

Pontossága jobb, mint 0,3%,  $\pm 10\%$  hálózati feszültség-ingadozás és 0...100% terhelésváltozás zavaró hatására a 10...3000 1/min fordulatszám-tartomány bármely pontján a mindenkori beállított fordulatszámra vonatkoztatva.

Dinamikus viselkedését jellemzi, hogy a motor névleges fordulatszámán, üresjárából lökészerűen a névleges terheléssel megterhelve a beállított fordulatszámra vonatkoztatott fordulatszámeltérés a terheléslökés pillanatától számított 0,5 s múlva kisebb, mint 0,5% (l. 14-8. ábra).



14-1. ábra. Főáramköri kapcsolás

## 2. Erősáramú elvi kapcsolási vázlat

A hajtás tervezésekor a választás EMH 69N4 típusú egyenáramú hajtómotorra esett. A motor teljesítménye 40 kW, névleges feszültsége 220 V. A hajtómotort a következő megfontolások alapján választottuk. Ilyen teljesítményű hajtás tervezésekor már jelentkeznek azok a problémák, amelyek a 100 kW-os nagyságrendű hajtásoknál is felmerülnek, ugyanakkor hasznos tapasztalatokat szolgáltat a néhány kW-os hajtásokra vonatkozóan is. A 220 V-os kapocsfeszültség jól illeszkedett a rendelkezésre álló VKDU típusú tirisztorok zárófeszültségéhez.

A motort háromfázisú, hídkapcsolású vezérelt egyenirányító táplálja. A félvezető egyenirányítók megjelenésével a *hídkapcsolású egyenirányítók* fontos szerephez jutottak. Elterjedésüket több szempont indokolja: A félvezető egyenirányítók zárófeszültsége a tirátronokéhoz és a higanykatódos egyenirányítókéhoz viszonyítva

kicsi, ezért olyan egyenirányító-kapcsolásokat célszerű használni, amelyekben az egyenirányító-elemek záróigénybevétele az egyenirányító által leadott maximális egyenfeszültséghez viszonyítva kicsi. Háromfázisú hídkapcsolás esetén ez a viszony-szám:

$$\frac{U_z}{U_{do}} = \frac{\sqrt{2} U_v}{\frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_v} = \frac{\pi}{3} = 1,05$$

a lehető legkedvezőbb érték.

Háromfázisú hídkapcsolás esetén az egyenirányító transzformátorának típus-teljesítményére is a legkisebb értéket kapjuk:  $P_t = 1,05 P_c$ .

A hídkapcsolású egyenirányítóknak van néhány tulajdonságuk, amelyek higanykatódos egyenirányítók esetén hátrányt jelentenek. Az egyenirányítók egy részének katódja potenciálra kerül, ami a segédberendezések miatt kedvezőtlen. Mindig két egyenirányító-elem kapcsolódik sorba, ami viszont a nagy feszültségesések miatt kedvezőtlen.

Félvezető egyenirányító-elemeket használva a segédberendezések elmaradása és az egyenáramú motor szokásos feszültségeséseire képest elhanyagolhatóan kicsi nyitóirányú feszültségesések miatt ez a két tulajdonság nem jelent hátrányt, és az általánosan szokásos néhányszáz voltos egyenáramú motorfeszültségek tartományában a hídkapcsolások minden más egyenirányító-kapcsolásnál kedvezőbbek.

A szabályozott hajtások jelentős részéhez nem igénylik sem a fordulatszám irányának változtatását, sem villamos fékezést. Ilyen esetekben a legegyszerűbb és leggazdaságosabb a félig vezérelt hídkapcsolás. Az általunk megvalósított hajtás egyenirányító-egysége is félig vezérelt hídkapcsolás, szabadon futó diódával (14-1. ábra).

A  $D_0$  szabadon futó dióda segítségével a félig vezérelt egyenirányító-híd kimenő feszültsége 0-ig levezérelhető, de a szabadon futó dióda ezen túlmenően még egyéb jelentős előnyöket is biztosít, amelyek részletes tárgyalása helyett az irodalomra utalunk [3].

Félig vezérelt hídkapcsolások esetén általában szükség van *armatúraköri fojtótekerésre*. A fojtótekerest a következő szempontok szerint kell méretezni.

### 1. Az egyenáramú motor kommutációs viszonyai

A vezérelt egyenirányítók kimenő feszültsége a kivezérléstől függően többé-kevésbé hullámos, ezért az armatúraáram is tartalmaz váltakozóáramú összetevőket. A gyártó cégek megadják, hogy az általuk gyártott egyenáramú gépek kommutációja az armatúraáram milyen mértékű hullámosságát engedeli meg.

Az armatúraáram váltakozó összetevőinek effektív értéke általában 6...10% az egyenáramú összetevőre vonatkoztatva. A fojtótekercsnek biztosítani kell, hogy a nagyobb armatúraáramok tartományában az áram hullámossága az egyenáramú gépre megengedett értéknél kisebb legyen. Ez azt jelenti, hogy a fojtónak a névleges áramok tartományában is csak annyira szabad telítődnie, hogy a fenti követelményt teljesíteni tudja.

### 2. Szabályozástechnikai szempontok

A szabályozókör stabilitása szempontjából kívánatos, hogy az armatúraáram az egész működési tartományban folytonos legyen. A fojtónak biztosítani kell, hogy az előforduló legkisebb terheléssel járó motor esetén is, — tehát amikor az armatúraáram a névleges értéknél sokkal kisebb — a fenti követelmény teljesüljön.



### 3. Melegedési szempontok

Az armatúraáram váltakozóáramú összetevői a pólusfluxussal nem hoznak létre hasznos forgatónyomatékot, azonban az armatúraáram effektív értékét megnövelik. Mivel az egyenáramú motorok melegedésére az armatúraáram effektív értéke a mérvadó, az áram simítása ebből a szempontból is kívánatos. Az 1. pont követelményeinek teljesítésével a váltakozóáramú összetevők olyan kis értékűvé válnak, hogy az általuk okozott járulékos melegedés nem jelentős.

A félvezető egyenirányítók igen érzékenyek *túlfeszültségekre*. A szóba jöhető túlfeszültségeket a következők szerint csoportosíthatjuk:

- a) a hálózatról bejövő különféle eredetű túlfeszültségek;
- b) az egyenirányító táptranzformátorának kapcsolásaiból adódó túlfeszültségek;
- c) a terhelés kapcsolásaiból eredő túlfeszültségek;
- d) a töltéstárolási effektus által okozott túlfeszültségek;
- e) a tirisztorok begyűjtésakor a terhelésen a meredek homlokú feszültségugrások hatására nagyfrekvenciás rezgések keletkezhetnek, amik szintén túlfeszültségek okozóivá válhatnak.

A különböző eredetű túlfeszültségek ellen az egyenirányítót *RC*-tagokkal védjük. A túlfeszültségvédő *RC*-tagok megválasztására a félvezető katalógusok és más e témával foglalkozó szakirodalom több számítási módszert közöl.

A *b)*—*e)* pontban felsorolt túlfeszültségek esetében ezek a számítási módszerek — a kész egyenirányítón végzett mérések eredményei alapján helyesbítve — lehetővé teszik a túlfeszültségvédelem helyes kialakítását. Az *a)* pontban említett, hálózatról érkező túlfeszültségek esetében — különösen akkor, ha a berendezés egyenirányítótranszformátor nélkül csatlakozik a hálózatra — feltevésekre vagyunk utalva. Feltetelezünk egy meghatározott amplitúdójú és energiájú túlfeszültséget és ennek alapján alakítjuk ki a védelmet. Az egyenirányító *túláramvédelmét* diódavédő gyorsbiztosítók, elektronikus gyűjtásletiltó áramkör és áramkorlátozás biztosítja.

Az *áramkorlátozás* beállított értéke 290 A középtérték. Az elektronikus túláramvédelem beállított értéke 450 A csúcérték. A biztosítók 160  $A_{\text{eff}}$  névleges áramúak voltak. Az áramkorlátozás üzemszerűen működik, és meggátolja, hogy helyes működés esetén a terheléslökések vagy gyors alapjelváltozások a korlátozott értéknél nagyobb áramot okozhassanak.

Az *elektronikus túláramvédelem* működése nem üzemszerű. Olyan esetekben működik, amikor az áramkorlátozás valamilyen oknál fogva nem hatásos, pl. hibás gyűjtás esetén. Az elektronikus túláramvédelem ilyenkor letiltja a gyűjtást, s a hajtás megáll. Újraindítás csak a túláramvédelem visszaállítása után lehetséges.

A diódavédő gyorsbiztosítók zárlatok vagy zárlati áramok nagyságrendjébe eső túláramokat okozó gyűjtási rendelleneségek esetén működnek.

Kísérleti berendezésről lévén szó, az üzem folyamán gyakran keletkeztek túláramok. Az elektronikus túláramvédelem jó szolgálatot tett, sokszor lekapcsolta a berendezést, mielőtt a biztosító kiolvadt volna.

A motor gerjesztőáramát, az automatikus mezőgyengítéses üzemre való tekintettel, célszerűen tirisztoros egyenirányító szolgáltatja. A kis gerjesztőtéljesítmények és a gerjesztésszabályozás kedvező szabályozástechnikai tulajdonságai lehetővé tették ezeknek az áramköröknek kis méretben való egyszerű kialakítását.



főáramkörében levő *AVI* egyenáramú áramváltó szekunder feszültségéből szintén leosztás és szűrés után nyerjük. Az  $U_3 - U_4$  feszültségkülönbséget az  $E_2$  áramszabályozó erősíti fel  $U_5$  értékére, amely az *MK* meredekségkorlátozó egységbe kerül. A meredekségkorlátozó  $U_6$  kimeneti feszültsége vezérli a tirisztorok *GI* gyújtóegységeit. Az *EHI* tirisztoros egyenirányítóhíd gyújtásszög-vezérléstől függő  $U_k$  kimeneti feszültsége biztosítja az egyenáramú motor kapocsfeszültség-változtatással való fordulatszám-szabályozását. Az  $U_k$  kapocsfeszültség és az  $\omega$  szögsebesség közötti négy tagból álló negatívan visszacsatolt hurok az egyenáramú motort jelképezi. A jelölések közül  $U_b$  a motor forgási feszültsége,  $I$  a motor árama,  $M$  a motor nyomatéka,  $M_1$  a terhelés nyomatéka,  $\omega$  a motor szögsebessége,  $k\Phi$  a motor pólusfluxusával arányos mennyiség,  $R$  a motor és a főáramkörben levő egyéb elemek eredő ellenállása,  $T_v$  a motor és a simító—fojtó eredő időállandója,  $T_m$  a motor és a terhelés együttes elektromechanikai időállandója és  $A_m = \frac{R}{(k\Phi)^2}$ .

Első lépésben tekintsünk el a 14-2. ábra alsó részében látható mezőgyengítés-szabályozó körtől. Ez nem megy az általánosság rovására, mert a névleges fordulatszámnál kisebb fordulatszámokon a mezőgyengítés-szabályozó kör a fordulatszám-szabályozás szempontjából teljesen hatástalan, ilyenkor csupán a motor névleges gerjesztését biztosítja.

Az előzőekben leírt szabályozási rendszerben az áramszabályozó kör a fordulatszám-szabályozó körnek van alárendelve, ezért ezt alárendelt áramszabályozásnak nevezik. Ennek a szabályozási rendszernek az utóbbi években végbement nagyarányú elterjedése szintén a félvezetők fejlődésével magyarázható. Egyrészt ugyanis a félvezetős egyenirányítók túlterhelhetősége megkívánja a jóminőségű áramkorlátozást — ami a technológia szempontjából is előnyös — és ezt az alárendelt áramszabályozással lehet legtokéletesebben biztosítani. Másrészt az alárendelt áramszabályozáshoz szükséges két szabályozóerősítő az olcsó tranzisztoros erősítők megjelenésével nem jelent lényeges hátrányt az egy szabályozóerősítőt igénylő hagyományos áramkorlátozási megoldásokhoz képest. Mindezekon túlmenően az alárendelt áramszabályozás mint belső, negatív visszacsatolású hurok csökkenti az időállandókat és ezzel javítja a rendszer stabilitását.

A két különálló szabályozási kör optimális beállítása üzembehelyezéskor gyorsan és egyszerűen elvégezhető.

Az áramkorlátozás működésének feltétele, hogy a fordulatszám-szabályozó erősítő  $U_3$  kimeneti feszültségét éles könyökkel korlátozni lehessen. Ilyen esetben ugyanis az áramszabályozó kör a korlátozással beállított maximális értéknél nem kaphat nagyobb bemenő jelet. Ha az áramszabályozó kör köresősítése elég nagy, működése pedig kellően stabilis, akkor a motor armatúraárama mint szabályozott mennyiség túllendülés nélkül, viszonylag gyorsan éri el maximális értékét és mindaddig ezen az értéken marad, amíg a fordulatszám-szabályozó erősítő ki nem kerül a korlátozással beállított telítésből. Az áramszabályozó kör matematikai vizsgálata még jelentős elhanyagolásokkal is nehézkes, itt csak az irodalmi adatokra tudunk utalni [4], [5]. A vizsgálat gondolatmenete, hogy a blokkvázlatban az áramvisszavezetés kiinduló pontját az  $I$  csomópontból áthelyezzük az  $\omega$  csomópontba, és a visszavezetésben reciprokkal figyelembe vesszük azokat a tagokat, amelyekkel az áthelyezés után az előrevezető ág bővült. Ezután a motort helyettesítő egyidőállandós arányos tagot és integrálótagot tartalmazó negatív visszacsatolású hurok helyett ennek egyenértékű helyettesítését vesszük, amely kétidőállandós arányos tag lesz. Az így keletkező áramszabályozási kört a 14-3. ábra mutatja. A motor két-

időállandós átviteli függvénye — ha  $T_m > 4T_v$  — szétválasztható két egyidőállandós arányos tag szorzatára. Ezekkel az átalakításokkal a felnyitott áramszabályozó kör átviteli függvénye:

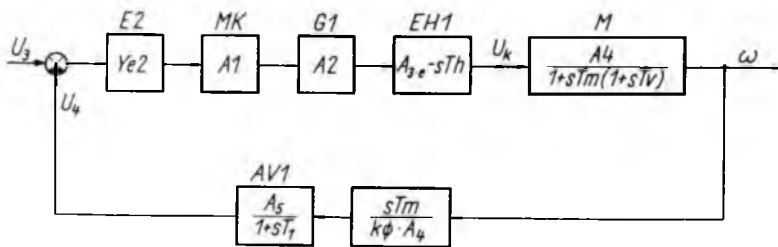
$$Y_{I_0} = Y_0 Y_{e2} = \frac{Ae^{-sT_h} s T_m Y_{e2}}{[1 + sT_m(1 + sT_v)](1 + sT_1)} = \frac{Ae^{-sT_h} s T_m}{(1 + sT_a)(1 + sT_b)(1 + sT_1)} Y_{e2},$$

ahol

$A$  a meredekségkorlátozó, a gyújtóegység, a tirisztoros egyenirányító-híd, a motor és az áramváltó eredő átviteli tényezője;

$T_h$  a háromfázisú tirisztoros egyenirányító-híd holtideje;

$T_a$  és  $T_b$  a motor szétválasztott időállandói;



14-3. ábra. Az áramszabályozó kör átalakított blokk-vázlata

$T_1$  az áramváltó szűréséből adódó időállandó és  $Y_{e2}$  az áramszabályozó erősítő átviteli függvénye. A 14-3. ábrán az  $MK$  meredekségkorlátozót csak az  $A_1$  átviteli tényezővel jelöltük. A meredekségkorlátozó csak a kis frekvenciastományban helyettesíthető az  $A_1$  átviteli tényezővel, a nagyobb frekvenciákon integráló jellegű. A gyakorlat számára azonban ez a közelítés elfogadható, mert a meredekség korlátozó a lökészerű változásoktól eltekintve hatástalan, és ilyenkor időkéscés nélküli arányos tagként vehető figyelembe. Az áramszabályozó erősítőt  $PI$  jellegűre célszerű készíteni, amelynek átviteli függvénye:

$$Y_{e2} = A_1 + \frac{1}{sT_i} = \frac{1 + sA_1T_i}{sT_i}.$$

Ha az áramszabályozó erősítő  $T_i$  integrálási idejét a motor  $T_m$  elektromechanikai időállandójával,  $A_1T_i$  értékét pedig a felnyitott körben levő  $T_a$  legnagyobb időállandóval azonos értékre választjuk, akkor a felnyitott áramszabályozási kör átviteli függvénye lényegesen egyszerűsödik:

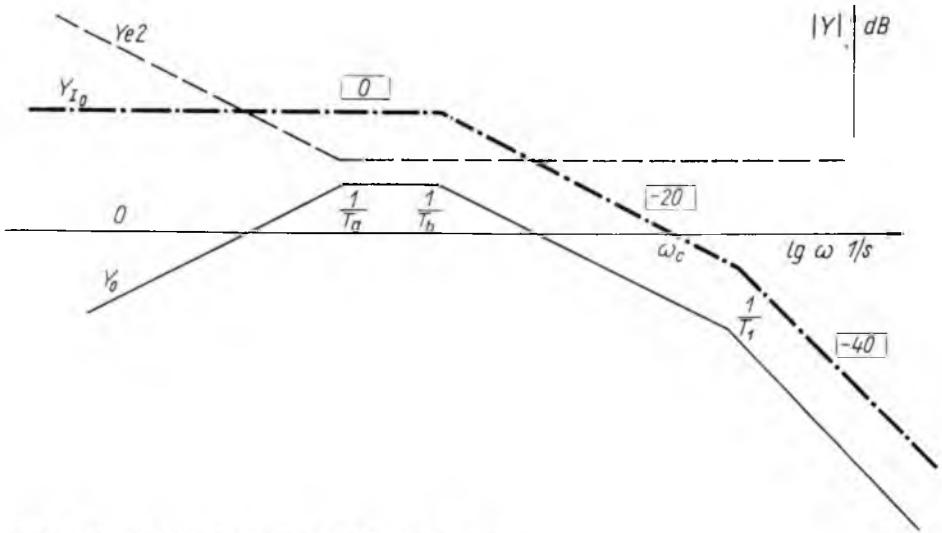
$$Y_{I_0} = \frac{Ae^{-sT_h} s T_m}{(1 + sT_a)(1 + sT_b)(1 + sT_1)} \frac{1 + sA_1T_i}{sT_i} = \frac{Ae^{-sT_h}}{(1 + sT_b)(1 + sT_1)}.$$

A maximum 6,6 ms-os  $T_h$  holtidő és a kisértékű  $T_1$  szűrés időállandó csak nagy frekvenciákon jelentkezik, így az áramszabályozó kör nagy körerősítéssel és nagy vágási körfrekvenciával készíthető el. Ez biztosítja a jó minőségű áramkorlátozást. A 14-4. ábrán felrajzoltuk az áramszabályozó kör Bode-diagramját.

Amikor a motor nem választható szét két egyidőállandós arányos tagra, akkor matematikailag ugyan a fenti egyszerűsítések nem végezhetőek el, azonban a szabályozókör  $Y_0$  átviteli függvénye ekkor is a 14-4. ábrán láthatóhoz hasonló és a szabá-

lyozó erősítő átviteli függvényét a fent elmondottaknak megfelelően kell megválasztani.

A fordulatszám-szabályozó kör legjelentősebb része a zárt áramszabályozó kör, amelynek átviteli függvénye  $Y_{I_0}^*$ . A zárt áramszabályozó kör frekvenciamenetének grafikus meghatározása nehézkes, ezért megelégedhetünk azzal, hogy a Bode-diagramja a felnyitott áramszabályozási kör Bode-diagramjához hasonló (14-5. ábra).



14-4. ábra. Az áramszabályozó kör Bode-diagramja

Nagy körerősítések esetén a zárt áramszabályozó kör Bode-diagramja kis frekvenciakon egybeesik a 0 vonallal és a negatív visszacsatolás időállandót csökkentő hatása miatt a töréspontok a felnyitott szabályozó kör töréspontjaihoz képest jobbra tolódnak. A felnyitott fordulatszám-szabályozó kör átviteli függvénye a 14-6. ábra alapján:

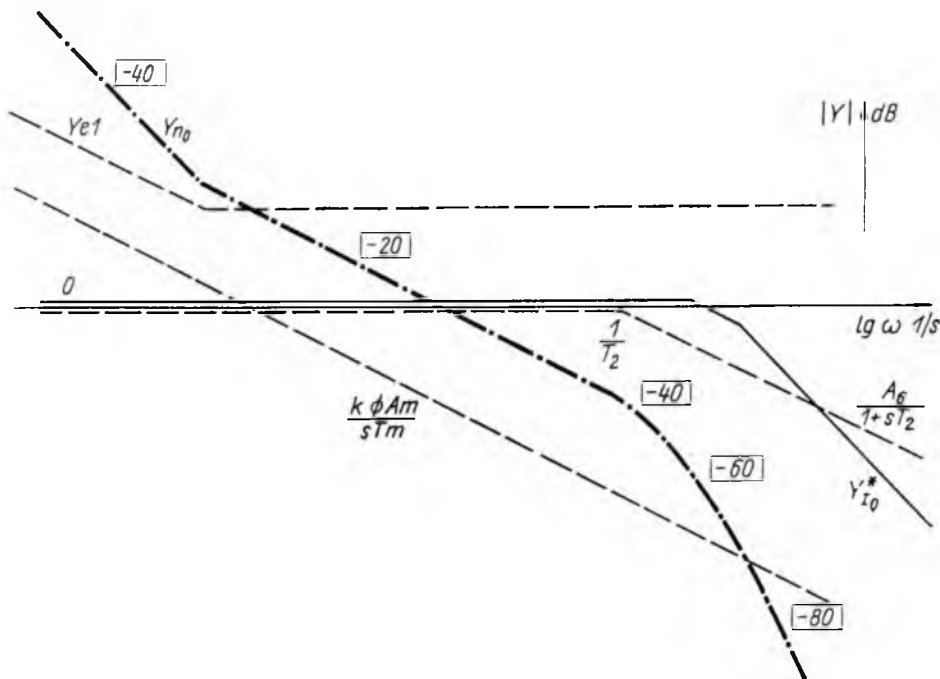
$$Y_{n_0} = Y_{e1} Y_{I_0}^* \frac{k \Phi A_m}{s T_m} \frac{A_6}{1 + s T_2},$$

ahol

$T_2$  időállandó a tachogenerátor szűréséből származó viszonylag kis időállandó;

$A_6$  a tachogenerátor átviteli tényezője. A fordulatszám-szabályozó erősítő szintén  $PI$  jellegűre célszerű választani olyan törésponttal és erősítéssel, hogy a szabályozó erősítő töréspontja kb. egy dekáddal balra legyen a felnyitott fordulatszám-szabályozó kör legkisebb frekvenciájú töréspontjától és a Bode-diagram 0-vonala a  $-20$  dB-es meredekségű szakasznak kb. a közepére essen. Az így megszerkesztett Bode-diagram az 14-5. ábrán látható. A gyakorlatban a  $PI$  jellegű szabályozó erősítők integráló jellege véges körerősítésük miatt nem ideális, a 14-4. és 14-5. ábrákon az  $Y_{e2}$  és  $Y_{e1}$  átviteli függvények a kisfrekvenciák tartományában vízszintes szakasszal indulnak.

Az átviteli függvény azonban már olyan kis frekvenciánál átmegy az integráló szakaszba, amely több dekádnyi távolságra van a stabilitás-vizsgálatra használt szakasztól, így a stabilitás-vizsgálat szempontjából lényegtelen, hogy a valóságos, vagy az egyszerűbben kezelhető ideális átviteli függvényeket használjuk-e.



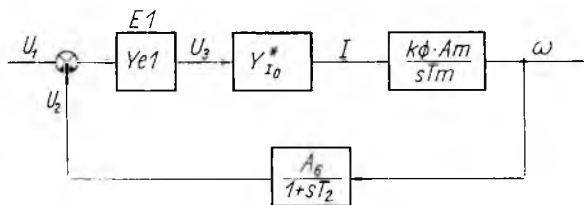
14-5. ábra. A fordulatszám-szabályozó kör Bode-diagramja

A 14-5. ábrán látható *PI* jellegű fordulatszám-szabályozó erősítő alkalmazásakor a felnyitott fordulatszám-szabályozó kör Bode-diagramja  $-40$  dB/dekád meredekséggel indul. Ez gyorsabb működésű szabályozást és kisebb beállási időt eredményez, mintha csak arányos jellegű fordulatszám-szabályozót használtunk volna, amellyel a felnyitott fordulatszám-szabályozó kör Bode-diagramja  $-20$  dB/dekád meredekséggel indulna.

A szabályozó csak addig viselkedik az elmondottnak megfelelően, amíg az  $U_1$  fordulatszám alapjellel  $1000$  ford/min-nél kisebb fordulatszámot írunk elő. Ebben a tartományban (l. 14-2. ábra) az  $U_7$  állandó alapjellek megfelelően a gerjesztés-szabályozó kör az  $I_g$  gerjesztőáramról vett  $U_8$  negatív visszacsatolással a névleges gerjesztésnek megfelelő állandó gerjesztőáramra szabályoz.  $1000$ /min névleges fordulatszámhoz  $U_k = 220$  V névleges kapcsolófeszültség tartozik.

Ha az  $U_1$  alapjellel a névlegesnél nagyobb fordulatszámot írunk elő, akkor ezt a

fordulatszám-szabályozó kör a névlegesnél nagyobb kapcsolófeszültséggel akarja megvalósítani. Amikor azonban az  $U_k$  kapcsolófeszültség eléri a névleges értékét, akkor az  $U_9$  feszültség nagyobbá válik  $U_8$ -nál és a diódás VAGY-kapu miatt a továbbiakban az  $U_9$  feszültség lesz a gerjesztésszabályozó



14-6. ábra. A fordulatszám-szabályozó kör átalakított blokk-vázlata

kör visszavezetett jele. Ennek megfelelően ilyenkor a gerjesztésszabályozás addig csökkenti a motor gerjesztését, amíg a csökkentett gerjesztéshez és névleges kapocsfeszültséghez tartozó fordulatszám megegyezik az  $U_1$  alapjel által előírt fordulatszámmal.

A gerjesztésszabályozó kör az  $EH2$  egyfázisú, félig vezérelt hídkapcsolású tirisztoros egyenirányítóból, ennek  $G2$  gyűjtőegységéből, az  $AV2$  áramváltóból, az  $AF$  feszültségváltóból és az  $E3$  tranzisztoros szabályozó erősítóből áll. A szabályozóerősítő szintén  $PI$  jellegű. A gerjesztésszabályozó kör a motor nagy gerjesztőkörü időállandója (kb. 1 s) miatt lassú működésű, ezért a mezőgyengítéses tartományban a gyors fordulatszám-változtatásokra (pl. hirtelen terhelés lökések) először a gyors működésű fordulatszám- és áramszabályozó körök kapocsfeszültség-változtatással reagálnak és a gerjesztésszabályozó csak utána állítja vissza a kapocsfeszültséget a névleges értékre.

Az  $E1$ ,  $E2$ ,  $E3$  szabályozóerősítők differenciál bemenetű, nagy erősítésű univerzális tranzisztoros műveleti erősítők. A  $PI$  jelleget az erősítő egyszerű  $RC$ -visszacsatolásával lehet előállítani, amellyel az erősítési tényező és az integrálási időállandó is kényelmesen változtatható. Az erősítők és az egész szabályozórendszer az áramösszehasonlítás elvén épül fel, amelynek egyik nagy előnye, hogy minden jelet az egész rendszerre közös 0 szinthez viszonyíthatunk. A közös 0 szint azért is rendkívül előnyös, mert így a szabályozórendszer minden egységének egy pontja fémesen összeköthető, és ez a külső zavaró jelek hatását minimálisra csökkenti. Ezenkívül további előnye ennek a rendszernek, hogy különböző funkciókat ellátó áramkörök közös tápegységre csatlakoztathatók. Ilyen rendszerben a jelek igen egyszerűen,  $RC$ -tagokkal szűrhetők. A szabályozórendszer elemeinél a névleges jelszint  $\pm 10$  V.

A  $G1$  és  $G2$  tranzisztoros gyűjtőegységek meredek felfutású impulzussorozatokat állítanak elő, ahol a kezdő impulzus fázishelyzete egyenfeszültséggel vezérelhető. Az  $AV1$ ,  $AV2$  és  $AF$  egyenáramú áram-, ill. feszültségváltók áramvezérlésű mágneses erősítés elven működnek, olyan speciális kapcsolásban, amely biztosítja, hogy még néhány kHz-es vezérlőjeleket is alakhűen visznek át.

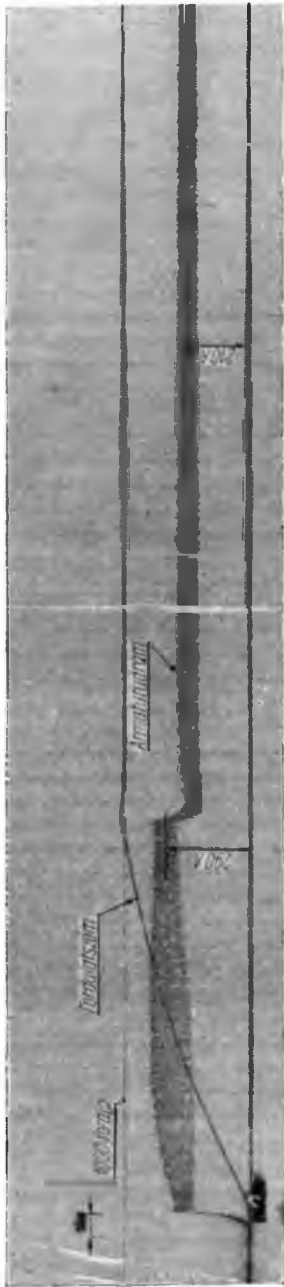
Az  $MK$  meredekségkorlátozó egység feladata, hogy a gyűjtőegységek vezérlőfeszültsége egy beállított értéknél nagyobb meredekséggel ne változhasson. Ez azért szükséges, mert a nagy erősítési tényezőjű szabályozóerősítők hirtelen változásokra ugrásszerűen változtatják a kimeneti feszültséget és ilyen gyűjtésvezérlésekkel szemben az áramkorlátozás a meredekségkorlátozó nélkül tehetetlen volna.

Az  $EV$  elektronikus védelem bistabil multivibrátor, amelyet az áramkorlátozási értéknél nagyobb áramjelek működtetnek, és működésekor néhány mikroszekundum alatt megszünteti a gyűjtőegységek vezérlőimpulzusait.

Az  $NI$  egység szintén nem folyamatos működésű, segítségével nyomógommbal indítható a hajtás az  $U_1$  alapjellel előre beállított fordulatszámra.

A szabályozásban több nemlineáris jellegű tag szerepel (pl. tirisztoros egyenirányítók, gyűjtőegységek, a motor gerjesztőköre stb.) Ezek miatt a szabályozási körök munkaponttól függő átviteli tényezőkkel rendelkeznek. A mezőgyengítéses tartományban az 1:3 mezőgyengítésnek megfelelően a motor  $T_m$  elektromechanikai időállandója 1:9 arányban változik.

Mivel a féligvezérelt egyenirányítóról való táplálás a motor számára nem biztosít fékezést, ezért a motor lassulása terhelt vagy üresen járó állapotban nem egyforma. Ez erősen eltorzítja a motor frekvenciaátviteli függvényét, a Bode-diagramot elvileg már nem is lehetne használni és az előbbieken alapján az átviteli tényezők és az időállandók is csak igen durván számolhatók. Mindezek ellenére a Bode-diagram használatával gyorsan és szemléletesen megállapíthatók a szabályozóerősítők átviteli



14-7. ábra. Felfutás 210 A névleges terheléssel 1000 ford/perc fordulatszámra

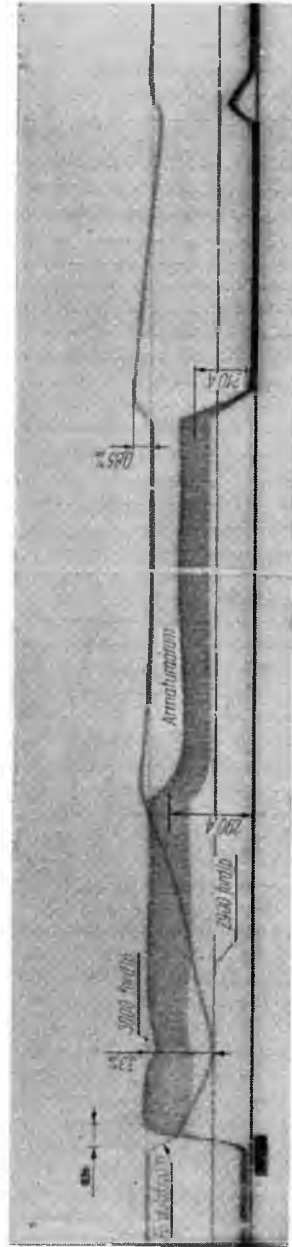


14-8. ábra. 210 A névleges terhelés be- és kikapcsolása  $n_n = 1000$  ford/perc fordulatszámál. (A fordulatszám-eltérés erősen szűzűzött léptékben)





14-9. ábra. Felfutás terhelés nélkül 3000 ford/perc fordulatszámra



14-10. ábra. 210 A névleges terhelés be- és kikapcsolása 3000 ford/perc fordulatszámánál

tényezőinek és időállandóinak nagyságrendi értékei. A pontos értékek az ismertett rendszerben a szabályozóerősítők jó illeszthetősége folytán üzembehelyezéskor gyorsan és kényelmesen beállíthatók.

#### 4. Összefoglalás

Az előzőekben egy  $1/4$ -es üzemre alkalmas tirisztoros hajtást ismertettünk. Röviden vázoltuk az erősáramú kapcsolást. Kieértünk az egyes szabályozókörok működésére és felépítésére. Vázoltuk azokat a szabályozástechnikai elveket és módszereket, amelyek alapján felépítettük és beállítottuk a szabályozóköroket. A hajtás dinamikus és statikus tulajdonságairól az oszcillogramok adnak tájékoztatást (14-7.—14-10. ábra).

A hajtás tapasztalatainak felhasználásával már több tirisztoros berendezésünk üzemel. Ezen elemek továbbfejlesztésével intézetünkben elkészült egy 16 kW-os  $4/4$ -es tirisztoros hajtás is, amelyet az 1968-as Budapesti Ipari Vásáron működés közben bemutattunk.

#### Irodalom

- [1] *Dr. Rác I.*: Villamos hajtások. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.
- [2] *Chestnut—Mayer*: Szervomechanizmusok és szabályozó rendszerek tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1959.
- [3] *Weber, J.*: Stromrichter in halbgesteuerter Brückenschaltung mit Freilaufventil. Siemens Zeitschrift, 4 (1965).
- [4] *W, Latzel*: Begrenzungsregelungen I. II. Regelungstechnik, 4, 5 (1964).
- [5] *F, Kümmel*: Einfluß der Stellgliedeigenschaften auf die Dynamik von Drehzahlregelkreisen mit unterlagerten Stromregelung. Regelungstechnik 5 (1965)

# 15.

## Nagypontosságú, háromfázisú feszültség- és frekvenciaszabályozó berendezés

*MLINKÓ TAMÁS*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A háromfázisú precíziós fogyasztásmérők hitelesítéséhez nagy stabilitású tápáramforrás szükséges. A cikk részletesen foglalkozik az Országos Mérésügyi Hivatal részére készített szabályozóberendezéssel. Ezen belül a szabályozóval szemben támasztott villamos követelményekkel, a berendezés felépítésével és működésével. Részletesen elemzi azokat az áramkörti problémákat, amelyek a 0,05%-os feszültség és a 0,1%-os frekvenciatartásból erednek.

### ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРЕХФАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ

*T. Mlinko*

#### Резюме

Для калибровки трехфазных прецизионных счетчиков расхода энергии необходимо иметь источник питания высокой стабильности. Статья подробно описывает регулирующее устройство, изготовленное для Центрального Управления по делам измерения. Статья дает описание электрических требований, предъявляемых к регуляторам, их конструкции и работе.

Подробно излагаются проблемы цепей, являющиеся последствием необходимости поддержания напряжения с точностью 0,05 %-ов и частоты 0,1 %.

### DREIPHASENSPANNUNGS- UND FREQUENZREGLER HOHER GENAUIGKEIT

*T. Mlinkó*

#### Zusammenfassung

Zur Eichung von Präzisions-Drehstromzählern ist eine Speisestromquelle hoher Stabilität erforderlich. Die Abhandlung erörtert eingehend den für das Staatliche Amt für Messwesen entwickelten Regler und in diesem Rahmen die an den Regler gestellten elektrischen Anforderungen, den Aufbau und die Arbeitsweise der Einrichtung. Es folgt eine detaillierte Analyse der Schaltungsprobleme, die sich aus der 0,05 %-igen Spannung- und der 1,1 %-igen Frequenz-Stabilität ergeben.

### HIGH-ACCURACY THREE-PHASE VOLTAGE AND FREQUENCY CONTROL EQUIPMENT

*T. Mlinkó*

#### Summary

Highly stable power source is necessary for the calibration of three-phase high-precision kilowatt-hour meters. The paper discusses in detail the control equipment made for the National Office of Weights and Measures. In this frame, there are discussed the electrical requirements raised for the controller, the construction and the operation of the equipment. The circuit problems arising from maintaining the voltage within 0,05 per cent and the frequency within 0,1 per cent are analyzed in detail.

## 1. Bevezetés

Magyarországnak jelentős hagyományai vannak váltakozóáramú indukciós fogyasztásmérők gyártásában. E nagy múltú és egyben világhírű iparágunk megalapítója Bláthy Ottó Titusz volt, aki az elsők között szabadalmaztatta azt a fogyasztásmérőt, amelynek elvén működnek a napjainkban gyártott mérőműszerek is. A hazánkban gyártott indukciós fogyasztásmérők a múltban és jelenleg egyaránt a világszínvonal élenjáró képviselői. Ezt a tényt a legjobban az bizonyítja, hogy Magyarország immár több mint egy évtizede témavezetője az IEC 13a csoportjának (villamos fogyasztásmérők csoportja). A Ganz Árammérőgyár által gyártott mérőműszerek ma már minden földrészen megtalálhatók.

A technika fejlődése következtében állandóan tökéletesedő fogyasztásmérőkkel szemben a felhasználók egyre nagyobb követelményeket támasztanak. Ez elsősorban az energiát szolgáltató cégek részéről a fogyasztott villamos energia mérési pontosságára vonatkozik.

Amíg az 1950-es évek végéig csak 2,5 és 2-es hibaosztályú fogyasztásmérőket készítettek, ma már az élenjáró országokban sorozatban gyártják a precíziós 1-es hibaosztályú fogyasztásmérőket is. Magyarország az egyetlen olyan KGST-ország, amely szintén sorozatban gyártja ezeket a mérőműszereket.

A fogyasztásmérők pontosságának növelésével párhuzamosan megnöttek a hitelesítés követelményei is. A hazánkban gyártott precíziós háromfázisú fogyasztásmérőket az Országos Mérésügyi Hivatalban hitelesítik egyenként.

A fogyasztásmérőket az összehasonlítás elve alapján hitelesítik. Ennek lényege az, hogy nagy pontosságú, ún. etalon teljesítménymérők és a hitelesítendő fogyasztásmérő ugyanazt a villamos teljesítményt méri. A fogyasztásmérő hitelesítése a villamos teljesítmény és az idő együttes mérésével történik. A mérési eredmények azonban csak akkor értékelhetők, ha a teljesítménymérőkkel mért háromfázisú villamos teljesítmény a mérés időtartama alatt állandó, ill. egy adott hibahatáron belül változik. A hitelesítéshez használt teljesítménymérők 0,1 hibaosztályú precíziós mérőműszerek.

Az állandó villamos teljesítmény előállítása szigorú követelményt jelent a fogyasztót tápláló hálózattal szemben. A következőkben megvizsgáljuk, hogy a fentieknek megfelelően milyen követelményeket kell a tápláló hálózattal szemben támasztani.

A fogyasztásmérő által mért villamos energia:  $W = Pt$ , ahol  $P$  a teljesítmény és  $t$  a mérés időtartama. A fogyasztásmérő az energiát egy  $\delta(W)$  hibával méri.

Tekintettel arra, hogy a mérés időtartama alatt a tápforrás feszültsége és frekvenciája változik, a mért villamos energia a változó mennyiségek függvénye:

$$W(U, \omega) = kf(\omega)U^2t, \quad (1)$$

ahol

$f(\omega)$  a fogyasztásmérő frekvenciafüggését jelenti,  
 $k$  arányossági tényező.

A fogyasztásmérő és a teljesítménymérők időhibája azonos, ezért a fogyasztásmérő hibájának számításakor állandónak tekinthető. A hitelesítés hibáját az (1) összefüggés teljes differenciálja adja meg:

$$\delta W(U, \omega) = kf(\omega)U^2t \left[ \frac{1}{f(\omega)} \frac{\partial W}{\partial \omega} d\omega + \frac{2}{U} dU \right]. \quad (2)$$

Ha a fogyasztásmérő hibáját 10% pontossággal akarjuk megadni, akkor az 1-es hibaosztályú mérőműszer esetében  $\delta(W)$  legfeljebb 0,1% lehet. Ha a fogyasztás-

mérő frekvenciafüggését elhanyagoljuk, a táphálózat feszültségét legalább  $\pm 0,05\%$  pontossággal kell tartani a mérés időtartama alatt. Az így kiszámított pontosság a hitelesítés szempontjából minimális követelménynek számít. A táphálózat feszültségének stabilizálása szempontjából viszont rendkívül igényes kívánalom. Bár a fogyasztásmérő frekvenciafüggését a  $\delta(W)$  megbecsülésekor elhanyagoltuk, a feszültség szabályozása érdekében célszerű azt is nagypontosságú hibahatáron belül tartani. Ez a hibahatár célszerűen  $\pm 0,1\%$ .

Mivel a hatásos villamos teljesítményt a váltakozófeszültség és -áram effektív értéke definiálja, a táphálózat által szolgáltatott feszültség görbealakjára nézve szintén szigorú követelmények vannak. Ennek megfelelően a szinuszos feszültség torzítása legfeljebb 2% lehet az ideális szinuszos hullámalakra vonatkoztatva. A három fázismennyiség szimmetriája szintén nagyon fontos követelmény, egyrészt az egyes fázisok feszültségamplitúdója, másrészt a fázisfeszültségek között levő szögkülönbségre vonatkozóan.

A gyakorlati életben használt háromfázisú feszültségstabilizátorokkal szemben a felhasználók a fentiekben ismertetett követelményeknél lényegesen kisebbeket támasztanak. Érthető tehát az a tény, hogy napjainkban a háromfázisú váltakozófeszültség stabilizálásával foglalkozó cégek gyártmányai a fenti követelményeket nem tudják kielégíteni. Ennek nagyrészt gazdasági okai vannak, mert a fenti követelményeket teljesítő tápforrás nagyon drága, és kevés darabszámra van igény országunként.

Az OMH kérésére a Villamosipari Kutató Intézet kifejlesztette az igényeknek megfelelő szabályozóberendezést, amely 1967. márciusa óta megfelelően működik.

E rövid bevezetés után rátérünk a szabályozóberendezés ismertetésére. Meg kívánjuk jegyezni, hogy a berendezés felépítésén és rövid működési elvén túlmenően egyenként foglalkozunk azokkal a problémákkal, amelyek egy ilyen nagypontosságú berendezés kivitelezhetőségét döntően befolyásolják, de a szabályozástechnika ipari alkalmazásában szinte ismeretlenek, és előre nem látható akadályokat jelentenek. Ezeknek a problémáknak a következetes matematikai tárgyalása messze meghaladná ennek a dolgozatnak a kereteit. Ezért a továbbiakban a kiinduláson és a végeredményen kívül igyekszünk a kérdésekre fizikailag választ adni.

## 2. A szabályozóberendezés felépítése

A mérőműszerek hitelesítéséhez szükséges háromfázisú villamos teljesítmény 3,5 kVA,  $\cos \varphi = 1$  esetén, és 2 kVA  $\cos \varphi = 0,2$  esetén. A fogyasztásmérőt a névleges frekvencia környékén  $\pm 5\%$ -os tartományban is meg kell mérni. A hazánkban gyártott fogyasztásmérők túlnyomórészt 50 Hz frekvenciájú hálózat energiamérésére készülnek, de külföldi megrendelésre készülnek 60 Hz frekvenciájú fogyasztásmérők is. Ennek megfelelően a tápfeszültség frekvenciáját célszerű 45 és 65 Hz között fokozatmentesen változtatni. Ilyen feladat megoldására csak forgógép jöhet számításba. A táphálózat tehát olyan háromfázisú szimmetrikus generátor, amelynek egyrészt a frekvenciáját, másrészt a feszültségét kell változtatni és szabályozni.

A generátorral szemben támasztott követelményeket a torzítás és szimmetria tekintetében már a bevezetésben ismertettük. A generátor feszültség szabályozójának olyannak kell lenni, hogy a gép szabályozás nélküli állapotában meglévő torzítását a szabályozás ne növelje.

A szabályozott feszültség az adott pontossági határon belül természetesen szabadon változhat. Hitelesítés közben a mérőműszerek leolvasása, és a szabályozott feszültség

komparátoros úton történő mérése (lásd a későbbiekben) azonban megköveteli, hogy a szabályozott feszültség az adott hibahatáron belül olyan sebességgel változzék, hogy az a mérést végző személy számára követhető legyen. Ez meghatározza a szinkron generátor szabályozott feszültségének ingadozási sebességét, ami az alkalmazott komparátor esetében legfeljebb 0,01%/s lehet. Ennél nagyobb sebességnél a műszerek leolvasása már nehézséget okoz.

A szabályozóberendezést érő külső zavaró hatások a következők:

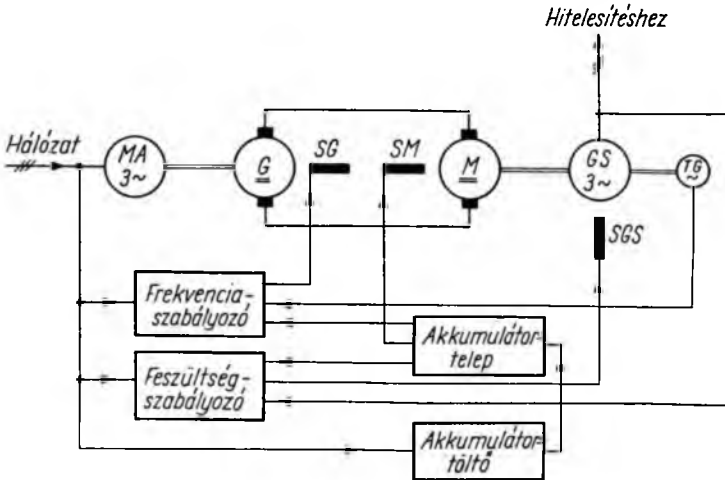
- a) a szabályozóberendezést tápláló hálózati feszültség ingadozása: ennek értéke várhatóan  $-10\%$  és  $+5\%$  között van a névleges értékre vonatkoztatva;
- b) a hálózati feszültség frekvenciájának ingadozása: szokásos értéke  $\pm 1\%$ ;
- c) a környezeti hőmérséklet ingadozása.

A szabályozóberendezés szempontjából a terhelés nem jelent zavarást, mert a mérés alapfeltétele a szinkron generátor terhelését képviselő impedanciák állandósága. A terhelésingadozás tehát a feszültségingadozás négyzetével arányos. Ez utóbbi azonban a 0,05%-os feszültség szabályozás esetén elhanyagolható.

A következőkben a zavarhatásokkal foglalkozunk részletesen.

1. A szabályozott feszültségnek a tápfeszültség ingadozásából adódó eltérését a szabályozóberendezésnek kell kiszabályozni, amennyiben a szabályozó felépítése olyan, hogy a tápláló hálózatra érzékeny. Ez önmagában véve nagyon komoly követelmény, de megoldható. A csak hálózati táplálásnak azonban ennél sokkal súlyosabb következménye is lehet: a szabályozott feszültség a hálózati zavarás következtében lebeg.

2. A szabályozóberendezés működési feltétele a szabályozott feszültség érzékelése. Amennyiben a szabályozott feszültség frekvenciája állandó, és a szabályozó tápfeszültségének (hálózat) frekvenciájához közel esik, a szabályozóberendezésben előre meg nem határozható amplitúdójú és frekvenciájú lebegések keletkeznek. Ezek a lebegések üteme a hálózati frekvencia ingadozása miatt sztochasztikusan változik. Ezek a lebegések nem szabályozástechnikai lengések, hanem a közel eső frekvenciák egymásrahatásának eredményei. A lebegés megszüntetése céljából a szabályozóberendezést csak részben tápláljuk a háromfázisú hálózatról. Az elektronikus erősítőket akkumulátortelep táplálja.



15-1. ábra. A szabályozóberendezés elvi felépítése

3. A környezeti hőmérséklet ingadozása a félvezetős szabályozóberendezésre nézve hátrányos. A szabályozóberendezés hőmérséklet-érzékeny annak ellenére, hogy több megoldást alkalmaztunk ennek csökkentésére. A mérőhelyiségben a mérés időtartama alatt (15 min) a hőmérsékletváltozás kisebb mint  $2^{\circ}\text{C}/15\text{ min}$ , a szabályozóberendezés számára a mérési idő alatt ennek megfelelően a hőmérsékletingadozás nem jelent zavaró hatást.

A szabályozóberendezés elvi felépítését a 15-1. ábra szemlélteti. A váltakozóáramú háromfázisú generátort külső gerjesztésű egyenáramú Ward—Leonard-kapcsolású motor ( $M$ ), a külső gerjesztésű egyenáramú generátort ( $G$ ) háromfázisú csúszógyűrűs aszinkron motor hajtja. A fordulatszám érzékelése egyfázisú váltakozófeszültségű tachóméter-generátorral ( $TG$ ) történik. A feszültség- és frekvenciaszabályozó berendezés a két generátor gerjesztőtekercsein keresztül ( $SG, SGS$ ) avatkozik be. A szabályozóberendezéseket részben a háromfázisú váltakozófeszültségű hálózat, részben pedig akkumulátortelep táplálja.

Az akkumulátortelepet háromfázisú táplálású töltőberendezés tölti, de csak abban az esetben, ha a szabályozóberendezés nem működik. A töltőberendezés a töltőáramot szabályozza. A dolgozatban a töltőberendezéssel nem foglalkozunk.

### 3. Az akkumulátortáplálás

Az akkumulátortelep feszültségét a szabályozóberendezésben levő tranzisztorok zárófeszültsége határozza meg. A telep névleges feszültsége ennek megfelelően 60 V. A szabályozóberendezés fogyasztása, valamint az egyenáramú hajtómotor gerjesztés-igénye összesen kb. 7 A. Az akkumulátortelep kapacitását úgy célszerű megválasztani, hogy újratöltés nélkül három munkanapon keresztül üzemelhessen a berendezés. Ennek megfelelően 210 Ah névleges tárolókapességű akkumulátortelepre van szükség. Az alkalmazott TK 70 típusú lúgos akkumulátortelep belső ellenállása cellánként kb.  $0,005\ \Omega$ . A 60 V névleges feszültség elérésére 50 db cella van sorbakapcsolva. A tárolókapesség biztosítása érdekében három sor akkumulátortelep van párhuzamosan kapcsolva. Az akkumulátortelep eredő belső ellenállása ennek megfelelően  $0,1\ \Omega$ . A teljesen feltöltött telep feszültsége kb. 80 V, a kisütött telep feszültsége kb. 50 V. A telep kisütési ideje 30 h. A kisütés kezdetén rohamosan csökken az akkumulátortelep feszültsége és kb. 1 h múlva beáll az állandósult állapot, ami az akkumulátor feszültségcsökkenésére nézve kb. egyenletes csökkenést jelent egészen a feszültség letöréséig.

Ha a kezdeti szakasztól eltekintünk, akkor kb. 1 V/h sebességgel csökken a telep feszültsége. A negyedórás mérési idő alatt ez 0,25 V telep-feszültség-változásnak felel meg. A legkedvezőtlenebb az az eset, amikor az akkumulátor feszültsége a legalacsonyabb, azaz 50 V. A legkedvezőtlenebb esetben a mérési idő alatt fellépő telep-feszültség-változás mértéke 0,5%. Ezt a zavaró hatást viszonylag kis körerősítésű szabályozóberendezéssel ki lehet szabályozni.

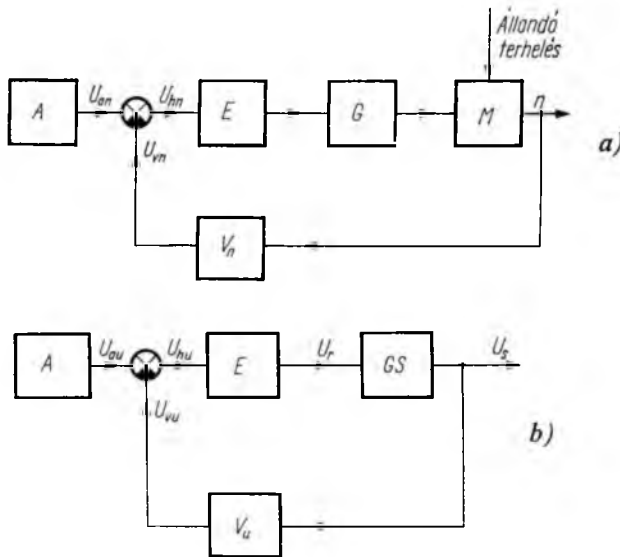
### 4. A szabályozóberendezések alkotóelemei

A feszültség- és frekvenciaszabályozó berendezés hasonló felépítésű. Magukba foglalják a nagy pontosságú alapjelképző szervet, a visszacsatolást és a különbségképzést, valamint az erősítőt is.

A szabályozott jellemző rendszertelen változásának (a szabályozási tartományon belül) sebességkorlátozása megköveteli, hogy a feladatot minél kisebb körerősítéssel oldjuk meg. A nagy körerősítés következménye a nagysebességű túllendülések megjelenése a szabályozott jellemzőben.

A kis körerősítés viszont a zavaró hatások szempontjából hátrányos. Mégis az utóbbi megoldást kell választani olyan módon, hogy a zavarok hatását ki kell küszöbölni. A tápfeszültség amplitúdójának és frekvenciájának ingadozása a legnagyobb zavarás. Mindkettő hatását ki lehet küszöbölni, amennyiben a szabályozóberendezésben felhasznált hálózati feszültségeket az egyenirányítás után nagymértékben stabilizáljuk.

A szabályozóberendezés megfelelő működésének egyik legfontosabb követelménye a szokatlanul nagymértékű stabilizálás.



15-2. ábra. a) frekvenciaszabályozás,  
b) feszültség szabályozás hatásvázlata

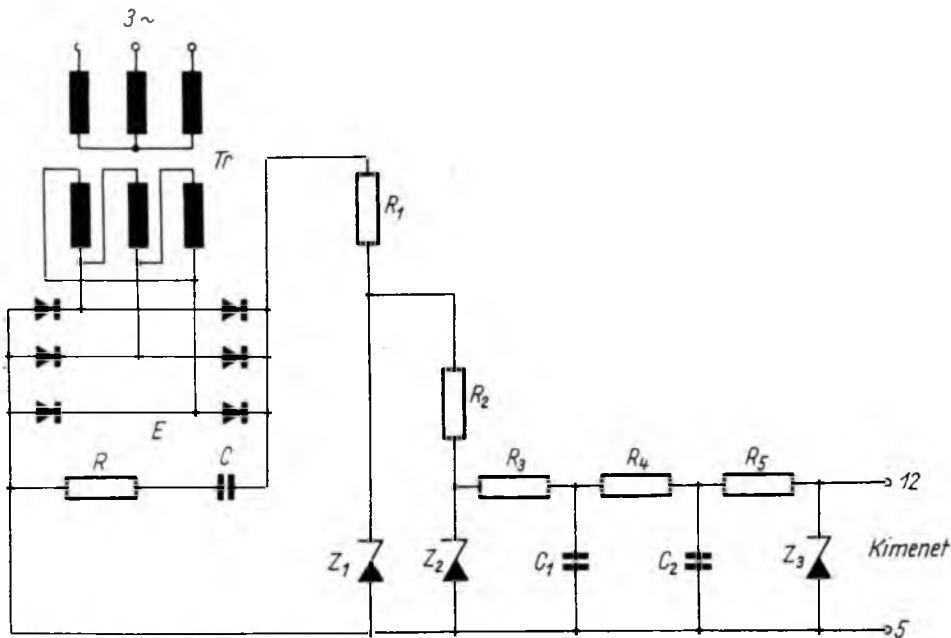
A két szabályozórendszer hatásvázlatát a 15-2a, ill. 15-2b ábra szemlélteti. A két szabályozórendszer hasonló felépítése, valamint a frekvenciaszabályozó kisebb pontossága miatt csak a feszültség szabályozás kérdéseivel foglalkozunk.

A következőkben a feszültség szabályozó kör hatásvázlatában szereplő tagokat vizsgáljuk meg részben áramköri felépítés, részben szabályozástechnikai szempontból.

Az  $A$  jelű blokk a nagy pontosságú alapjelképző szövet tartalmazza. Ha eltekintünk a szinkron generátor telítődő jelleggörbéjétől, a szabályozórendszer lineárisnak tekinthető. Ha a szabályozott feszültség értékét legalább 0,05% pontossággal akarjuk tartani, akkor az alapjel relatív pontosságának legalább 0,01%-nak kell lenni. Ilyen pontosságú alapjelképző szövet láthatunk a 15-3. ábrán.

A háromfázisú szigetelőtranszformátor ( $Tr$ ) szekunder kapcsain megjelenő váltakozófeszültséget egyenirányítóval ( $E$ ) egyenirányítjuk, majd háromfokozatú Zener-diódás stabilizátorral stabilizáljuk. Megjegyezzük, hogy  $Z_1$  és  $Z_2$  a valóságban





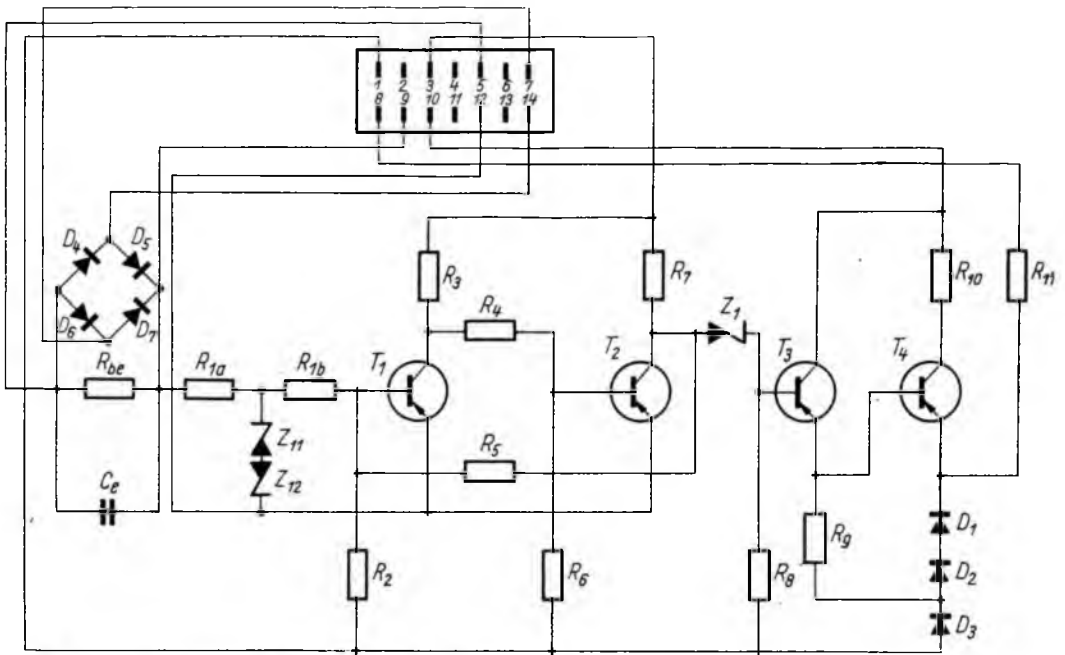
15-3. ábra. Alapjelképző szerv

több sorbakapcsolt nagyteljesítményű diódából áll, amelyeket az egyszerűség kedvéért 1 db diórával jelöltünk.

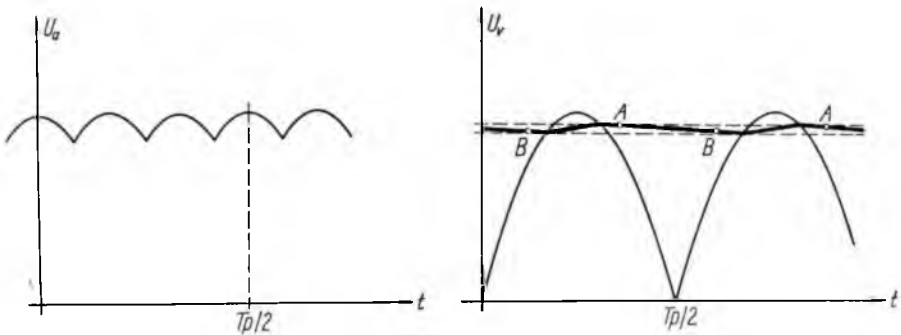
Az alapjelet nem lehet az akkumulátor kapocsfeszültségének stabilizálásával előállítani, mert a szükséges alapjel és az akkumulátor kapocsfeszültsége között nincs elegendő feszültségkülönbség. A  $C_1$  és  $C_2$  nagykapacitású kondenzátorok az alapjelképző statikus pontosságát nem befolyásolják, ezekre a későbbiekben ismertetett lebegések megszüntetése miatt van szükség. A  $C_1$  és  $C_2$  kapacitás, valamint a  $Z_3$  Zener-dióda  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$  munkaellenállásainak aránya úgy van meghatározva, hogy az 5 és 12 pontok között megjelenő stabilizált egyenfeszültség változó összetevője közelítőleg zérus legyen.

A szabályozóberendezés legfontosabb eleme a nagyteljesítményű kapcsolóüzemű tranzisztoros erősítő. Az erősítő kapcsolási rajzát a 15-4. ábra mutatja be.

Az erősítő táppontjait az 1-12, 1-3 és az 1-10 pontok jelölik. Az 1 pontra kapcsolt stabilizált egyenfeszültség a tranzisztorok bázisának pozitív előfeszítő feszültsége. A 3 pontra kapcsolt stabilizált negatív feszültség a  $T_1$  és  $T_2$  tranzisztorból álló egy stabil állapotú billenőkör tápfeszültsége. A teljes akkumulátorfeszültség az 1-10 pontok között jelenik meg. A 12 és a 3 pont feszültsége az akkumulátor kapocsfeszültségéből van stabilizálva. A szinkron generátor SGS gerjesztőtekercsét a  $T_4$  végtranzisztor táplálja. Az erősítő 5-12 pontjaira kapcsolódik az alapjelképző  $U_a$  egyenfeszültsége, a 7-14 pontokra a szinkrongenerátor szabályozott feszültsége. A szabályozott feszültséget egyfázisú hídkapcsolású egyenirányítóval egyenirányítjuk, majd az  $R_{b_e}$  és  $C_e$  elemekkel simítjuk. A simítás mértéke akkora, hogy a visszavezetett, egyenirányított és simított feszültség váltakozófeszültségű komponense nagyobb legyen, mint az erősítő átbillenéséhez szükséges feszültség. Az erősítő billenését a visszavezetett, egyenirányított jelben levő váltakozófeszültségű komponens végzi.



15-4. ábra. Kapcsolóüzemű tranzisztoros erősítő



15-5. A szűrés nélküli alapjel, és a visszavezetett jel

A vezérlés következtében a végtranzistor billenési frekvenciája mindig kétszerese a szinkron generátor által szolgáltatott feszültség frekvenciájának. Az erősítő úgy van méretezve, hogy 50 Hz frekvencia, 3,5 kVA és  $\cos \varphi = 1$  esetén a végtranzistor be- és kikapcsolási ideje kb. azonos legyen. Az erősítő bemenetén történik az  $U_a$  és az  $U_v$  feszültségek különbségképzése és az  $R_{1a}$ , ill.  $R_{1b}$  ellenállásokra már csak az  $U_h$  hibajel jut.

Ha az erősítő bemenetén levő eredő feszültség értéke nem éri el az átbillenéshez szükséges feszültségértéket, akkor az erősítő végtranzistora zárva van. Természetesen zárva van a vele kaskád kapcsolásban levő  $T_3$  tranzisztor és a  $T_1$  tranzisztor

is, a  $T_2$  tranzisztor pedig nyitva van. Kellő nagyságú és polaritású bemenő feszültség esetén az erősítő átbillen, a nyitott és zárt tranzisztorok állapotai felcserélődnek.

A 15-5. ábrán feltüntettük az  $U_a$  alapjelet (ha nem lenne kondenzátor az alapjelképzőben) és az  $U_v$  visszavezetett jelet. Ez utóbbinak csak az egyenirányított alakját és simított értékét rajzoltuk meg. Ha az erősítő billenési sávszélességét elhanyagoljuk, az erősítő átbillenése az  $A$ , visszabilenése a  $B$  pontokban történik. Az erősítő billenése miatt az akkumulátor kapocsfeszültsége a terhelésváltozás következtében nem lesz sima egyenfeszültség. A 15-6. ábra az egyenáramú generátor és a szinkron generátor gerjesztőfeszültségének időfüggvényét, valamint az akkumulátor feszültségét mutatja be. Valamennyi részábrában feltüntettük a terheletlen akkumulátor feszültségét is ( $U_{A0}$ ).

A gerjesztőfeszültségek alakulását a következőképpen láthatjuk be. Tekintettel arra, hogy a szinkron generátor tengelyén levő váltakozófeszültségű tachométer-generátor pólusszáma megegyezik a szinkron generátor pólusszámával, és fordulatszámuk a kényszerkapcsolat miatt azonos, a szinkron generátor és a tachométer-generátor által szolgáltatott váltakozófeszültségek frekvenciája függetlenül a gépcsoport fordulatszámától egymással mindig azonos lesz. A frekvenciaszabályozó és a feszültségszabályozó tranzisztoros erősítői szintén azonosak, és a visszavezetett feszültségek frekvenciájának kétszeresével billennek. Ez azt jelenti, hogy adott feszültség és frekvencia esetén a két erősítő végtranzisztorának bebillenési és visszabilenési pontjaihoz tartozó fázisszögek közötti villamos szögkülönbség állandó. A billenési pontok között levő állandó fázisszög nagyságát egyrészt a szinkron generátor és a tachométer-generátor állórészének, másrészt a két gép forgórészének egymáshoz viszonyított és mechanikusan rögzített helyzete határozza meg.

Az erősítő végtranzisztorának bekapcsolásakor az akkumulátor kapocsfeszültsége a belső ellenállása miatt lecsökken, majd a végtranzisztor kikapcsolásakor megnő. Az akkumulátor kapocsfeszültségében ennek megfelelően olyan váltakozófeszültségű komponens jelenik meg, amelynek az alapharmonikus frekvenciája szintén kétszerese a szabályozott feszültség frekvenciájának.

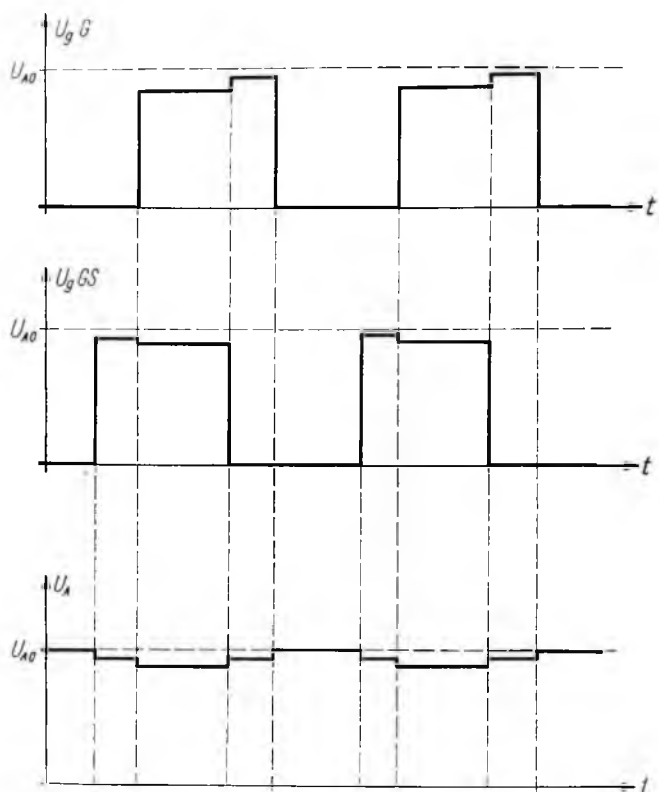
A szinkron generátor gerjesztésének áramalakja a gerjesztőtekercs induktivitása miatt nem egyezik meg a 15-6. ábrán látható gerjesztőfeszültség alakjával. Az áramalak a bekapcsolási idő alatt exponenciálisan növekszik, míg a kikapcsolás ideje alatt exponenciálisan csökken. A gerjesztőáram középtértékét a bekapcsolási idő és a periódusidő aránya határozza meg.

A szinkrongenerátor gerjesztőáramában levő váltakozóáramú komponens felharmonikusokat hoz létre a gép főfluxusában. Azonban a szinkron generátor gerjesztőköri időállandója akkora, hogy a kapocsfeszültségben jelentkező felharmonikusok nem számottevők.

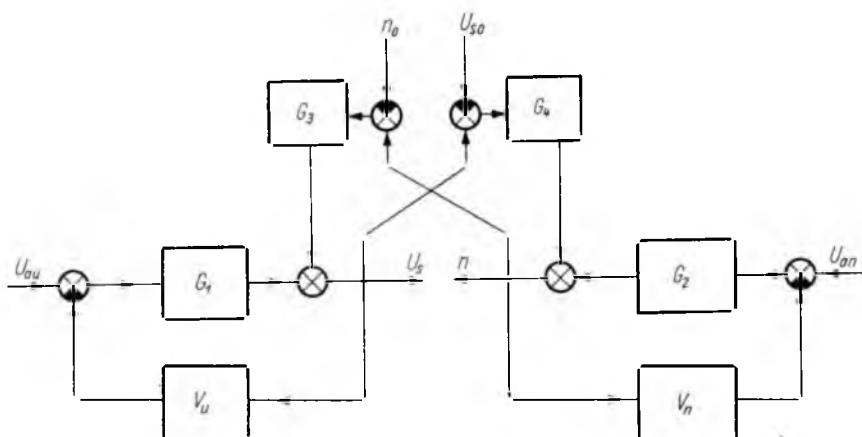
*Az OMH munkatársai analizálták a szinkron generátor feszültségalakját sima egyenáramú gerjesztés és szabályozott gerjesztés esetén. Megállapították, hogy a szabályozott feszültségalak torzítás szempontjából ugyanolyan, mintha sima egyenárammal gerjesztenék a generátort.*

Maga a tranzisztoros erősítő szabályozás-technikailag időkésés nélküli arányos tag, amit az átviteli tényezőjével jellemezhetünk. Az erősítő átviteli tényezője az egységnyi hibajelfeszültség hatására a kimeneten megjelenő rotorfeszültség egyenáramú összetevője ( $U_r$ ).

A 15-2a ábrában feltüntettük a hatásvázlat előrevezető ágának utolsó tagját, a szinkron generátort. A generátorral kapcsolatos igényeket már részletesen ismertettük, itt csak szabályozástechnikai tulajdonságait vizsgáljuk meg. A felhasznált szinkron generátor kompenzálatlan és csillapító tekercseléssel nem rendelkezik.



15-6. ábra. Gerjesztőfeszültségek és az akkumulátor feszültsége



15-7. ábra. A két szabályozó rendszer egymásra hatása

A szinkron generátor átviteli függvényét meghatározhatjuk, ha felírjuk a gerjesztőkör feszültségegyenletét forgórészhez rögzített koordináta-rendszerben és figyelembe vesszük, hogy a forgórész az állórészhez rögzített koordináta-rendszerben a pozitív irányban  $\Omega$  szögsebességgel forog. Felírjuk továbbá az állórész feszültségegyenletét az állórészhez rögzített koordináta-rendszerben és ezt redukáljuk a forgórészhez rögzített koordináta-rendszerbe abból a célból, hogy az álló- és forgórész köri mennyiségek azonos koordináta-rendszerben szerepeljenek. A részletes számítás nem közöljük.

A szinkron generátor átviteli függvénye:

$$Y_G = \frac{U_s}{U_r} = K \frac{(s + jp\Omega) \left( 1 + \frac{sL_t}{R_t + jL_t} \right)}{1 + sT_r \frac{L_s + L_t - j \frac{p\Omega M_{rs}^2}{R_r}}{R_s + R_t + jp\Omega(L_s + L_t)} + s^2 \frac{T_r(L_s + L_t) - \frac{M_{rs}^2}{R_r}}{R_s + R_t + jp\Omega(L_s + L_t)}}, \quad (3)$$

ahol  $K = \frac{M_{rs}}{R_r} \frac{R_t + jp\Omega L_t}{R_s + R_t + jp\Omega(L_s + L_t)}$ ;

- $R_s$  a szinkron generátor állórészének ellenállása;
- $R_t$  a terhelő impedancia konduktív összetevője;
- $L_s$  a szinkron generátor állórészének szórási induktivitása;
- $L_t$  a terhelő impedancia induktív összetevője;
- $M_{rs}$  a forgórész és állórész tekercseléseinek kölcsönös induktivitása;
- $R_r$  a gerjesztőkör eredő konduktív ellenállása;
- $T_r$  a forgórész időállandója;
- $\Omega$  a forgórész szögsebessége;
- $p$  a szinkrongenerátor póluspárjainak száma.

Amennyiben az  $s = j\omega$  behelyettesítést elvégezzük, megkapjuk az  $\Omega$  szögsebességgel forgó generátor átvívó képességét az adott frekvencián. Az átviteli függvényben szereplő  $\Omega$  szögsebesség a frekvenciaszabályozó szabályozott jellemzője. A frekvenciaszabályozás relatív hibája miatt a generátor átviteli függvénye a frekvenciaszabályozástól is függ. A két szabályozórendszer tehát nem független egymástól. Ez a függőség kölcsönös, mert amennyiben a szinkron generátor feszültsége megváltozik, a változás járulékos zavaróhatásként jelentkezik a frekvenciaszabályozásban.

A két szabályozórendszer kölcsönhatásának matematikai tárgyalása nagyon hosszadalmas lenne. Ezért levezetés nélkül a fentiekben elmondottakra támaszkodva közöljük a szabályozórendszerek kölcsönhatására felrajzolt hatásvázlatot (15-7. ábra). A hatásvázlatba berajzoltuk a két szabályozórendszer szabályozott jellemzőjének és az ideális esetnek ( $n_0, U_{s0}$ ) megfelelő szabályozott jellemzőknek a különbségéből adódó járulékos hibajelek átvitelére szolgáló tagokat is ( $G_3, G_4$ ).

Megjegyezzük, hogy mindkét rendszer dinamikus tulajdonságai annál kedvezőbbek, minél inkább elhanyagolhatók a  $G_3$  és  $G_4$  függvények. Elméletileg olyan megoldás is létezhet, amelyben a  $G_3$  és  $G_4$  átviteli függvények zérusok. Ennek a feltételnek a gyakorlati kivitelezése lehetetlen.

## 5. A szabályozott feszültség lebegése

A 15-5. ábrában berajzoltuk az alapjelképző szerv egyenirányított és stabilizált egyenfeszültségét ( $U_a$ ) arra az esetre, ha kondenzátort nem alkalmaznánk. A  $p=6$  ütemű egyenirányítás következtében a stabilizált egyenfeszültségben a váltakozó-feszültségű hálózati frekvenciának  $k=np$ -szeres frekvenciájú felharmonikusai jelentkeznek, ahol  $n$  tetszőleges egész szám.

A további nagyságrendi vizsgálatokat viszonylagos egységben végezzük el. Ha figyelembe vesszük, hogy a 300 Hz-es feszültség alapharmonikusának amplitúdója 0,0532, akkor az alapjelben levő összetevője 0,00000532. Ez az érték szűrés nélkül is elfogadható.

A visszavezetett feszültség az egyenirányítás és simítás után is jelentős váltakozófeszültségű összetevőt tartalmaz. Az egyfázisú egyenirányítás következtében a felharmonikus feszültségek frekvenciái  $l=np$ -szeresei lesznek a szinkron generátor által szolgáltatott stabilizált feszültség frekvenciájának. A visszavezetett feszültség felharmonikusaira nézve  $p=2$ .

Az alapjelben és a visszavezetett jelben levő felharmonikusok, amelyekre teljesül a  $k=3l$  feltétel, azonos, vagy a hálózati feszültség frekvenciájának ingadozása következtében közel azonos frekvenciájúak lesznek.

Tételezzük fel, hogy a hálózati feszültség és a szabályozott feszültség frekvenciája állandó és tetszőlegesen kis értékben különbözik egymástól. A következőkben olyan tetszőleges felharmonikusokat vizsgálunk meg, amikre a  $k=3l$  feltétel teljesül.

A két jelben levő felharmonikusok körfrekvenciái közti különbség legyen  $\Delta\omega$ . Legyen az alapjelben levő felharmonikus alakja:

$$A_1[\sin(\omega + \Delta\omega)t + \varphi],$$

a visszavezetett jelben levő felharmonikus alakja:

$$A_2 \sin \omega t.$$

A  $\varphi$  szög nagyságát a szinkron generátor és a tachométer-generátor álló- és forgórészének egymáshoz viszonyított szöghelyezetei határozzák meg. A fenti feszültségeket a következőképpen alakíthatjuk át:

$$A_1[\sin(\omega + \Delta\omega)t + \varphi] = A_2[\sin(\omega + \Delta\omega)t + \varphi] + (A_1 - A_2)[\sin(\omega + \Delta\omega)t + \varphi]. \quad (4)$$

Képezzük az alapjel és a visszavezetett jel különbségét olyan módon, hogy a negyedik összefüggésből csak a jobb oldal első tagját vizsgáljuk tovább, ez a komponens legyen  $U_{h1}(t)$ .

$$U_{h1}(t) = A_2[\sin(\omega + \Delta\omega)t + \varphi] - A_2 \sin \omega t = A_2 \{[\sin(\omega + \Delta\omega)t + \varphi] - \sin \omega t\}. \quad (5)$$

Az (5) kifejezést trigonometriailag átalakítjuk:

$$U_{h1}(t) = 2A_2 \cos \frac{(2\omega + \Delta\omega)t + \varphi}{2} \sin \frac{\Delta\omega t + \varphi}{2}. \quad (6)$$

A (4) kifejezés jobb oldalának második tagját nem vizsgáljuk meg, mert annak hatására  $2\omega + \Delta\omega$  körfrekvenciájú feszültségek keletkeznek.

A (6) összefüggés értelmében a hibajelben  $\Delta\omega/2$  körfrekvenciájú komponens jelenik meg, melynek amplitúdója  $2A_2 \gg A_1$ . A lebegő hibajelet a rendszer felerősíti és az a szabályozott jellemzőben megjelenik. A (6) kifejezés szinuszos tagjának maxi-

muma akkor van, ha  $\Delta\omega t + \varphi = (2k + 1)\pi$ . Ha a koszinuszos tagot időfüggő amplitúdónak tekintjük, akkor annak maximuma  $(2\omega + \Delta\omega)t + \varphi = 2k\pi$  esetén van. Az amplitúdó és a lebegés maximumának a viszonyát a  $(2\omega + \Delta\omega)/\Delta\omega$  hányadosa határozza meg. Tételezzük fel, hogy a szabályozórendszer határfrekvenciája pl. 3 Hz. Legyen ennek megfelelően a  $\Delta\omega/2 = 3 \cdot 2\pi s^{-1}$ . Abban az esetben, ha  $\omega = 300 \cdot 2\pi s^{-1}$ , az  $\omega + \Delta\omega = 306 \cdot 2\pi s^{-1}$  lesz. Ebben az esetben a lebegés a 47...53 Hz-es tartományban torzítás nélkül jelentkezik. Az említett frekvenciahatárokon kívül a lebegés hatása csökken. A lebegésben valamennyi  $k = 3l$  felharmonikus résztvesz. Minél kisebb  $\Delta\omega$ , annál lassúbb lesz a lebegés üteme és szűkebb a frekvenciatartománya. Valamennyi felharmonikus hatását figyelembe venni lehetetlen. Ezenkívül a hálózati frekvencia rendszertelenül változik. Ez olyan sztohasztikus lebegést okoz, amit csak mérni lehet, de számítani nem.

*A lebegés megszüntetésének egyik módja az, ha az alapjelet úgy szűrjük, hogy váltakozófeszültségű komponenset ne tartalmazzon.*

Röviden kitérünk a szabályozott feszültség mérésére is. A gyakorlatban használatos mutató mérőműszerek ebben az esetben nem jöhetnek számításba. A mérést kompenzációval kiegészített tükrös galvanométerrel, vagy legalább ötszámjegyes digitális voltmérővel, vagy komparátorral célszerű végezni. Az OMH-ban működő berendezés méréséhez Goertz komparátort és Solartron digitális voltmérőt alkalmazunk. A komparátor fénymutatóján a 0,01%-nak 1 mm felelt meg.

## 6. A szabályozóberendezés jelenlegi helyzete

A szabályozóberendezés 1967. márciustól meghibásodás nélkül üzemszerűen működik. A berendezés lehetővé tette, hogy a sorozatban gyártott fogyasztásmérőket a szigorú szabványos előírásoknak megfelelően sorozatban hitelesítsék. A szabályozóberendezés iránt külföldön is nagy az érdeklődés. Több külföldi ország mérésügyi szakemberei személyesen is megtekintették és érdeklődtek a beszerzése iránt.

### Irodalom

- [1] *Concordia, Ch.*: Synchronous Machines, New-York J. Wiley. 1951.
- [2] *Schonan, G.*: RMS — Sensing Regulator Designed for Reliability. Electrical Manufacturing, March 1960. 87—92.
- [3] *Kovács K. P.*: Váltakozóáramú gépek tranziens folyamatai. Akadémiai Kiadó Bp. 1954.
- [4] *Melis J.*: Nagy pontosság tartására szabályozott váltakoztatható feszültségű és frekvenciájú áramforrás gyakorlati megvalósításának elméleti kérdései. Doktori értekezés, BME. 1961.
- [5] *Liska J.*: Villamosgépek III. Szinkron gépek. Tankönyvkiadó, Bp., 1955.
- [6] *El-Magrabi, M. G.*: Allgemeine Theorie der doppelt gespeisten Synchronmaschine. Leemann Verlag. Zürich, 1950.
- [7] *Gruzov, L. N.*: Metodi matematicheskogo issledovanija elektricheskich masin. Goszenergoizdat. Moszkva, 1953.
- [8] *Vilkmann, W.*: Übersicht über Kompaundierungsschaltungen für Synchrongeneratoren. ETZ-A. 26. Heft. 8 (1960) p. 932—937.
- [9] *Mlinkó T.*: Nagy pontosságú háromfázisú feszültség és frekvencia szabályozó berendezés mérőműszerek hitelesítéséhez. V. Országos Automatizálási Konferencia előadásai, BP. 1968. ápr. 16—20.





# 16.

## Fénycsövek élettartamának meghosszabbítása

LAKATOS GYÖRGY

### ÖSSZEFOGLALÁS

A fénycsövek alacsony-nyomású, izzókatódos gázkisülési csövek, amelyek élettartamát többek között az izzókatódon a gyújtáskor fellépő katódpórnás befolyásolja. Cikkirő taglalja a lejátszódó fizikai folyamatokat és azoknak a fénycső élettartamának meghosszabbítására gyakorolt hatását. Érinti az élettartam meghosszabbításának befolyását a fénycsöves világítóberendezés gazdaságosságára.

### УВЕЛИЧЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ЛЮМИНИСЦЕНТНЫХ ЛАМП

*Д. Лакатос*

#### Резюме

Люминисцентные лампы представляют собой вакуумные газоразрядные лампы с катодным накалом, на срок службы которого оказывает влияние катодное распыление, возникающее при зажигании. Автор в статье рассматривает физические явления указанного процесса и влияние, оказываемое ими на увеличение срока службы ламп. Затрагивается вопрос влияния увеличения срока службы на экономичность люминисцентных приборов освещения.

### VERLÄNGERUNG DER LEBENSDAUER VON LEUCHTLAMPEN

*Gy. Lakatos*

#### Zusammenfassung

Die Leuchtstofflampen sind Niederdruck-Gasentladungsröhren mit Glühkathoden, deren Lebensdauer unter anderem durch die auf der Glühkathode bei dem Zünden auftretende Kathodenerzstäubung beeinflusst wird. Der Autor erörtert die ablaufenden physikalischen Vorgänge und deren auf die Verlängerung der Lebensdauer der Leuchtstofflampen ausgeübte Wirkung. Er befasst sich auch mit dem Einfluss der Erhöhung der Lebensdauer auf die Wirtschaftlichkeit der mit Leuchtstofflampen aufgebauten Beleuchtungsanlagen.

### EXTENDING THE ENDURANCE OF FLUORESCENT LAMPS

*Gy. Lakatos*

#### Summary

Fluorescent lamps are low-pressure hot-cathode gasdischarge tubes; the life of such tube is influenced, among others, by the cathode sputtering which occurs on igniting the hot-cathode tube. The author discusses the physical processes which take place and their effect on the extension of the life of fluorescent lamp. The author hints at the effect of extending the life exerted on the economics of the fluorescent lamp lighting system.

## 1. Bevezetés

Az ipari elektronika területén oly nagy fontosságú megbízhatóság és annak növelése a fénycsőves világítóberendezéseknél is komoly szerepet játszik. E megbízhatóság egyik jelentős eleme a fénycsővek élettartama, illetőleg annak meghosszabbítása.

A fénycső kisnyomású gázkisüléses cső. Oxidkatódjai vannak, amelyek magfémre rendszerint kétszeresen spirálozott wolfram huzal. Az emissziós réteg földalkálifémek oxidjainak elegykristályyaiból áll. A gázkisülésben keletkező ultraibolya sugárzást a fénycső falának belső oldalára felvitt fénypor alakítja át látható sugárzássá.

A fénycső élettartamát lényegében a benne elhelyezett oxidkatódok élettartama határozza meg, mert a katódok emittáló képességének megszűntekor abbamarad a gázkisülés és a vele együttjáró fénykibocsátás is.

Ismeretes, hogy szakaszos üzemben a fénycsővek átlagos élettartamát — amely 50%-os megbízhatóságuknak felel meg — többek között erősen befolyásolja az a körülmény, hogy az oxidkatód a begyújtás időpontjában elegendően elő van-e fűtve.

E cikk a gyújtóval működtetett fénycsővek élettartamával foglalkozik. Mint ismeretes, a hálózati feszültség maga nem elegendő a fénycsővek begyújtásához, ezért többnyire olyan gyújtót kapcsolnak a fénycsővel párhuzamosan, amely előfűti

16-1. ábra. Gyújtóval működtetett fénycső kapcsolása

*F* fénycső, *K<sub>1</sub>* és *K<sub>2</sub>* oxidkatódok, *B* előtét (áramkorlátozóhoz), *S* kapcsoló, *G* gyújtó, *C* zavar-szűrő kondenzátor, *I* ikerfémről készült elektród

az oxidkatódokat, majd a fénycső begyújtásához elegendő feszültségimpulzust ad. A gyújtó kapcsolását a 16-1. ábra mutatja. Az *S* kapcsoló bekapcsolásakor a hálózati feszültség megjelenik az *F* fénycső *K<sub>1</sub>* és *K<sub>2</sub>* elektródja között. Az elektródok távolsága pl. 40 W-os fénycsőveknél 1,1 m; ilyen nagy távolságon a hálózati feszültség nem tudja elindítani a gázkisülést és így a fénycső nem gyújt be. A hálózati feszültség azonban egyidejűleg megjelenik a *G* gyújtó két elektródja közt, amelyek egymástól csak kb. 1 mm távolságban vannak. Így a gyújtó gáztöltésén keresztül parázskisülés indul meg, aminek hőfejlődése felmelegíti a gyújtóban levő *I* ikerfém elektródot. Ekkor ez elhajlik a másik elektród felé, majd érintkezik is vele. Ezzel megkezdődik a *G* gyújtó zárvatartási ideje. Ekkor fűtőáram indul meg a *K<sub>1</sub>* és *K<sub>2</sub>* elektródokon keresztül, amelynek nagyságát az előtétként alkalmazott *B* fojtótekerics szabja meg. A *G* gyújtó elektródjainak érintkezések azonban megszűnnek a köztük levő feszültség, a parázskisülés kialszik, és az *I* ikerfém elektród hűlni kezd. A hűlés következtében elválik a másik elektródtól. Ekkor végződik a *G* gyújtó első, megszakítás nélküli zárvatartási ideje. A fűtőáramkör ekkor megszakad, és a *B* előtétben felhalmozott mágneses energia hatására feszültségimpulzus jelenik meg a *G* gyújtó elektródjain és ezzel egyidejűleg az *F* fénycső *K<sub>1</sub>* és *K<sub>2</sub>* elektródja között. Ha ez a feszültségimpulzus elég nagy, a gázkisülés átüt az *F* fénycsővön, s bekövetkezik annak begyújtása. Ilyenkor a fénycső *K<sub>1</sub>* és *K<sub>2</sub>* elektródja közötti feszültség, az ún. égési feszültség csak kb. fele a hálózati feszültségnek. A gyújtót úgy méretezik, hogy az égési feszültség nem indít benne kisülést, hanem kikapcsolt állapotban marad. Így iktatódik ki automatikusan a fűtőáram.

A fénycső egyszeri begyújtása után azt folytonosan üzemben tartva, bizonyos átlagos fénycsőélettartamot érünk el, amit határelélettartamnak neveznek. Szakaszos üzemben a határelélettartamnál kisebb átlagos élettartamot kapunk.

Thayer és Brownell kimutatta [1], hogy szakaszos üzemben hogyan függ a fénycsővek átlagos élettartama a fénycsővek előfűtési idejétől. Bár Thayerék ezt nem mondták ki cikkükben, fel kell tételezni, hogy kísérletükben olyan gyújtókat használtak, amelyeknek feszültségimpulzusa elegendő nagy volt ahhoz, hogy minden előfűtés nélkül is begyújtsák a fénycsőveket.

Az irodalom tartalmaz kvalitatív utalást arra, hogy a szokásosnál nagyobb feszültségimpulzussal rövidebb előfűtési idő után is be lehet gyújtani a fénycsőveket és hogy ez az élettartam erős csökkenésével jár [2]. Kvantitatív összefüggést az élettartam és a gyújtó feszültségimpulzusa között azonban nem találtak.

Jelen cikk célja éppen ilyen kvantitatív összefüggés feltárása, a fénycsővekben lejátszódó fizikai folyamatok alapján.

## 2. Fizikai folyamatok

A katódhőmérséklet és a gyújtási feszültség közti szoros összefüggést — ugyan nem oxidkatódos, hanem izzókatódos gázkisülésekre — már a harmincas évek irodalma is tárgyalta: Kapcov és Afanszjeva kimutatta [3], hogy az argonkisülésben a gyújtási feszültség erősen csökkenthető, ha a wolfram izzókatód hőmérsékletét 2000...2500 °K-ra emeljük. Ilyen jellegű megállapítást tett később fénycsővekre vonatkozóan Lammers és Brooks váltakozóárammal való táplálás, impulzus nélküli gyújtás, és állandó árammal előfűtött katódok esetére [4]. Feszültségimpulzussal való gyújtásra vonatkozóan is tárgyalja az irodalom azt, hogy hogyan csökken az impulzus a fénycsőkatódok előfűtési idejének növelésével [5]. A feszültségimpulzus ebben az esetben leutánozza a gyújtó által adott impulzust, alakja jó megközelítéssel a

$$V = U \exp(-t/D) \quad (1)$$

egyenlettel írható le,

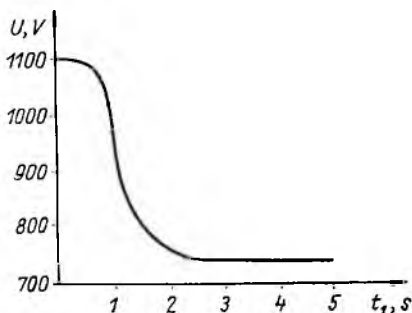
ahol  $U$  a feszültségimpulzus kezdeti értéke,

$t$  az idő,

$D$  időállandó,

amelynek értéke a gyakorlatban 1 ms nagyságrendű. Az említett munkából [5] a vonatkozó összefüggést a 16-2. ábra mutatja. Látható az ábrából, hogy  $t_1$  előfűtési idő növelésével a gyújtáshoz szükséges feszültségimpulzus  $U$  kezdeti értéke rohamosan csökken. Ez azzal függ össze, hogy állandó előfűtő áram mellett az előfűtési idő növelése megnöveli az oxidkatód hőmérsékletét annyira, hogy termikus elektronemisszió lépjen fel az oxidkatódon. Viszont az oxidkatódok a  $t_1$  előfűtési idő csökkentésekor a gyújtás pillanatáig ennél sokkal alacsonyabb hőmérsékletet érnek el.

Ezek a körülmények közvetve kihatnak a fénycső élettartamára is. Kühl módszerével [6] ki lehetett mutatni [7], hogy az igen rövid előfűtési idő esetében ( $t_1 = 0,3$  s)



16-2. ábra. A 40 W-os fénycső begyújtásához szükséges feszültségimpulzus  $U$  átlagos kezdeti értékének függése a fénycsőkatódok  $t_1$  előfűtési idejétől [5]

A feszültségimpulzus maga  $V = U \exp(-t/D)$  értékű, ahol az időállandó  $D = 0,72$  ms;  $t$  az idő, a katód-előfűtési áram 600 mA

az oxidkatód alkáli földfémek párolgási sebessége a gyújtást követő néhány másodperc alatt legalább háromszor akkora, mint elegendő hosszú ( $t_1 = 2...3$  s) előfűtési idő esetében, mégpedig 50%-kal magasabb feszültségimpulzus mellett. *Kühl* módszere abban áll, hogy az oxidkatód alkáli földfémekből elpárolgó, gerjesztett atomok által kibocsátott fényt alkalmas módon kivezeti a katód-tartományból, interferenciaszűrőn vezeti át és a kapott fényt fotoelektron-sokszorozón és erősítőn át vonalíróberendezésre viszi. A vizsgálati módszer hazai továbbfejlesztése során [7] interferenciaszűrő helyett monochromátor és vonalíró helyett oszcilloszkóp szerepelt. Mindezek alapján meg lehet magyarázni a lejátszódó fizikai folyamatokat.

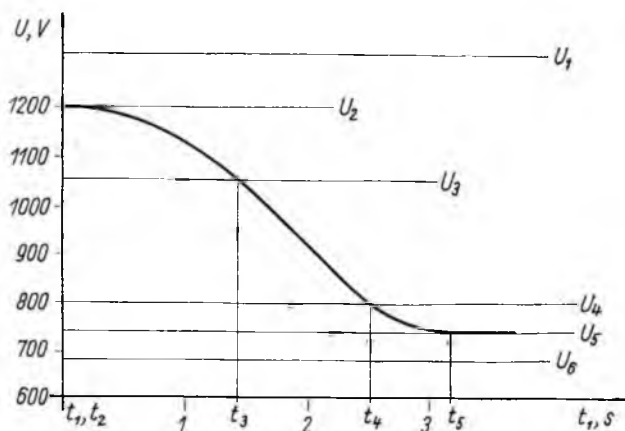
Amikor az oxidkatód előfűtési ideje rövid volt, az oxidkatód alacsony hőmérséklete még nem volt elegendő ahhoz, hogy kibocsássa a kisülés megindításához és fenntartásához szükséges elektronokat, ezért az oxidkatód magfémét képező wolfram spirálnak oxiddal be nem fedett csupasz részei vettek részt a kisülés megindításában, a hidegkatódokra jellemző többszáz voltos katódosés mellett. Ez a nagy katódosés tette lehetővé, hogy a beeső pozitív ionok bombázásának hatására megfelelő számú elektron lépjen ki a wolfram felületéből, szekunder emisszió útján. A pozitív ionokkal való bombázás azonban ugyanakkor katódporlódással is jár. A leporlódott wolfram atomok egy része rárakódik az oxidkatód felületére és megnöveli a kilépési munkát. Ez viszont azzal jár, hogy a begyújtást követő égetés során a katód ívtalppontjának a folytonos üzemű fénycső katódjénál magasabb hőmérsékletet kell elérni ahhoz, hogy az íváram fenntartásához szükséges számú elektron léphessen onnan ki. A magasabb hőmérséklet vezet az alkáli földfém atomok párolgási sebességének megnövekedéséhez, ami a katód és egyúttal a fénycső élettartamát rövidíti.

### 3. Összefüggés a fénycsövek élettartama és a gyújtók feszültségimpulzusa között

Az előzőkben feltárt vizsgálati eredményekből és ismertetett fizikai folyamatokból kiindulva a szerző elméleti összefüggést keresett a fénycsövek várható átlagos élettartama és működtetésükhöz alkalmazott gyújtó feszültségimpulzusa között.

A gyújtó által adott feszültségimpulzus és a fénycső előfűtési ideje közt fennálló összefüggésből lehetett kiindulni. A 16-2. ábra már mutatta az összefüggés jellegét. A szóba jövő fénycsövekre tehát meg kell állapítani a megfelelő görbét, az irodalomban [5] leírt módszer szerint. E módszer értelmében először meg kell állapítani, hogy a fénycsövekhez használt gyújtók feszültségimpulzusa milyen átlagos  $D$  időállandóval írható le, majd ezt követi az egyes  $t_1$  előfűtési időkhöz tartozó  $U$  átlagértékek meghatározása. A vizsgálati mérések során kapott eredményekről tételezzük fel, hogy azok a 16-3. ábra szerinti görbét adják. Ebből az ábrából kitűnik, hogy pl. az ábra szerinti  $U_3$  kezdeti értékű feszültségimpulzust adó gyújtók használata esetén a fénycsövek átlagban legkorábban  $t_3$  ideig tartó előfűtés után tudnak csak begyújtani. Az  $U_3$ -nál kisebb  $U_4$  kezdeti értékű feszültségimpulzus esetén viszont csak jóval hosszabb,  $t_4$  ideig tartó előfűtés után lehet a fénycsöveket begyújtani. Így pl. világos az ábrából, hogy ha  $U_4$  kezdeti értékű feszültségimpulzust átlagban  $t_3$  idő múlva adnának tömegesen a gyújtók (vagyis, ha első zárvatartási idejük  $t_4$  lenne), akkor nem történhetne meg általában a fénycsövek begyújtása.  $t_3$  idő múlva ui. legalább  $U_3$  kezdeti feszültségű impulzusra lenne szükség, márpedig csak ennél jóval kisebb,  $U_4$  impulzus áll rendelkezésre. Ebben az esetben a sikertelen gyújtási kísérlet után a gyújtó újból működni kezd: érintkezői újból és újból záródnak mindaddig, míg a

gyűjtő zárvatartási időinek összege el nem éri  $t_4$  időt. Ennyi idő után ugyanis már a kisebb  $U_4$  kezdeti értékű feszültségimpulzus is képes begyűjtani a fénycsövet a 16-3. ábra szerint.



16-3. ábra. A vizsgált fénycsövek begyűjtéséhez szükséges feszültségimpulzus  $U$  átlagos kezdeti értékének függése a fénycsőkatódok  $t$  előfűtési idejétől

A feszültségimpulzus  $V = U \exp(-t/D)$  alakjánál  $D$  a vizsgálatához alkalmazott gyűjtők átlagos értékeiből adódik

Mi történik viszont akkor, ha pl. a 16-3. ábra szerinti  $U_1$  kezdeti értékű átlagos feszültségimpulzust adják a gyűjtők  $t_3$  előfűtési idővel egyenlő első zárvatartási idő mellett? Mivel  $U_1$  jóval nagyobb a  $t_3$  időhöz tartozó  $U_3$  értékénél, ekkor a fénycsövek begyűjtása bekövetkezik.

Felmerül a kérdés, hogyha a gyűjtők első, megszakítás nélküli zárvatartási ideje  $t_3$ , de a gyűjtők egyik csoportja  $U_1$ , másik csoportja  $U_3$  kezdeti feszültségű impulzust ad a fénycsőre, milyen különbség fog előállni a kétféle gyűjtővel működtetett fénycsövek átlagos élettartamában? E kérdésre választ lehet kapni, ha figyelembe veszünk egy korábban publikált következtetést. Az irodalom szerint fénycsövek oxidkatódjainak minden előfűtés nélkül történő gyűjtése esetén a párolgási sebesség viszonylag magas kezdeti értéke független akár a gyűjtési feszültségimpulzus kezdeti értékétől, akár a hálózati feszültségtől, akár a beállított iváram nagyságától. Ezekből kiindulva arra a következtetésre jut a hivatkozott irodalmi forrás, hogy a gyűjtéskor a katódosásban felgyorsuló pozitív ionok energiája a katódra való beeséskor független a kisülés külső paramétereitől, és csak a belső paraméterektől függ. Ezt a következtetést általánosítva, a szerző feltételezte, hogy ugyanez a megállapítás érvényes akkor is, ha előfűtést kap az oxidkatód, mielőtt a gyűjtési feszültségimpulzus éri. Ez a feltételezés a következő megfontoláson alapszik: ha a feszültségimpulzus megjelenésének pillanatában az oxidkatód még nem érte el az ívtalppont végleges hőmérsékletét, akkor a katódosásban felgyorsult pozitív ionok energiája fedezi elsősorban azt a hőmennyiséget, amely a katód megfelelő részének a kívánt megfelelő hőmérsékletre való felmelegítéséhez szükséges. A katódosás körülményei viszont nyilvánvalóan szintén a fénycsőben levő kisülés belső paramétereitől függenek, nem pedig a külső paraméterektől. Ha pl. a 16-3. ábra szerint szükséges  $U_3$  helyett a nagyobb  $U_1$  kezdeti értékű feszültségimpulzust kapja  $t_3$  idő után a fénycső katódja, akkor ez legfel-

jebb a kisülési köz átütésének millisecundumnál kisebb statisztikus felépülési idejét [9], [10] rövidíti le, de az átütés után fellépő parázsfénykisülésnek ív kisülésbe való átmenetében már nem lehet szerepe. Ebben az átmenetben elsősorban a katódosés fontos, amit *Litvinov*, *Resenov* és társaik [11] tárgyalnak részben elméleti alapon, részben kísérletek alapján. Cikkük 2. ábráján például jól követhető, hogy hogyan alakul ki az ívtalppont hőmérséklete hiányos előfűtésnél. Ezek után már feltehető volt, hogy a 16-3. ábra szerinti  $t_3$  idő után az oxidkatódon az adott  $U_1$  kezdeti értékű feszültségimpulzus csak ugyanakkora rongálódást okoz, mint az  $U_3$  kezdeti értékű. Az  $U_3$ -at ugyanis a kisülés belső paraméterei szabták meg, köztük a  $t_3$  idő alatti katód fűtés révén előállott katódhőmérséklet.

A felmerült kérdés most már arra vezethető vissza, hogy milyen átlagos fénycső-élettartamok adódnak különböző  $t$  előfűtési idők után, ha mindig változatlanul  $U_1$  kezdeti értékű feszültséglökést adó gyújtókat használunk a fénycsővekhez. Erre kísérletileg lehet választ kapni, mint ahogyan azt a fentebb említett *Thayer* és *Brownell* korábban tette [1].

E célból a szóban forgó  $D$  időállandójú feszültségimpulzust adó gyújtókból olyan csoportokat kell képezni, amelyek feszültségimpulzusának kezdeti értéke  $U_1$ , és amely csoportok mindegyikében más és más a gyújtók első, megszakítás nélküli zárvatartási ideje. Ilyen csoportokat kell párosítani megfelelő számú fénycsővel és ezekkel kell szakaszos üzemű élettartam-vizsgálatot végezni. Arra az esetre, amelyben a szakaszos üzem működési ideje három óra, a 16-4. ábrán  $E_1$  folytonos vonalnak megfelelő jellegű görbét kaphatunk.

A 16-3. ábrán szereplő összefüggés segítségével most már meg lehet határozni a fénycsővek várható átlagos élettartamát bármilyen kezdeti értékű feszültségimpulzust és bármilyen első, megszakítás nélküli zárvatartási időt szolgáltató gyújtók esetére. A meghatározás a következőképpen történik:

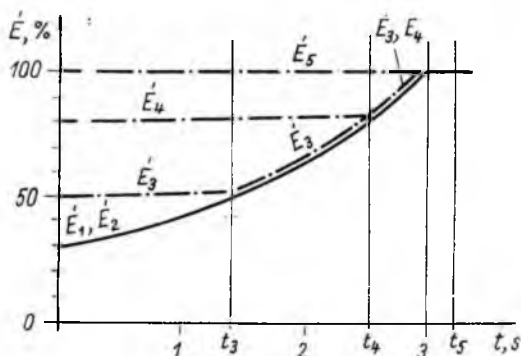
a) Ha a feszültségimpulzus kezdeti értéke,  $U$  kisebb a 16-3. ábra szerinti  $U_5$ -nél, akkor a fénycsővek egyáltalán be sem gyújtanak, élettartamról tehát nem is lehet beszélni.

b) Ha a feszültségimpulzus  $U$  kezdeti értéke nagyobb, vagy egyenlő a 16-3. ábra  $U_2$  értékénél, akkor a 16-4. ábra szerinti  $\bar{E}_2$  élettartam-görbe egybeesik az  $\bar{E}_1$  folytonos vonalú görbével.

c) Ha  $U$  kisebb a 16-3. ábra szerinti  $U_2$ -nél, de nagyobb  $U_5$ -nél (például  $U = U_3$ ), akkor az élettartam-görbe alakulása attól függ, hogy a gyújtók első, megszakítás nélküli zárvatartási ideje kisebb-e az  $U_3$ -hoz tartozó  $t_3$ -nál, vagy nem. Ha kisebb, akkor a fénycsővek begyújtásához  $U_3$ -nál nagyobb kezdeti értékű feszültségimpulzus kellene, de nincsen. A fénycsővek tehát nem tudnak begyújtani, a gyújtók ismételik a gyújtási kísérleteket, de ezek a gyújtási kísérletek nem okoznak katódporlódást sem, mivel a katódporlódás csak gázkisüléssel járhat együtt, márpedig ebben az esetben az még nem indult meg. A katódok rongálódása nélkül eljutunk tehát addig, míg a gyújtó első és további zárvatartási időinek összege eléri a  $t_3$  időt. Ekkor már begyújt a fénycső, és a gyújtással együttjáró rongálódás mértéke a fentebb említett megmondolás szerint ugyanannyi, mintha a feszültségimpulzus kezdeti értéke  $U_1$  lett volna. Ekkor viszont az  $\bar{E}$  élettartam éppen az  $\bar{E}_1$  görbének a  $t_3$ -hoz tartozó értéke.  $U_3$  kezdeti feszültséghez  $t=0$  és  $t=t_3$  közti minden zárvatartási időhöz ugyanakkora élettartam tartozik. Ezt ábrázolja a 16-4. ábrán az eredményvonallal rajzolt  $\bar{E}_3$  görbének a  $t$  tengellyel párhuzamos szakasza. Ha pedig  $U = U_3$  és a  $t$  értéke a 16-3. ábra szerinti  $t_3$  és  $t_5$  közé esik, akkor adott  $t$  mellett ugyanakkora élettartam adódik  $U_3$  értékénél, mint  $U_1$  értékénél. Ennek felel meg a 16-4. ábrán az  $\bar{E}_3$  görbének az  $\bar{E}_1$  görbével egybeeső szakasza.

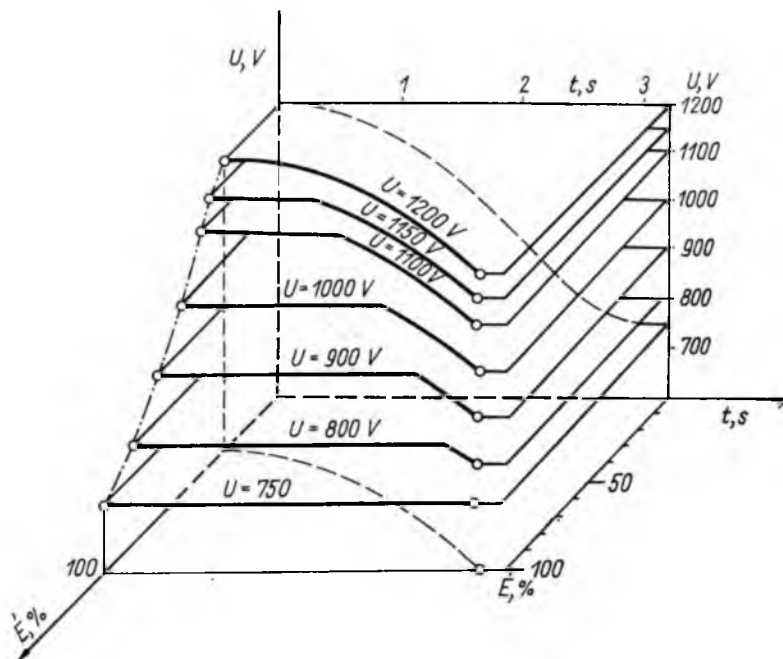
Az itt elmondottakból következik, hogy a 16-3. ábra szerinti  $U_4$ , ill.  $U_5$  értékéhez a 16-4. ábra szerinti  $\bar{E}_4$ , ill.  $\bar{E}_5$  fénycső-élettartamgörbe tartozik.

A 16-3. és 16-4. ábra görbéiből látható, hogy a fénycsövekhez használt gyűjtők által adott feszültségimpulzus alakjának változatlanul tartása mellett e feszültségimpulzus kezdeti  $U$  értékének csökkentése révén közelíteni lehet ahhoz a fénycsőélettartamhoz, amely szakaszos üzemben optimális esetben elérhető. A 16-4. ábra  $\bar{E}_1$  görbéje szerint ez az optimális élettartam akkor adódik, ha a gyűjtők első megszakítás nélküli zárvatartási ideje kb.  $t_5$ . A fénycsövek élettartamának meghosszabbítására tehát túl rövid zárva-



16-4. ábra. A fénycsövek  $\bar{E}$  átlagos élettartamának függése a gyűjtők első megszakítás nélküli zárvatartási idejétől

$\bar{E}_1$  az élettartam (folytonos vonal) abban az esetben, amelyben a gyűjtők által adott feszültségimpulzus  $U_1$  kezdeti értéke nagyobb, mint a teljesen hideg katódú fénycsövek begyűjtéséhez szükséges feszültségimpulzus  $U_2$  kezdeti értéke (lásd a 16-3. ábrát).  $\bar{E}_3$  az élettartam (eredményvonal) abban az esetben, amelyben a gyűjtők feszültségimpulzusának kezdeti értéke  $U_3$ , a 16-3. ábra szerint



16-5. ábra. Elméleti összefüggés a fénycsövek átlagos  $\bar{E}$  élettartama, a gyűjtő által adott feszültségimpulzus  $U$  kezdeti értéke és a gyűjtő első megszakítás nélküli  $t$  zárvatartási ideje között

A  $t-U$  síkba a 16-3. ábra szerinti, a  $t-\bar{E}$  síkba a 16-4. ábra szerinti görbe van berajzolva. Az ábrán a  $t-\bar{E}$  síkkal párhuzamos síkokon különböző állandó  $U$  értékekhez tartozó  $\bar{E}=f(t)$  függvények vannak feltüntetve. A függvény érvényes szakaszainak határait kis körök jelzik

tartási idő esetén is van mód akkor, ha  $U$  értékét elég kicsire vesszük. Figyelembe kell azonban venni azt is, hogyha  $U$ -t túlságosan közel állítjuk be  $U_5$ -höz, akkor kedvezőtlen viszonyok között a fénycső esetleg nem gyújt be. Ilyen kedvezőtlen helyzet állhat elő pl. akkor, ha a névleges hálózati feszültségnél a  $B$  előtét túl kicsi előfűtési áramot szolgáltat. Ugyancsak kedvezőtlen pl. ha a  $B$  előtét ugyan névleges hálózati feszültségnél elegendő előfűtő áramot szolgáltat, de a valóságos hálózati feszültség pl. 15%-kal leesik a névleges érték alá. Mindezeket figyelembe véve úgy látszik, hogy a fénycsövek élettartamának meghosszabbítására az a legjárhatóbb út, ha a 16-3. ábra és a 16-4. ábra szerinti  $t_5$  idővel kb. egyenlővé választjuk a gyújtók első, megszakítás nélküli zárvarartási idejét.

A 16-3. és 16-4. ábrát egyesítve, háromdimenziós térben a 16-5. ábra szerinti élettartam-függvényeket kapjuk.

A fenti megfontolások és elméleti következtetések még kísérleti megerősítésre szorulnak.

#### 4. Gazdaságossági szempontok

A fénycsövek átlagos élettartamának meghosszabbítása és ennek a fentiekben tárgyalt lehetősége jelentősen befolyásolhatja a fénycsöves világítóberendezések üzemeltetési gazdaságosságát, mivel a fénycsövek utánpótlási költségeinek csökkenését eredményezheti. Elsősorban a fénycsöves világítóberendezéseket felhasználó fogyasztók érdeke, hogy a rendelkezésükre álló fénycsövekhez olyan tulajdonságú gyújtókat használjanak fel, amelyek meghosszabbítják a fénycsövek várható átlagos élettartamát. Ehhez nyújthat segítséget az itt ismertetett elméleti módszer és annak gyakorlati alkalmazása.

#### Irodalom

- [1] Thayer, R. N.—Brownell, A.: Performance of fluorescent lamps on leading powerfactor circuits. *Illuminating Engineering*, Vol. 44, 9 p. 567.
- [2] Dziargwa, H.: Über den Spannungsstoss von Glimmzündern. *Technisch-wissenschaftliche Abhandlungen der Osram-Gesellschaft*, Bd. 6., S. 6.
- [3] Afanaszjeva, A. V.—Kapcov, N. A.: *ZsTF* 3. 1004 (1933).
- [4] Lemmers, A. E.—Brooks, W. W.: New fluorescent lamp and ballast design for rapid starting. *Illuminating Engineering*, Vol. 47. 11 p. 589.
- [5] Lakatos Gy.—Szemző I.: A fénycsövek gyújtási feszültségét befolyásoló tényezők. *Villamosság*, 10. évf. 12 p. 358.
- [6] Kühn, B.: Über das Verhalten von Oxydkathoden in der Niederdruckentladung. *Technisch-wissenschaftliche Abhandlungen der Osram-Gesellschaft*, Bd. 7., S. 84.
- [7] Lakatos G.—Szemző E.: Über die Kathoden-Zerstäubung bei Zündung von Niederdruckentladungen. *Proc. 5th Int. Conf. on Ionization Phenomena in Gases*. Munich 1961. North-Holland Publishing Co., Amsterdam. Vol. 2. p. 1157.
- [8] Lakatos G.: Cathode Sputtering accompanying electron emission during breakdown. *Proceedings of the symposium on electron and vacuum physics*. Hungary. Akadémiai Kiadó, Bp. 1962. p. 497.
- [9] von Engel, A.: *Ionized gases*. Second edition Oxford at the Clarendon Press. 1965.
- [10] Evans, G. S.: Low temperature performance of krypton-filled fluorescent lamps. *Illuminating Engineering*, Vol. 45. 3 p. 157.
- [11] Litvinov, V. Sz.—Resenov, Sz. P.—Lebegyeva, V. J.—Roscsin, E. V.: Fénycsőelektródok üzembehelyezési folyamatának mechanizmusa (oroszul). *Szvetotechnika*, 6 (1968).



# 17.

## Aszinkron törpemotorok számítógépes tervezésének algoritmusai

PÁL LÁSZLÓ

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az aszinkron törpemotorokat ismert, a gyakorlat által alátámasztott algoritmusok alapján tervezik. Ezek a számítási módszerek igen sok számítói munkát igényelnek, míg az optimális paraméterekkel rendelkező motorok tervezése kézi számítás útján csak igen nagy nehézségek árán oldható meg.

A kialakult algoritmusok lehetővé, az optimális motorok gyártására vonatkozó igények pedig szükségessé tették a tervezési folyamatok automatizálását, elsősorban az igen nagy sorozatban és típuszámban gyártott aszinkron-motorok esetében.

A cikk ismerteti az egy-, kettő- és háromfázisú rövidrezárt forgórésű aszinkron motorok ellenőrző és tervező számításának algoritmusát és a programok folyamat-ábráját. A villamos paraméterek számításának módszere a hagyományos számítási elveken alapszik, az üzemi jellemzők meghatározásának módszere pedig a villamos gépek általános elméletén.

### АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АСИНХРОННЫХ МИКРОДВИГАТЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

*Л. Пал*

#### Резюме

Проектирование асинхронных микродвигателей производится на основе известных, подтвержденных практикой алгоритмов. Эти методы требуют большого количества вычислений, а проектирование двигателей с оптимальными параметрами путем различных расчетов является трудновыполнимой задачей.

Разработанные алгоритмы сделали возможным, а требования производства оптимальных двигателей — необходимым автоматизацию процесса проектирования, прежде всего, для асинхронных двигателей, выпускаемых крупными сериями и в различных исполнениях.

Статья дает описание алгоритма и блок-схемы проверочных и проектировочных программ для одно-, двух- и трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Метод расчета электрических параметров основан на классических принципах, а метод определения рабочих характеристик — на общей теории электрических машин.

### ALGORITHMUS DER PROJEKTIERUNG VON ASYNCHRON-ZWERGMOTOREN DURCH ELEKTRONENRECHNER

*L. Pál*

#### Zusammenfassung

Die Projektierung der Asynchronzwergmotoren erfolgt aufgrund von durch die Praxis bestätigten Algorithmen. Diese Berechnungsmethoden erfordern eine umfangreiche Berechnungsarbeit und die Projektierung der die optimalen Parameter aufweisenden Motoren durch die herkömmliche Art der Berechnung kann nur mit ziemlich grossen Schwierigkeiten gelöst werden.

Die entwickelten Algorithmen ermöglichen und die hinsichtlich des Baues optimaler Motoren gestellten Ansprüche fordern bereits die Automatisierung der Projektierungsvorgänge in erster Linie im Falle von in grossen Serien und in vielen Typen gebauten Asynchronmotoren.

Die Abhandlung beschreibt den Algorithmus der Projektierungs- und Kontrollberechnungen der Ein-, Zwei- und Dreiphasen-Kurzschlussläufer-Asynchronmotoren sowie das Flusschaubild der Programme. Die Berechnungsmethode der elektrischen Parameter beruht auf den herkömmlichen Berechnungsgrundsätzen; die Methode der Bestimmung (Ermittlung) der Betriebskennwerte hingegen auf der allgemeinen Theorie der Elektromaschinen.

## ALGORITHM OF THE COMPUTER DESIGN OF ASYNCHRONOUS FRACTIONAL ELECTRIC MOTOR

*L. Pál*

### Summary

Asynchronous fractional electric motors are designed by known algorithms confirmed by practical experience. These methods of calculation call for a very considerable amount of calculation work and the design of motors of optimum parameters could be solved by manual calculation methods but this is very difficult.

The developed algorithms enabled and the requirements for the manufacture of optimum motors called for the automatization of the design processes, particularly in the case of asynchronous motors manufactured in very large series and large number of types.

The paper describes the algorithm of the check and design calculations of single-phase, two-phase and three-phase squirrel-cage motors and the block diagram of the programmes. The calculation method of the electrical parameters is based on the traditional principles of calculation whereas the method of determining the operating characteristics on the general theory of electrical machines.

### 1. Bevezetés

Az optimális paraméterekkel rendelkező aszinkron motorok tervezésének digitális számítógéppel való megoldása a legfejlettebb országokban is előtérben álló probléma. Egyrészt az aszinkron motorok igen nagy gyártási volumene következtében az egy motoron nyerhető megtakarítás a teljes sorozatokon komoly gazdasági eredményként jelentkezik, másrészt a tervezői gárda részlegesen felszabadul a rutin-feladatok alól, míg a számítandó típusfélések száma minden további nehézség nélkül növelhető.

A vezető villamosgép-gyártó cégek már hosszabb ideje foglalkoznak digitális tervezőprogramok kidolgozásával és elsősorban az Egyesült Államokban egyes tervező irodák teljesen átálltak a számítógépes tervezésre. Hazánkban jelenleg négy villamosgép-tervező program van kidolgozás alatt, ezek közül kettő középteljesítményű, egy nagy teljesítményű aszinkron motorok tervezését tűzte ki célul. Aszinkron törpemotorok tervezésével a VKI számítógépes csoportja foglalkozik. A törpemotorok speciális, sokrétű tervezési problémáinak megoldására a közép- és nagy teljesítményű motorok tervezési algoritmusai nem adnak lehetőséget, ezért az algoritmizálás és a programszervezés elveit 10...1000 W teljesítménytartományra is ki kellett dolgozni.

Az aszinkron törpemotorok tervezése több lényeges pontban eltér a közép- és nagy teljesítményű motorok tervezésétől. Ezeket a számítógépes eljárás kidolgozásakor feltétlenül figyelembe kell venni. Az eltéréseket egyes szerzők a következőkben foglalják össze [1]; [2]:

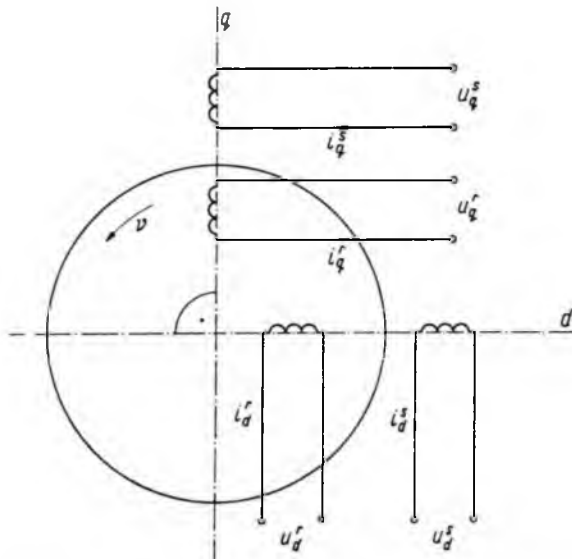
- a) Törpemotorok energetikai mutatóinak szerepe kisebb, mint a nagy- és közép-teljesítményű motorokéi.
- b) A törpemotorok típusainak száma nagyobb.
- c) Új motorsorozatok tervezésekor lényeges a már meglévő sajtolószerszámok alkalmazási lehetősége.
- d) A törpemotorokban lejátszódó mikroprocesszusokat lényegesen nehezebb figyelembe venni és ez kevésbé alapvető, mint nagyobb teljesítményű motorok esetén.
- e) Az optimális paraméterű motorok gyártását a technológiai adottságok korlátozzák.
- f) A törpemotorok gyártásában igen nagy a technológiai szórás.

A tervezési követelmények és a motorok sajátosságainak figyelembevételével olyan tervezőszámítási programot kell összeállítani, amely alkalmas háromfázisú, üzemi kondenzátoros, indító kondenzátoros és indítóellenállásos, egyenlő lépésű és szinuszos-koncentrikus tekercselésű motorok diszkrét optimumainak meghatározására. A diszkrét optimum követelményeit a lemeztest hosszára, a fázisonkénti menetszámra, a kondenzátor kapacitására és teljesítményére vonatkozóan a technológiai adottságokat figyelembe véve kell megadni. Optimumkritériumként részben gazdaságossági, részben pedig energetikai mutatók (hatásfok, teljesítménytényező) választhatók.

## 2. Ellenőrző számítás algoritmus

A feladat és a kitűzött cél sokrétűsége következtében olyan algoritmust kellett kidolgozni, amely minimális mennyiségű kiinduló adat mellett valamennyi paraméter és üzemi jellemző meghatározására alkalmas.

A Moszkvai Energetikai Intézet Villamos Gépek tanszékén voltak kezdeményezések ilyen módszer kialakítására [3], [4] a Kron-féle „általánosított” villamosgép-elmélet számítógépes adaptációja útján [5]. Az itt végzett számítások eredményei



17-1. ábra. Idealizált kétfázisú aszinkron motor elvi vázlata

bizonyították a módszer helyességét háromfázisú szimmetrikus tekercselésű motorok esetére, azonban a matematikai megfogalmazás nehézkessége további módosításokat tett szükségessé, elsősorban tervezési alkalmazhatóság céljából.

Az alábbiakban egyszerűsített formában közöljük azokat az átalakításokat, amelyek a módszert optimumszámításra alkalmassá tették.

Az idealizált kétfázisú aszinkron gép elvi vázlatát a 17-1. ábra mutatja. Az egymással  $90^\circ$ -os szöget bezáró  $d$  és  $q$  irányokban mind a forgórészen, mind az állórészen egy-egy tekercs van elhelyezve. A forgórész szögsebessége  $\omega$ . Az elektromos és mechanikai egyensúly egyenleteit a következő feltételezések mellett vezetjük le:

- a villamos és mechanikai fázisszögek viszonya az idealizált gépben:  $\varphi_{el} = k\varphi_{mech} = \varphi$ , ahol  $k$  a póluspárok száma;
- az egyenletek első közelítésben nem veszik figyelembe a légrés fogazott voltát;
- a vastest mágnesezési görbéjét a fázisok kölcsönhatása szempontjából egyenessel helyettesítjük;
- a mágneses tér eloszlását a légrésben szinuszosnak tételezzük fel.

A 17-1. ábrán bemutatott séma alapján az egyes tekercsek feszültségét a következőképpen határozhatjuk meg:

$$\begin{aligned} U_a^s &= i_a^s R_a^s + p\Psi_a^s; \\ U_b^s &= i_b^s R_b^s + p\Psi_b^s; \\ U_a^r &= i_a^r R_a^r + p\Psi_a^r; \\ U_b^r &= i_b^r R_b^r + p\Psi_b^r, \end{aligned} \quad (1)$$

ahol

$$p = \frac{d}{dt}; \quad \Psi = W\Phi;$$

$W$  a megfelelő tekercs menetszáma;

$\Phi$  a megfelelő tekercs által létrehozott fluxus;

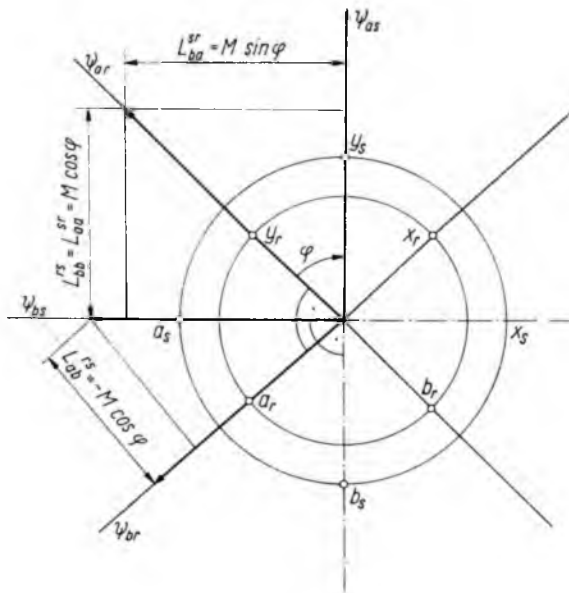
$\Psi$  a tekercshez tartozó teljes zárófluxus.

A zárófluxus az induktivitások és az áramok függvényében:

$$\begin{aligned} \Psi_a^s &= L_{aa}^{ss} i_a^s + L_{ab}^{ss} i_b^s + L_{aa}^{sr} i_a^r + L_{ab}^{sr} i_b^r; \\ \Psi_b^s &= L_{ba}^{ss} i_a^s + L_{bb}^{ss} i_b^s + L_{ba}^{sr} i_a^r + L_{bb}^{sr} i_b^r; \\ \Psi_a^r &= L_{aa}^{rs} i_a^s + L_{ab}^{rs} i_b^s + L_{aa}^{rr} i_a^r + L_{ab}^{rr} i_b^r; \\ \Psi_b^r &= L_{ba}^{rs} i_a^s + L_{bb}^{rs} i_b^s + L_{ba}^{rr} i_a^r + L_{bb}^{rr} i_b^r. \end{aligned} \quad (2)$$

Szimmetrikus légrésű kétfázisú aszinkron motorok esetén az induktivitások:

$$\begin{aligned} L_{aa}^{ss} &= L_{bb}^{ss} = L^s; \\ L_{aa}^{rr} &= L_{bb}^{rr} = L^r; \\ L_{ab}^{ss} &= L_{ba}^{ss} = 0; \\ L_{ab}^{rr} &= L_{ba}^{rr} = 0; \\ L_{ab}^{sr} &= L_{ba}^{rs} = -M \sin k\varphi; \\ L_{ba}^{sr} &= L_{ab}^{rs} = M \sin k\varphi; \\ L_{aa}^{sr} &= L_{aa}^{rs} = L_{bb}^{sr} = L_{bb}^{rs} = M \cos k\varphi. \end{aligned} \quad (3)$$



17-2. ábra. Induktivitások meghatározásának geometriája  $k=1$  esetén

Az induktivitások meghatározásának geometriai interpretációját a 17-2. ábra tartalmazza. A (3) egyenletrendszerben meghatározott induktivitás értékeket az (1) és (2) egyenletrendszerekbe helyettesítve:

$$\begin{aligned}
 U_a^s &= R_a^s i_a^s + pL^s i_a^s + pM \cos \varphi i_a^r - pM \sin \varphi i_b^r; \\
 U_b^s &= R_b^s i_b^s + pL^s i_b^s + pM \sin \varphi i_a^r + pM \cos \varphi i_b^r; \\
 U_a^r &= R_a^r i_a^r + pL^r i_a^r + pM \cos \varphi i_a^s + pM \sin \varphi i_b^s; \\
 U_b^r &= R_b^r i_b^r + pL^r i_b^r - pM \sin \varphi i_a^s + pM \cos \varphi i_b^s.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Alkalmazva a valós koordináta-rendszer bevezetésének módszerét ( $d; q$  átalakítás), egyszerűbb egyenletekhez jutunk. Ez az átalakítási módszer nem vezet az állórész áram- és feszültségfüggvényeinek változásához, a forgórész-áramokat viszont hossz- és keresztirányú összetevőkre bontja fel ( $d$  és  $q$  = összetevők). Az átalakítások geometriai meghatározása a 17-3. ábra alapján az átalakítási mátrixnak megfelelően történik:

$$|A| = \begin{vmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{vmatrix}, \quad |A^{-1}| = \begin{vmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{vmatrix}. \tag{5}$$

Az átalakítás egyenlete:

$$|U_{a,b}^{s,r;d,q}| = [|A^{-1}| (|R_{a,b}^{s,r;d,q}| + p|L_{a,b}^{s,r;d,q}|) |A|] \times |i_{a,b}^{s,r;d,q}|. \tag{6}$$



A (9) egyenletrendszerben szereplő ellenállásmátrix invertálása, majd a feszültségvektorral való szorzása útján meghatározhatjuk az álló és forgórész fázisáramainak értékét. Vezessük le a továbbiakban a mechanikai egyensúlyi állapot egyenletét. Az energiamegmaradás elve alapján felírhatjuk:

bevezetett mechanikai energia + bevezetett elektromos energia = felgyülemlett mechanikai energia változása + felgyülemlett mágneses energia változása + veszteségek. Vagyis

$$M_t d\gamma + \sum_{j=1}^4 i_j d\psi_j = dW_{\text{mech}} + dW_{\text{mágn}} + \alpha(\dot{\gamma})^2 dt \quad (10)$$

ahol

- $M_t$  a tengelynyomaték;
- $\gamma$  a forgórész szögelfordulása;
- $\alpha$  súrlódási állandó;
- $j$  a tekercsek sorszáma.

Miután a felgyülemlett mechanikai energia változását a kinetikai és potenciális energiaváltozás összegeként írhatjuk fel, így:

$$dW_{\text{mech}} = J\ddot{\gamma}d\gamma + K\gamma d\gamma, \quad (11)$$

ahol

- $J$  az inercianyomaték;
- $K$  a rugalmassági tényező.

Mivel tiszta — nem gördülő jellegű — forgást végző villamos gépekben a rendszer potenciális energiája nem függ a forgórész helyzetétől, ezért  $K=0$ .

Stacioner üzemi állapot esetében (11) figyelembevételével, valamint a  $\ddot{\gamma}=0$  érték behelyettesítésével a (10) egyenlet a következőképpen írható fel:

$$M_t = \alpha\dot{\gamma} + \frac{1}{d\gamma} \left( dW_{\text{mágn}} - \sum_{j=1}^4 i_j d\psi_j \right) = \alpha\dot{\gamma} - \frac{1}{d\gamma} dW_m = \alpha\dot{\gamma} - M_{em}; \quad (12)$$

ahol

$$dW_m = - \left( dW_{\text{mágn}} - \sum_{j=1}^4 i_j d\psi_j \right).$$

Sima légrésű gép esetében:

$$W_m = \frac{1}{2} (L_{aa}^{ss} i_a^s + L_{bb}^{ss} i_b^s + L_{ab}^{ss} i_a^s i_b^s + L_{ba}^{ss} i_b^s i_a^s + L_{aa}^{rr} i_a^r + L_{bb}^{rr} i_b^r + L_{ab}^{rr} i_a^r i_b^r + L_{ba}^{rr} i_b^r i_a^r + L_{aa}^{sr} i_a^s i_a^r + L_{aa}^{rs} i_a^r i_a^s + L_{bb}^{sr} i_b^s i_b^r + L_{bb}^{rs} i_b^r i_b^s + L_{ab}^{sr} i_a^s i_b^r + L_{ba}^{sr} i_b^s i_a^r + L_{ab}^{rs} i_a^r i_b^s + L_{ba}^{rs} i_b^r i_a^s). \quad (13)$$

Behelyettesítve a (3) alatti induktivitás-értékeket:

$$W_m = \frac{1}{2} (L^s i_a^s + L^s i_b^s + L^r i_a^r + L^r i_b^r + M \cos \varphi i_a^s i_a^r + M \cos \varphi i_a^r i_a^s + M \cos \varphi i_b^s i_b^r + M \cos \varphi i_b^r i_b^s - M \sin \varphi i_a^s i_b^r + M \sin \varphi i_a^r i_b^s - M \sin \varphi i_b^s i_a^r + M \sin \varphi i_b^r i_a^s). \quad (14)$$

A (14) egyenlet deriválása után az elektromágneses nyomatéket kapjuk ( $\gamma = \varphi$  esetén):

$$\frac{dW}{d\varphi} = M_{em} = M[-\sin \varphi (i_a^r i_a^s + i_b^r i_b^s) + \cos \varphi (i_a^r i_b^s - i_a^s i_b^r)]. \quad (15)$$

Alkalmazva a (15) egyenletre az  $a, b \rightarrow d, q$  átalakítást:

$$M_{em} = M(i_d^s i_q^r - i_q^s i_d^r). \quad (16)$$

Amint az a (9) és (16) egyenletrendszer levezetéséből következik, a kapott eredmények *kétfázisú* motorok esetében érvényesek.

A továbbiakban bizonyítjuk, hogy kétfázisú aszinkron motorok üzemi állapotát leíró (9) és (16) egyenletek érvényesek szimmetrikus háromfázisú motorok esetén is. A háromfázisú szimmetrikus aszinkron motorok villamos egyensúlyi állapotát vizsgáló egyenleteket a háromfázisú szimmetrikus összetevők módszerének alkalmazásával vezetjük le.

Az álló- és forgórész villamos jelenségeinek mátrixegyenlete:

$$\begin{vmatrix} U_s(t) \\ U_r(t) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} |Z_{ss}| & \frac{d}{dt} |L_{sr}(\varphi)| \\ \frac{d}{dt} |L_{rs}(\varphi)| & |Z_{rr}| \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} I_s(t) \\ I_r(t) \end{vmatrix}, \quad (17)$$

ahol

$$|U_s(t)| = \begin{vmatrix} U_A \\ U_B \\ U_C \end{vmatrix}; \quad (18)$$

$$|I_s(t)| = \begin{vmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{vmatrix}; \quad (19)$$

$$|Z_{ss}| = |R_{ss}| + \frac{d}{dt} |L_{ss}| = \begin{vmatrix} R_A & 0 & 0 \\ 0 & R_A & 0 \\ 0 & 0 & R_A \end{vmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{vmatrix} L_{AA} & L_{AB} & L_{AB} \\ L_{AB} & L_{AA} & L_{AB} \\ L_{AB} & L_{AB} & L_{AA} \end{vmatrix}; \quad (20)$$

$$|L_{sr}(\varphi)| = M \begin{vmatrix} \cos \varphi' & \cos(\varphi' - 2\alpha) & \cos(\varphi' - \alpha) \\ \cos(\varphi' - \alpha) & \cos \varphi' & \cos(\varphi' - 2\alpha) \\ \cos(\varphi' - 2\alpha) & \cos(\varphi' - \alpha) & \cos \varphi' \end{vmatrix}. \quad (21)$$

$U_r(t)$ ;  $I_r(t)$ ;  $|Z_{rr}|$ ;  $|L_{rs}(\varphi)|$  a (18)–(21) egyenleteknek megfelelően, analóg módon, ahol

$$(\varphi' = k\varphi = \theta; \quad \alpha = 120^\circ).$$

A szimmetrikus összetevők módszerét alkalmazva a (17) egyenletre:

$$\begin{vmatrix} |U_s^3| \\ |U_r^3| \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} S_3 |Z_{ss}| S_3^{-1} & S_3 \frac{d}{dt} |L_{sr}(\varphi) S_3^{-1}| \\ S_3 \frac{d}{dt} |L_{rs}(\varphi) S_3^{-1}| & S_3 |Z_{rr}| S_3^{-1} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} I_s^3 \\ I_r^3 \end{vmatrix}, \quad (22)$$

ahol

$$|U_{s,r}^3|; |I_{s,r}^3| = \begin{vmatrix} U_{s,r}^0; & I_{s,r}^0 \\ U_{s,r}^+; & I_{s,r}^+ \\ U_{s,r}^-; & I_{s,r}^- \end{vmatrix}, \quad (23)$$



valamint

$$S_3 = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \mathbf{a} & \mathbf{a}^2 \\ 1 & \mathbf{a}^2 & \mathbf{a} \end{vmatrix}, \quad (24)$$

$$S_3^{-1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \mathbf{a}^2 & \mathbf{a} \\ 1 & \mathbf{a} & \mathbf{a}^2 \end{vmatrix} \quad (25)$$

ahol

$$\mathbf{a} = e^{j\frac{2}{3}\pi}; \quad \mathbf{a}^2 = e^{-j\frac{2}{3}\pi}.$$

Az átalakítások után:

$$\begin{vmatrix} U_s^0 \\ U_s^+ \\ U_s^- \\ U_r^0 \\ U_r^+ \\ U_r^- \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_s + pL_s^0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_s + pL_s^+ & 0 & 0 & \frac{3}{2}Mpe^{j\theta} & 0 \\ 0 & 0 & R_s + pL_s^- & 0 & 0 & \frac{3}{2}Mpe^{-j\theta} \\ 0 & 0 & 0 & R_r + pL_r^0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{3}{2}Mpe^{-j\theta} & 0 & 0 & R_r + pL_r^+ & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3}{2}Mpe^{j\theta} & 0 & 0 & R_r + pL_r^- \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} I_s^0 \\ I_s^+ \\ I_s^- \\ I_r^0 \\ I_r^+ \\ I_r^- \end{vmatrix}. \quad (26)$$

A (26) egyenletrendszer alapján látjuk, hogy a mátrix első és negyedik sorában szereplő zérussorrendű áramok függetlenek valamennyi további áramtól, ezért energetikai szempontból a pozitív és negatív sorrendű áramokat tartalmazó négy-szer-négyes mátrixot függetlenül vizsgálhatjuk (szimmetrikus háromfázisú aszinkron motorok esetében egyébként is a zérussorrendű áramok értéke: 0).

Az  $\alpha$ ,  $\beta$  összetevők bevezetése után:

$$\begin{vmatrix} U_\alpha^s \\ U_\beta^s \\ U_\alpha^r \\ U_\beta^r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} R_s + pL_s & 0 & \frac{3}{2}pM \cos \theta & \frac{3}{2}pM \sin \theta \\ 0 & R_s + pL_s & -\frac{3}{2}pM \sin \theta & \frac{3}{2}pM \cos \theta \\ \frac{3}{2}pM \cos \theta & -\frac{3}{2}pM \sin \theta & R_r + pL_r & 0 \\ \frac{3}{2}pM \sin \theta & \frac{3}{2}pM \cos \theta & 0 & R_r + pL_r \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} I_\alpha^s \\ I_\beta^s \\ I_\alpha^r \\ I_\beta^r \end{vmatrix}. \quad (27)$$

Végezzük el az  $\alpha, \beta \rightarrow d, q$  átalakítást:

$$\begin{pmatrix} U_d^s \\ U_d^r \\ U_q^r \\ U_q^s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_s + jX_s & \frac{3}{2} X_m & 0 & 0 \\ \frac{3}{2} X_m & R_r + jX_r & X_r v' & \frac{3}{2} X_m v' \\ -\frac{3}{2} X_m v' & -X_r v' & R_r + jX_r & \frac{3}{2} X_m \\ 0 & 0 & \frac{3}{2} X_m & R_s + jX_s \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} I_d^s \\ I_d^r \\ I_q^r \\ I_q^s \end{pmatrix} \quad (28)$$

A kapott mátrixegyenletből látjuk, hogy a háromfázisú szimmetrikus motorok tervezésénél a kétfázisú aszimmetrikus motorokra alkalmazott módszert használhatjuk. Ebben az esetben azonban a kölcsönös induktivitás  $X_m$  értékének az 1,5-szerejét kell helyettesíteni az egyenletrendszerbe.

### 3. Villamos paraméterek számítása

Amint az a (9), [ill. (28)], valamint (16) egyenletekből kitűnik, a fázisonkénti áramok meghatározásához az alábbi villamos paraméterekre van szükség:

- 3.1. Állórész fázisonkénti aktív ellenállása:  $R_s^{d,q}$ ;
- 3.2. Forgórész fázisonkénti aktív ellenállása:  $R_r^{d,q}$ ;
- 3.3. Állórész szórási reaktanciája:  $X_s^{d,q}$ ;
- 3.4. Forgórész szórási reaktanciája:  $X_r^{d,q}$ ;
- 3.5. Kölcsönös induktivitás reaktanciája:  $X_m$ .

Ezeket a hagyományos módszerekkel számíthatjuk, elsősorban (6), (7) és (8) bázisán. A kölcsönös induktivitás reaktanciáját a mágneskör-számítás alapján határozzuk meg, az alábbi folyamatnak megfelelően:

- 3.5.1. Felvesszük  $\alpha_\delta$  kiinduló értékét ( $\alpha_{\delta 0} = 0,58$ );
- 3.5.2. Felvesszük  $k_e$  kiinduló értékét ( $k_{e 0} = 0,65$ );
- 3.5.3. Meghatározzuk a fluxus és a légrésindukció értékét:

$$\Phi = \frac{U_n k_e \cdot 10^8}{4,44 W_{sa} f k_{ws}}, \quad (29)$$

$$B_\delta = \frac{\Phi}{\alpha_\delta \tau l}. \quad (30)$$

- 3.5.4. A  $B_\delta$  és  $\Phi$  ismeretében elvégezzük a mágneskör indukció, mágneses feszültség és mágnesezőáram értékeinek számítását [6];
- 3.5.5. Kiszámítjuk az üresjárási áram értékét:

$$I_\mu = \frac{\Sigma F p}{0,9 m W_{sa} k_{ws}}; \quad (31)$$

- 3.5.6. A kölcsönös induktivitás értéke:

$$X_m = \frac{k_e U_n}{I_\mu}; \quad (32)$$

- 3.5.7. Visszaellenőrizzük a felvett  $\alpha_3$  értéket (3.5.1.);  
 3.5.8. Megoldjuk az üzemi állapot (28)-mátrixegyenletét;  
 3.5.9. Visszaellenőrizzük a felvett  $k_e$  értéket:

$$k_e = \frac{\sqrt{(U_n - I_{dR}^s X_d^s - I_{dA}^s R_d^s)^2 + (I_{dR}^s R_d^s + I_{dA}^s X_d^s)^2}}{U_n} \quad (33)$$

Ha a 3.5.7. és 3.5.9. pontok alatti visszaellenőrzés 2%-nál nagyobb eltérést ad, akkor felvesszük az  $\alpha_3$ , ill.  $k_e$  következő értékét, ellenkező esetben a kapott  $X_m$  értéket a további számítások kiinduló adatának tekintjük.

#### 4. Fázisonkénti áramok számítása

Amint az a (9) és (28) egyenletekből kitűnik, a mátrixok komplex alakban tartalmazzák az áramokat és a feszültségeket. Miután a számológép felépítése és a programozási nyelv adottságai nem teszik lehetővé a komplex számok közvetlen használatát, ezért a mátrixegyenletet valós formára kell átalakítani. Az átalakítás eredményeként a (34) mátrixegyenlethez jutunk:

$$\begin{array}{c|cccccccc|c} U_{dA}^s & r_d^s & -x_d^s & 0 & -\frac{n}{2}x_{dm} & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{dA}^s \\ U_{dR}^s & x_d^s & r_d^s & \frac{n}{2}x_{dm} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_{dR}^s \\ 0 & 0 & -\frac{n}{2}x_{dm} & r_d^r & -x_d^r & x_q^r v' & 0 & \frac{n}{2}x_{qm} v' & 0 & I_{dA}^r \\ 0 & \frac{n}{2}x_{dm} & 0 & x_d^r & r_d^r & 0 & x_q^r v' & 0 & \frac{n}{2}x_{qm} v' & I_{dR}^r \\ 0 & -\frac{n}{2}x_{dm} v' & 0 & -x_d^r v' & 0 & r_q^r & -x_q^r & 0 & -\frac{n}{2}x_{qm} & I_{qA}^r \\ 0 & 0 & -\frac{n}{2}x_{dm} v' & 0 & -x_d^r v' & x_q^r & r_q^r & \frac{n}{2}x_{qm} & 0 & I_{qR}^r \\ U_{qA}^s & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{n}{2}x_{qm} & r_q^s & -x_q^s & I_{qA}^s \\ U_{qR}^s & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{n}{2}x_{qm} & 0 & x_q^s & r_q^s & I_{qR}^s \end{array} \times \quad (34)$$

Ez a mátrixegyenlet már közvetlenül leképezhető a számítógépen, miután csak valós együtthatókat és változókat tartalmaz. („A” index az aktív, „R” index a reaktív összetevőket jelöli.) A (34) egyenletrendszer szimmetrikus motorok esetén egyszerű módszerekkel kifejezhető és átalakítható explicit alakú kifejezésekké; ezt az átalakítást, az egyenletrendszer helyességének bizonyítása érdekében, háromfázisú, szimmetrikus motorokra elvégezzük.

Vezessük be a megfelelő áramokra a következő jelöléseket:

$$I_{dA}^s = A; \quad I_{dR}^s = B; \quad I_{dA}^r = C; \quad I_{dR}^r = D; \quad (35) \text{---} (42)$$

$$I_{qA}^r = D'; \quad I_{qR}^r = C'; \quad I_{qA}^s = B'; \quad I_{qR}^s = A'.$$

Fejtsük ki a (34) mátrix egyenleteit a (35)—(42) figyelembevételével, háromfázisú ekvivalens feszültségek behelyettesítésével:

$$U = r_d^s A - x_d^s B - x_m D, \quad (34.1)$$

$$0 = x_d^s A + r_d^s B + x_m C, \quad (34.2)$$

$$0 = -x_m B + r_d^r C - x_d^r D + x_q^r D' v' + x_m B' v', \quad (34.3)$$

$$0 = x_m A + x_d^r C + r_d^r D + x_q^r C' v' + x_m A' v', \quad (34.4)$$

$$0 = -x_m A v' - x_d^r C v' + r_q^r D' - x_q^r C' - x_m A', \quad (34.5)$$

$$0 = -x_m B v' - x_d^r D v' + x_q^r D' + r_q^r C' + x_m B', \quad (34.6)$$

$$0 = -x_m C' + r_q^s B' - x_q^s A', \quad (34.7)$$

$$-U = x_m D' + x_q^s B' + r_q^s A'. \quad (34.8)$$

Amint az a (34.1)—(34.4) és (34.5)—(34.8) egyenletek szimmetriájából kitűnik:

$$x_d^s = x_q^s; \quad x_d^r = x_q^r; \quad r_d^s = r_q^s \quad \text{és} \quad r_d^r = r_q^r$$

fennállása esetén

$$A = -A'; \quad B = B'; \quad C = -C' \quad \text{és} \quad D = D'.$$

Alakítsuk át a (34.1)—(34.4) egyenleteket:

$$U = r^s A - x^s B - x_m D, \quad (34.1')$$

$$0 = x^s A + r^s B + x_m C, \quad (34.2')$$

$$0 = -x_m B(1 - v') - x^r D(1 - v') + r^r C, \quad (34.3')$$

$$0 = x_m A(1 - v') + x^r C(1 - v') + r^r D. \quad (34.4')$$

A (34.4') és (34.3') alapján:

$$A = \frac{-x^r C(1 - v') - r^r D}{x_m(1 - v')}, \quad (34.4'')$$

$$B = \frac{-x^r D(1 - v') + r^r C}{x_m(1 - v')}. \quad (34.3'')$$

Behelyettesítve (34.4'') és (34.3'')-t a (34.2') és 34.1') egyenletekbe:

$$0 = \frac{-x^r x^s C(1-v') - r^r x^s D}{x_m(1-v')} + \frac{-x^r r^s D(1-v') + r^r r^s C}{x_m(1-v')} +$$

$$+ x_m C = C[x_m^2(1-v') - x^r x^s(1-v') + r^r r^s] + D[-r^r x^s - x^r r^s(1-v')] \quad (34.2'')$$

$$U = \frac{-x^r r^s C(1-v') - r^r r^s D}{x_m(1-v')} - \frac{-x^r x^s D(1-v') + r^r x^s C}{x_m(1-v')} - x_m D. \quad (34.1''')$$

Átalakítva a (34.1'') egyenletet:

$$x_m U(1-v') = C[-x^r r^s(1-v') - r^r x^s] + D[-x_m^2(1-v') - r^r r^s + x^r x^s(1-v')]. \quad (34.1''')$$

Vezessük be az

$$E = x^r r^s(1-v') - r^r x^s, \quad (43)$$

$$F = x_m^2(1-v') + r^r r^s - x^r x^s(1-v') \quad (44)$$

jelöléseket.

Ebben az esetben a (34.2'') és a (34.1''') egyenletek az

$$x_m U(1-v') = -CE - DF, \quad (34.1^*)$$

$$0 = CF - DE \quad (34.2^*)$$

alakot veszik fel. Innen:

$$D = \frac{-Fx_m U(1-v')}{E^2 + F^2}, \quad (45)$$

$$C = \frac{-Ex_m U(1-v')}{E^2 + F^2}. \quad (46)$$

Visszahelyettesítve (34.3'') és (34.4'') egyenletekbe:

$$B = \frac{x^r F(1-v') - r^r E}{E^2 + F^2} U, \quad (47)$$

$$A = \frac{x^r E(1-v') + r^r F}{E^2 + F^2} U. \quad (48)$$

Bevezetve az  $r^{r'} = \frac{r^r}{(1-v')}$  jelölést, a (45)–(48) egyenletek a következőképpen alakíthatók át:

$$A = U \frac{Ex^r - Fr^{r'}}{E^2 + F^2}. \quad (48')$$

$$B = U \frac{Fx^r - Er^{r'}}{E^2 + F^2}, \quad (47')$$

$$C = -\frac{Ux_mE}{E^2 + F^2}, \quad (46')$$

$$D = -\frac{Ux_m F}{E^2 + F^2}. \quad (45')$$

A (35)—(42) és a (43)—(44) egyenletek alapján a (48')—(45') egyenletek a fázisonkénti áramok aktív és reaktív összetevőit tartalmazzák. Az ekvivalens kétfázisú áramok az alábbi képletek alapján számolhatók vissza három szimmetrikus fázisra:

$$\begin{aligned}
 I_{aA} &= \frac{2}{\sqrt{6}} I_{dA}; & I_{aR} &= \frac{2}{\sqrt{6}} I_{dR}; \\
 I_{bA} &= \frac{1}{\sqrt{6}} (-I_{dA} + \sqrt{3} I_{qA}); & I_{bR} &= \frac{1}{\sqrt{6}} (-I_{dR} + \sqrt{3} I_{qR}); \\
 I_{cA} &= \frac{1}{\sqrt{6}} (-I_{dA} - \sqrt{3} I_{qA}); & I_{cR} &= \frac{1}{\sqrt{6}} (-I_{dR} - \sqrt{3} I_{qR});
 \end{aligned} \quad (49) \text{—} (54)$$

## 5. Üzemi jellemzők számítása

### 5.1 Nyomatékok

Helyettesítsük be a (16) egyenletbe a (45')—(48') egyenletek eredményeit:

$$\begin{aligned}
 M_{em} &= M(i_d^s i_q^r - i_q^s i_d^r) = 2M(CB - AD) = \\
 &= 2M \left( \frac{-U^2 x_m E (-Er^{r'} + Fx^r)}{(E^2 + F^2)^2} + \frac{U^2 x_m F (Ex^r + Fr^{r'})}{(E^2 + F^2)^2} \right) = \\
 &= \frac{U^2 x_m r^{r'}}{E^2 + F^2} 2M = \frac{2U^2 x_m^2 r^{r'}}{\omega(E^2 + F^2)} = \frac{2I^2 r^r}{(1 - v') \omega_{sz}}.
 \end{aligned} \quad (55)$$

### 5.2 Elektromágneses teljesítmény

$$P_{em} = n_{sz} 0,1018 M_{em} \frac{100}{97,4}. \quad (56)$$

### 5.3 Teljes mechanikai teljesítmény

$$P_r' = P_{em}(1 - s). \quad (57)$$

*Hasznos mechanikai teljesítmény.*

$$P_r = P_r' - P_{mech} - P_{jár}. \quad (58)$$

### 5.4 Tengelynyomaték

$$M = \frac{97400 P_r}{n_{sz}(1 - s)}, \quad (59)$$

### 5.5 Rézveszteségek

$$P_{Cu} = P_{Cu s} + P_{Cu r} = (I_{dA}^{s2} + I_{dR}^{s2}) R_d^s + (I_{qA}^{s2} + I_{qR}^{s2}) R_q^s + (I_{dA}^{r2} + I_{dR}^{r2}) R_d^r + (I_{qA}^{r2} + I_{qR}^{r2}) R_r^r. \quad (60)$$

### 5.6 Vasveszteségek

$$P_{Fe} = 2V_{10} [B_{ks}^2 G_{ksFe} + B_{fs}^2 G_{fsFe} + (B_{kr}^2 G_{krFe} + B_{fr}^2 G_{frFe}) (1 - \nu')^{1,3}] \cdot 10^{-8}. \quad (61)$$

### 5.7 Járulékos veszteségek

$$P_{jár} = 0,01 P_r \quad (62)$$

### 5.8 Mechanikai veszteségek

$$P_{mech} = \frac{n^2}{10^6} \frac{D_k^4}{10^{12}}. \quad (63)$$

### 5.9 Veszteségek összege

$$\Sigma P = P_{Cu} + P_{Fe} + P_{jár} + P_{mech}. \quad (64)$$

### 5.10 Bevezetett teljesítmény

$$P_1 = P_r + \Sigma P \quad (65)$$

### 5.11 Hatásfok

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + \Sigma P}. \quad (66)$$

### 5.12 Teljesítménytényezők

$$\cos \varphi_d = \frac{U_{dA} I_{dA} + U_{dR} I_{dR}}{\sqrt{U_{dA}^2 I_{dA}^2 + U_{dR}^2 I_{dR}^2 + U_{dA}^2 I_{dR}^2 + U_{dR}^2 I_{dA}^2}}, \quad (67)$$

$$\cos \varphi_q = \frac{U_{dA} I_{dA} + U_{dR} I_{dR}}{\sqrt{U_{qA}^2 I_{qA}^2 + U_{qR}^2 I_{qR}^2 + U_{qA}^2 I_{qR}^2 + U_{qR}^2 I_{qA}^2}}. \quad (68)$$

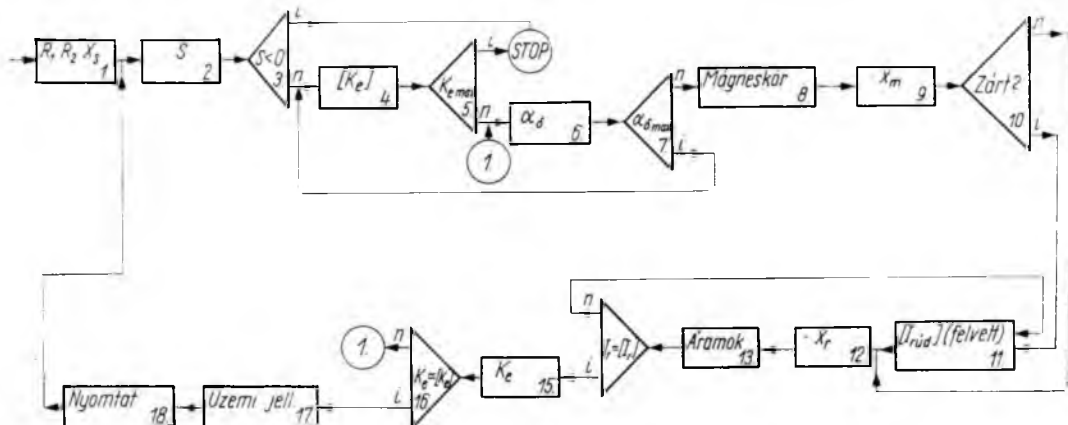
Háromfázisú motorok esetén:

$$\cos \varphi_3 = \cos \varphi_d = \cos \varphi_q. \quad (69)$$

## 6. Ellenőrző számítás programja

A program célja, hogy megadott geometriai, tekerceslési és a beépített anyagok paramétereire jellemző adatok alapján meghatározza a legyártandó motorok üzemi jellemzőit. Kiinduló adatként szerepelnek a lemez kivágási méretek, a huzalozási és tekerceslési adatok, a vastest anyagának mágnesezési görbéje, a forgórész kiöntőanyagának vezetőképessége, valamint a névleges adatok. A számítások eredményeként nyomtatásra kerülnek az üzemi jellemzők a szlip függvényében, vagy kívánság szerint a névleges, billenő-, indító- és üresjárású pontok adatai, valamint a villamos paraméterek és a mágneskör jellemzői.

A program működését a 17-4. ábrán bemutatott folyamatábra szemlélteti.



17-4. ábra. Az ellenőrző számítás folyamatábrája

Az egyes blokkok az alábbi műveletek elvégzését szimbolizálják:

1. Állórész-ellenállás és -szórás, forgórész-ellenállás számítása;
2. A szlip soron következő értékének kiválasztása;
3. A szlip utolsó értékének összehasonlítása;
4.  $k_e$  következő értékének kiválasztása;
5.  $k_e$  határértékének összehasonlítása;
6. A pólusfedési tényező következő értékének kiválasztása;
7. A pólusfedési tényező határértékének kiválasztása;
8. A mágneseskör számítása;
9. A kölcsönös indukció értékének meghatározása;
10. Ugrás zárt vagy nyitott forgórészhorony szerint;
11. A rúdáram felvett értékének meghatározása;
12. A forgórész szórási reaktanciájának meghatározása;
13. Az áramok számítása;
14. A rúdáram felvett értékének visszaellenőrzése;
15.  $k_e$  számítása;
16.  $k_e$  felvett értékének visszaellenőrzése;
17. Az üzemi jellemzők számítása;
18. Az eredmények nyomtatása.

Az ellenőrző számítási program futási ideje pesszimális esetben 4'20" — ami kb. 120 Ft-nak felel meg MINSZK-2 típusú számítógép esetében.

## 7. A tervező-(optimum)számítás elvei

A tervezőszámítás célja, hogy adott lemezkivágó szerszám, tekercselési rendszer és névleges adatok mellett számítógépes számítás útján kiválasszjuk a határfeltételeknek és valamely optimumkritériumnak megfelelő motor lemeztetének hosszát, fázisonkénti menetszámát, valamint kétfázisú gép esetén az üzemi kondenzátort és indító-kondenzátoros motornál az indítókondenzátor kapacitását.



## 7.1 A határfeltételek

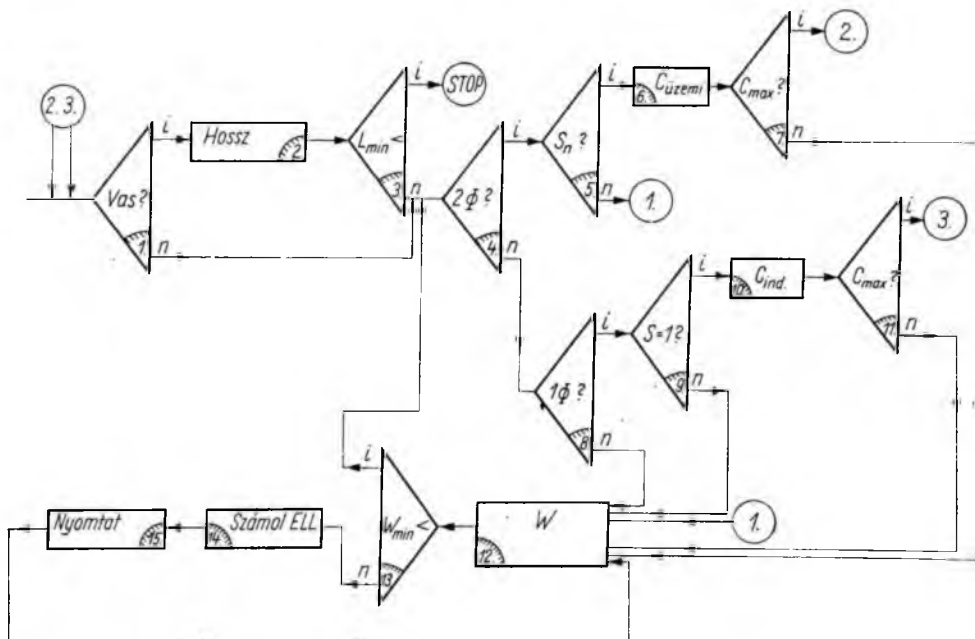
- 7.1.1 Az indító- és a névleges nyomatékok aránya nem kisebb valamely megadottnál;
- 7.1.2 A billenő- és a névleges nyomatékok aránya nem kisebb valamely megadottnál;
- 7.1.3 A horonykitöltési tényező nem nagyobb valamely, a technológiai adottságok függvényében megadott értéknél.
- 7.1.4 A névleges fordulatszám értéke nem kisebb, mint a szabványban megengedett.

## 7.2 Az optimumkritériumok

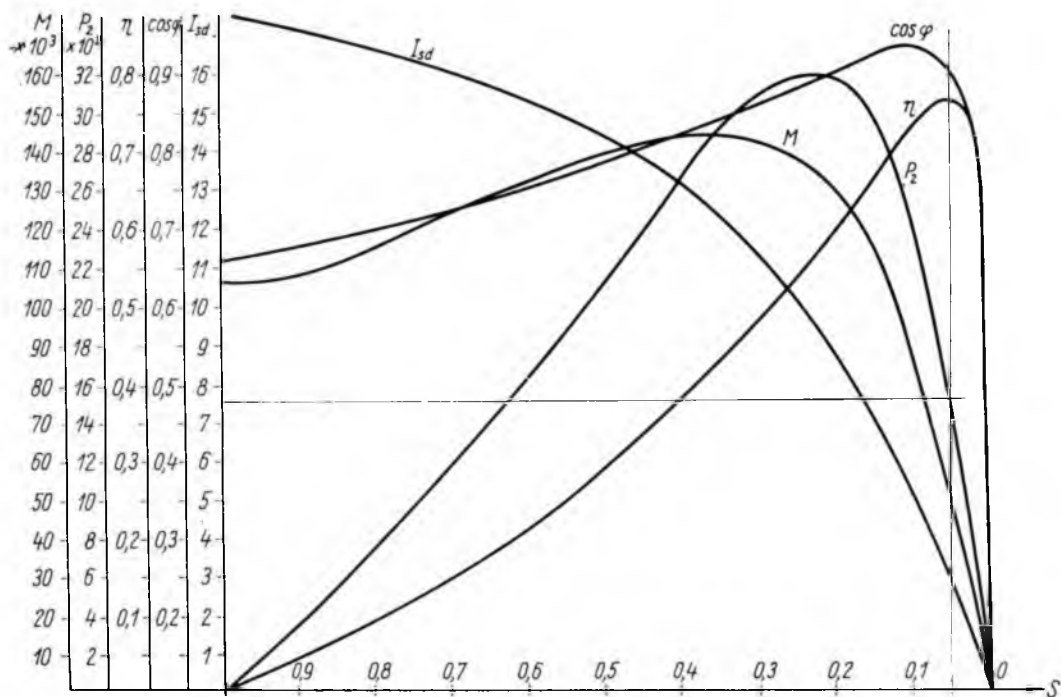
Ezek kívánság szerint az alábbiak lehetnek:

- 7.2.1 Minimális anyagköltségek;
- 7.2.2 Minimális rézfelhasználás;
- 7.2.3 Minimális rézfelhasználás és kondenzátor;
- 7.2.4 Minimális üzemeltetési költségek.

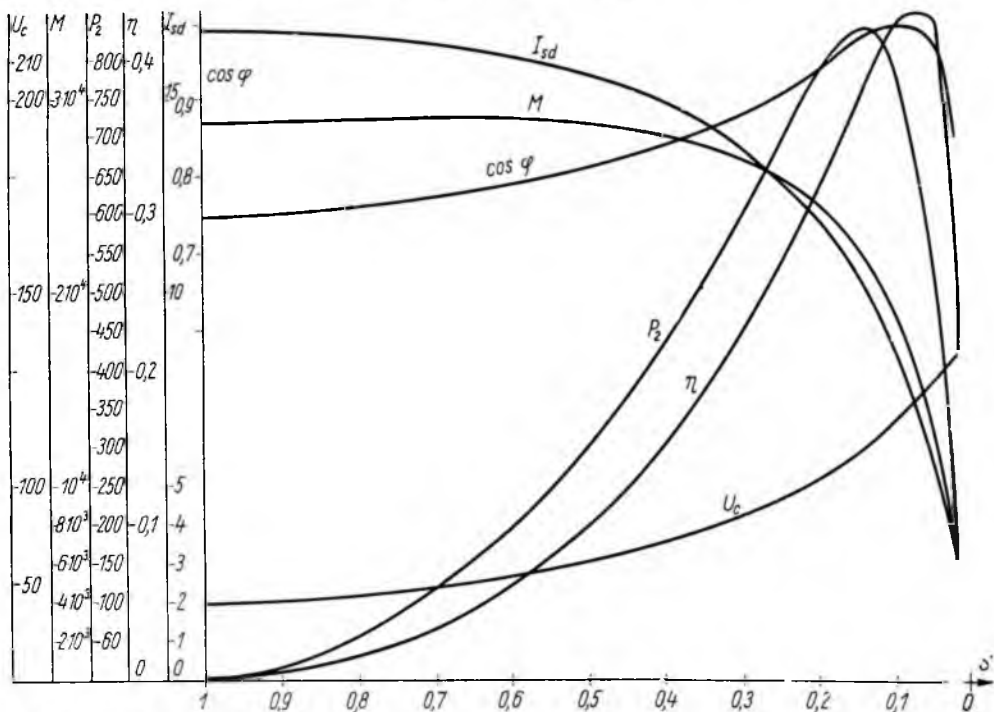
A tervezőszámítás kiinduló adatai az ellenőrző számításban felhasznált kiinduló adatok, kivéve a lemeztest hosszára, a menetszámokra és a kondenzátor kapacitására vonatkozó adatokat. Ezekhez jön még a variációs értékek megadása, amelyek az egyes variatív adatok alsó és felső értékének, valamint lépésüknek az értékét képezik. A módszer lehetőséget biztosít a diszkrét optimum fokozatos megközelítésére, elméletileg korlátlan pontossági határig, gyakorlatilag a felhasznált képletek pontossági határain belül. Ez, az ellenőrző számításban elért eredmények analízise alapján, háromfázisú motorok esetén, mintegy  $\pm 2\%$  pontosságú megközelítést jelent, ami a



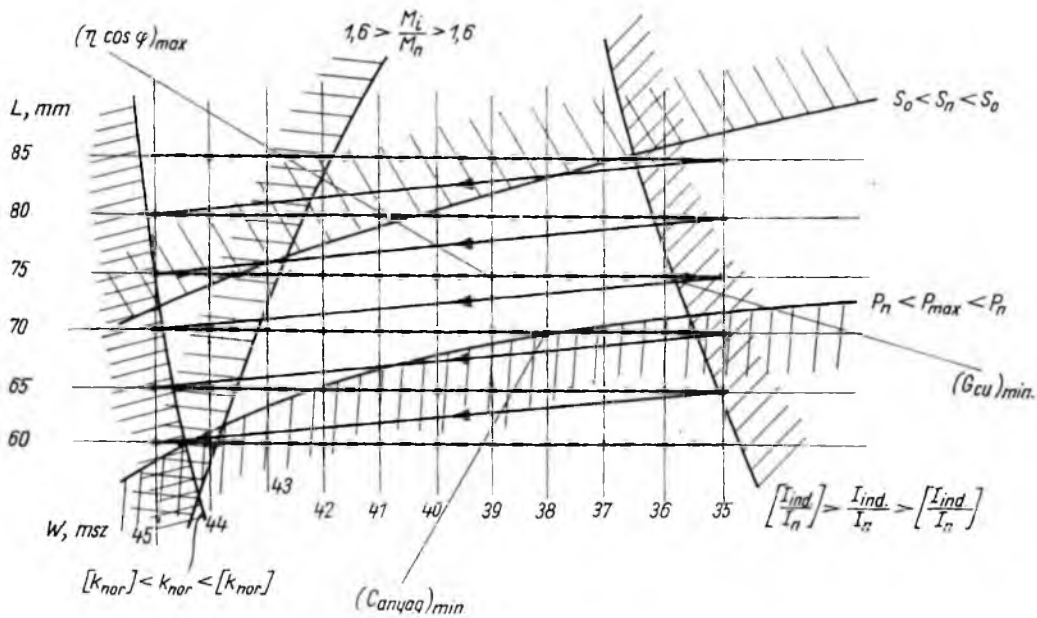
17-5. ábra. Az optimumszámítás folyamatábrája



17-6. ábra. Háromfázisú szimmetrikus motor üzemi jelleggörbéi



17-7. ábra. Kétfázisú kondenzátoros motor üzemi jelleggörbéi



17-8. ábra. Optimumszámítás  $L$ — $W$  koordinátásikja

gyártás jelenlegi követelményeit nagymértékben kielégíti. Az optimumszámítási program variációs elv alapján a 17-5. ábrán szereplő blokk-diagramnak megfelelően működik. Az egyes blokkok a következő műveleteket jelölik:

1. Az optimumszámítás jellegének megválasztása;
2. A vastest hosszának variálása;
3. A lemezcsoomag-hossz variációs számának ellenőrzése;
4. Kétfázisú gépek számításának leválasztása;
5. A névleges szlip kiválasztása;
6. Az üzemi kondenzátor kapacitásának kiválasztása;
7. A kondenzátorok variációs számának ellenőrzése;
8. Egyfázisú gépek számítási folyamatának leválasztása;
9. A rövidzárási állapot jellemzőinek kiválasztása;
10. Az indító kondenzátor kapacitásának meghatározása;
11. Az indító kondenzátorok variációs számának ellenőrzése;
12. A menetszám következő variációs értékének kiszámítása;
13. A menetszámok variációs számának ellenőrzése;
14. Teljes ellenőrző számítás a 17-4. ábra szerint;
  - A határfeltételek ellenőrzése;
15. A határfeltételeket kielégítő eredmények nyomtatása;
  - Az optimumkritériumnak megfelelő variáció koordinátáinak megjegyzése, majd a számítások elvégzése után a nyomtatása.

## 8. Eredmények

Az ismertetett számítógépes aszinkronmotor-modellezési módszer segítségével végezhető számítások illusztrálása céljából az alábbiakban bemutatjuk egy két- és egy háromfázisú motor ellenőrző számítása során kapott eredmények üzemi jelleggörbéit. A háromfázisú motor üzemi jelleggörbéi (17-6. ábra) valamennyi mérési pontban igen jó egyezést mutatnak a legyártott motor üzemi adataival, míg a kétfázisú motorok esetében (17-7. ábra) mintegy 8%-os eltérés mutatkozik a billenőnyomatékban és a teljesítménytényezőben.

Az optimumszámítási program eredményeként bemutatjuk egy háromfázisú motor variációs számítás útján nyert eredményhalmazának egy koordinátasíkját, amely a lemezcsoomag-hossz és a fázisonkénti menetszám variációs adatainak függvényében mutatja a számítás menetét, valamint a határfeltételek teljesülését és a diszkrét optimumok koordinátáit különböző optimumkritériumok mellett (17-8. ábra).

### Irodalom

- [1] *Petrov, G. N.*: Élektricseszkie masinü. Goszenergoizdat, Moszkva, 1963.
- [2] *Lopuhina, E. M.*: Parametriceszkoje proektirovanie iszpolnitel'nuh dvigatelej. Trudü MÉI, tom LIX., Moszkva, 1966.
- [3] *Kopülov, I. P.—Beszpalov, V. V. stb.*: Matematiceszkoje modelirovanie élektricseszkih masin. Trudü MÉI, tom LVIII., Moszkva, 1966.
- [4] *Kopülov, I. P.—Pál L.*: stb.: Raszcsset na ÉCVM sztaticeszkih karakterisztik neszimmetrics-nüh aszinhronnüh masin pri neszinusoidal'nom naprjzsenii pitanija. Elektrotehnika, 4 (1968).
- [5] *Kron, G.*: The general Theory of Electrical Machinery. McGraw-Hill, New York, 1934.
- [6] *Lopuhina, E. M.—Szomihina, G. Sz.*: Raszcsset aszinhronnüh mikrodvigatelej odnofaznogo i trefaznogo toka. Goszenergoizdat, Moszkva, 1961.
- [7] *Liska J.*: Villamos gépek IV. Tankönyvkiadó, Budapest, 1964.
- [8] *Veinott, C. G.*: Kis aszinkron motorok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- [9] *Karlheinz Lutz*: Arten und Gestaltung der digitalen Berechnungsprogramme elektrischer Maschinen. ETZ-A, 14 (1966).
- [10] *Pál L.*: Aszinkron törpemotorok ellenőrző számítása digitális számítógép segítségével (Szakdolgozat) SZOT—KISZ KB országos pályázata, 1968.
- [11] *Pál L.*: Raszcsset sztaticeszkih karakterisztik aszinhronnüh dvigatelej pri pomoscsi ÉCVM. (Diplomamunka) Moszkovszkij Énergeticszkij Insztitut, 1966.

# 18.

## Tirisztoros kapcsolások rendszerezése

*DR. KÖVESSI FERENC*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkíró javaslatot tesz az áramirányítás-technika majd egész területét átfogó tirisztoros kapcsolások rendszerezésére; a rendszer az áramirányító fajták számmal való megjelölésére is kiterjed. A rendszerezés elvének tárgyalása után kísérletet tesz az ismert áramirányító kivitelek osztályozására és azoknak kapcsolásait — a rendszernek megfelelő összeállításban — tartalmazó táblázatokat közöl.

### СИСТЕМАТИЗИРОВАНИЕ ТИРИСТОРНЫХ СХЕМ

*Др. Ф. Кёвэши*

#### Резюме

Автор статьи предлагает систему тиристорных схем в области, почти полностью охватывающей технику преобразования тока. Система распространяется и на цифровое обозначение различных схем преобразования тока. После обсуждения принципа систематизации автор делает попытку классификации известных видов преобразования тока и приводит таблицу указанных схем, составленную на основе разработанной системы.

### SYSTEMATISIERUNG VON THYRISTORSCHALTUNGEN

*Dr. F. Kövessi*

#### Zusammenfassung

Der Verfasser bringt einen Entwurf zur Systematisierung der fast das gesamte Gebiet der Stromrichtertechnik umfassenden Thyristorschaltungen. Das System erstreckt sich auch auf die Numerierung der verschiedenen Stromrichterarten. Nach Erörterung des Prinzips der Systematisierung wird ein Versuch zur Klassifizierung der bekannten Stromrichterausführungen unternommen. Abschliessend werden die die Schaltungen der bekannten Stromrichterausführungen enthaltenden Tabellen in einer dem System entsprechenden Zusammenstellung mitgeteilt.

### SYSTEMATIZATION OF THYRISTOR CIRCUITS

*Dr. F. Kövessi*

#### Summary

The author suggests the systematization of the thyristor circuits covering almost the entire range of current conversion; the system would also cover the denoting of the different kinds of converters by numerals. After discussing the principle of the systematization, the author attempts to classify the known kinds of converters and publishes tables containing the respective circuits, in a compilation which corresponds to the system.

## 1. Bevezetés

Egy korábbi tanulmányomban [1] kísérletet tettem arra, hogy felvázoljam az áramirányítás-technika rendszerezésére vonatkozó elgondolásomat. Hogy ennek ideje elérkezett volna, arról akkor még nem voltam meggyőződve. Azóta azonban egyre-másra jelennek meg az irodalomban munkák, amelyekben a rendszerezésre vonatkozó általános vagy részletelegondolások ismertetését találjuk [2, 3, 4, 5]. Ez bizonyítja, hogy az óhajom nem volt elszigetelt, hanem a világ ellenkező pólusain is csaknem egyidőben jelentkezett. Ha tehát az általános rendszerezés kívánsága tényleg fennáll, következő lépésként az *egységesítést* kell feladatul kitűzni; a felmerült lehetőségek közül ki kell választani a legtermészetesebbet, ki kell egészíteni a még hiányzó részekkel és elő kell készíteni valamely nemzetközi szabványosítási fórum elé való terjesztésre. Ez a munka természetesen nem lehet egyénhez kötött. Írásomnak nem is az a célja, hogy e tekintetben lezárt egészet alkosson, inkább csak tárgyalási alapként kívánom a fent vázolt folyamat megindítását szolgálni és erre ezúton javaslatot tenni.

## 2. A rendszerezés alapelve

Elvi szempontból kell kiindulnunk. A rendszerezésnek a tudomány mai állása mellett nem szabad abba a hibába esnie, hogy valamilyen „Linné-rendszer”-rel megelégedjék. *Természetes rendszert* kell alkotni, amelyben „fajok” szerepelnek. Amellett a rendszerbe sorolt egyedeknek, ill. csoportoknak — műszaki fajokról lévén szó — *számokkal*, valamely tizedes osztályozással *meghatározhatónak* kell lenniük.

Hozzá kell még ehhez fűzni, hogy a rendszernek *dinamikusnak* is kell lennie, hiszen egyrészt nem lezárt területre vonatkozik, másrészt az egyes „fajok” kombinációjaként alakult megoldások besorolására is módot kell adni, akkor is, ha azok ma még nem ismerhetők fel és utólag kériek majd felvételüket a „családba”.

Arra kell gondolnunk, hogy a tirisztortechnika rohamos fejlődése egy időszakban eljut oda, hogy majd az egész energetikai irányítástechnika területét lefedheti. Már csak azért sem lehet ez a rendszerezés egyéni feladat, mert azt sokoldalú megvitatás kristályosíthatja csak kerek egészé.

Tisztázandó még az a kérdés, hogy míg ennek az írásnak a címe tirisztoros (kapuszelepes) kapcsolások rendszerezését ígéri, addig a szövegben ugyanez már mint az áramirányítás-technika osztályozása kerül tárgyalásra. Az előző bekezdés adja meg erre a magyarázatot. A tirisztoros kapcsolások szűkebb területe, a vezérelhető dióda oly rendkívül széles körű alkalmazhatósága következtében tulajdonképpen majdnem teljesen azonosítható az áramirányítás-technikával, sőt — mint fentebb kifejtettük — az irányítás-technika ipari alkalmazásával is. De fordítva is tekinthetjük a kérdést. Joggal mondható az is, hogy pl. a be-kikapcsolás, vagy a fokozatkapcsolónak érintkező nélküli megoldása még korántsem áramirányítás, viszont a „tirisztoros kapcsolat” fogalmába már — annak elemi változataként — ezek is bevonhatók. Megkísérletem, hogy e látszólagos ellentét áthidalására „aranyhidat” építsek.

### 3. Az irodalomban ismertté vált javaslatok

Vizsgáljuk meg, hogy Mapham elgondolása [2], amely az eddig ismertté vált külföldi osztályozások közül a legszélesebb körű, mennyiben teljesíti az előzőekben rögzített alapelveket.

A javasolt rendszerezés váltóirányítókra vonatkozik, tehát korántsem fogja át az áramirányítás-technika egész területét. Rendszerezésének elve, hogy:

a) a kommutáció módszere szerint osztja csoportokba a váltóirányítókat ( $A - F$ ),

b) azután ezeket sorolja tovább áramkörü alakzatok tekintetében alcsoportokba.

Hasonlatként az egyenirányítók egyoldalas, kétoldalas, egyfázisú híd-, háromfázisú egyutas stb. kapcsolások rendszerét veszi alapul, és eszerint 6 alcsoportot különböztet meg (amelyek ugyan nem fedik az előbbieket, pl. a szaggató rendszerű átalakítókat is kénytelen közéjük keverni).

Meg kell azonban gondolni, hogy maga a kommutáció mint osztályozási alap eleve nem tekinthető általános érvényű jellemzőnek, ezért nem is javasolható ennek az osztályozási elvnek a szélesebb körre való kiterjesztése. Kétségtelen — amit Mapham megjegyez —, hogy e módszerrel az ismert váltóirányítók (inverterek) besorolhatók, ez azonban egymagában nem elég arra, hogy átfogó használatra való alkalmazásra szóba jöhessen; felépítésében ui. inkább Linné-rendszer jellegű.

*Abraham, Heumann, Koppelman* és *Patzschke* [3] osztályozása is szűkebb területre vonatkozik; a szaggatással működő motorhajtásokat sorolja be. Nem oldja meg azonban azt a nehéz kérdést, hogy milyen módon kapcsolja be szervesen magát a szaggató üzemet az áramirányító rendszerébe.

A további két osztályozás, *Schnörr* családfája [4] az áramirányító motorokra, *Schofield, Smith* és *Whitmore* táblázatai [5] az irányváltó hajtásokra vonatkoznak és kisebb területet fognak át.

A felsorolt munkák mindenesetre hasznos szolgálatot tehetnek a részletek aprólékos kidolgozásánál, azonban az átfogó kép kialakításához nem kísérlük meg a hozzájárulást.

### 4. A szerző által javasolt rendszer alapjai

A fenti rövid áttekintés is mutatja, hogy a tirisztoros áramirányítás-technika egész területének szerves besorolása nem egyszerű feladat. Leghelyesebb ennél a műveletnél az alapvető célkitűzést szem előtt tartani. Eszerint az áramirányítás-technika feladata *egyik áramnemnek másik áramnemmé* — nyugvó berendezések útján — *való átalakítása*. Osztályozási rendszerünk alappilléreiként tehát az áramnemek kombinációit kell tekintenünk. Ezt azonban csak akkor lehet teljessé tenni, ha — mint korábban láttuk — egy minduntalan gondot okozó, majdnem mindenütt előforduló, de mindenünnen „kilógó” módszernek, a szaggatásnak a besorolását megvalósítjuk. A szerző előző munkájában [1] javaslatot tett, hogy tekintsük a váltogatva fellépő *árammentes állapotot is egy áramnemnek*. Így a be-kikapcsolás: a bizonytalan időszakok szerinti, a szaggatás pedig: a meghatározott időközökben, ütemesen váltogatva bekövetkező árammentes állapot, mint egy külön áramnem két válfaja szerepelhet.

Eme alapelvekre egy számrendszert lehet felépíteni. A három alapáramnem: 0 egyenáram (ez a számjegy az egyenáramhoz a 0 Hz alapján rendelhető hozzá), 1 egyfázisú váltakozóáram, 3 háromfázisú váltakozóáram.

Előfordulhat esetleg az irányítástechnikában a kétfázisú áram is, arra 2 használandó; a ritka előfordulás miatt azonban a táblázatunkban nem vettük fel. Ilyen esetben a megfelelő helyen 3 helyébe a 2-t kell írni, és a kapcsolást értelemszerűen kétfázisúra átalakítani. Kivételesen hatfázisú áramnem is előfordulhat, annak alkalmazása hasonló, bár itt a további számcsoportokban más értelemben használt 6-tal való keveredés kiküszöbölését meg kell oldani.

A fentieket negyedikként kiegészíti a

9 váltogatva fellépő árammentes állapot. Azért választottuk a 9-es számjegyet, mert — ha azt az elsőnek feltüntetett kiinduló áramnemmel együttesen használjuk, pl. a 0.9 kulcsszámban — érdekesen szimbolizálja az alsó, előlről hátravezető és végeredményben egy 0-ba (a 9-es felső részébe) átmenő karjával azt, hogy az elől megadott áramnem és árammentes állapot közti viszonyra kíván utalni. Fűzzük még hozzá, hogy a 9-es megelőzi a 0-t, továbbá, hogy a 9-es kulcsszámjainkban első helyen nem állhat, ami a továbbiak megismerése után természetes lesz.

E főcsoportokon kívül az energia átalakulása, ill. irányítotttsága figyelembevételével alkothatunk alcsoportokat. Ezeket a számokat tehát a fenti első helyen alkalmazott számok után következő további helyeken fogjuk találni.

5 közvetlen motorhajtás (villamos energiának mechanikai energiává való átalakítása)

6 energia-visszatáplálás a hálózatba,

7 meddőenergia-táplálás a hálózatba,

8 szabad ütemű\* váltóirányítás (inverterüzem).

A legutóbbi ugyan nem fedi teljes pontossággal az előző három szám jellegét, de ennek révén részben elhatárolhatjuk, részben pedig általa összefoghatjuk ezt a máskülönben elkerülhetetlenül szétszóródó különleges területet.

Mármost a fenti számokból alkotott csoportok segítségével lehet az áramirányítókat megjelölni; a számok decimálrendszer szerinti sorolása pedig a fajták rendszer-technikai helyét jelöli ki.

A felsorolt számokon túl természetesen további osztályozásra, finomításra van szükség. A javasolt számokat nem lehet mindig teljesen logikusan használni és talán éppen ebben a tekintetben lenne rendkívül hasznos e témáról vitát indítani, amely az egységes és a legjobbat leginkább megközelítő alkalmazás alapját meg tudná vetni.

## 5. A szerző által javasolt rendszer

Az előzőkben megadott számokból úgy építünk fel rendszert (l. a 18-1. táblázatot), hogy a besorolandó áramirányítók által megvalósított energiátranzformálást ezeknek a számoknak az alapulvételével fejezzük ki.

Legegyszerűbb példaként álljon itt a még csak nem is tirisztoros kapcsolásnak, az egyszerű háromfázisú egyenirányításnak a kulcsszáma: 3.0. A számcsoport tehát: a kiinduló áramnem és a jelzőszáma, utána pont, majd annak az áramnemnek a jelölése, amelyre az átalakítás történik. (E „primitív”, két számjegyből álló kulcsszámmal jelzett áramirányítófajtákat — bár nem tirisztoros kapcsolások — csupán rendszertechnikai kiegészítésként vettük fel a táblázatba, és ha már itt tartunk, meg-

\* Itt a „szabad ütem” a kimenő frekvenciának a hálózati frekvenciától való függetlenségére utal. A szabadon választhatók közt természetesen pl. az 50 Hz is szerepelhet, amely azonban ez esetben is független a hálózattól.



említjük az 1.1 és 3.3 egyszerű transzformátor-kulcsszámokat is, amely utóbbiak azonban a táblázatban sem szerepelnek.)

Fentieknek megfelelően az *első szám mindig egyedül áll*, utána pont következik. Az első pont után azonban már különböző számcsoportok állhatnak. Egyedül áll a második szám is, ha utána még további áramnem is következik. Pl.: 3.0.3 olyan áramirányítót jelent, amely két háromfázisú rendszert köt össze egyenáramú körön át.

Ha két áramnem fordul elő az áramirányítóban, akkor a második, ha három áramnemet találunk, akkor a harmadik szám bővítésével lehet főbb alfajokat képezni az 5...9 számok felhasználásával. Ez az öt kiegészítő szám azonban sokszor nem elegendő, úgyhogy az alfajokat ilyenkor 1...4 sorszámok felhasználásával is lehet képezni. A leghelyesebb erre példákat felhozni:

3.01, ill. 3.02 a háromfázisú egyenirányítás két változata, egyrészt egyszerű *beállítással*, ill. *zárt szabályozási körbe* kapcsolva. [Megjegyezzük, hogy ezt a megoldást általánosan alkalmazzuk:

1-es alszám = beállítás (kézi szabályozás),

2-es alszám = önműködő szabályozás].

Nem lehet azonban teljes következetességgel a fenti megállapodást alkalmazni, amire az alábbi példa mutat rá:

0.91, ill. 0.92 esetében az egyenáramú kör váltogatva fellépő árammentessé tételénél előbb kell alóosztást végezni *egyszerű be- kikapcsolás*, ill. *szaggató üzem* tekintetében. Az utóbbi továbbosztásnál már visszatérhetünk a korábban is alkalmazott logikára:

0.92.1, ill. 0.92.2 az *egyenszaggató* (Gleichstromsteller) két változata *beállítással*, ill. *zárt szabályozási körbe* kapcsolva.

Az utóbbi kiegészítéshez azt az általános megjegyzést fűzzük hozzá, hogy kettőnél több számot egy csoportba nem írunk, a harmadik számot már ponttal választjuk el. Ennek is megfelelő a további példa:

3.0.35.1, ill. 3.0.35.... a háromfázisú hálózatról közbenső egyenáramú körön át történő háromfázisú motorhajtás két változata. (Itt megint *nem* a beállítás-szabályozás az elhatárolás logikája, lásd a táblázat 61. és 62. tételeit.)

Folytathatnánk még a kiragadott példákat, helyesebbnek tartjuk azonban, ha utalunk most már a táblázatra, amely az előterjesztett javaslat lényege. Ismételten kell azonban hangsúlyozni, hogy e táblázat nem törekszik teljességre. A felsorolt példák is rámutattak arra, amiről a táblázat tanulmányozása is meggyőzhet, hogy a számok rugalmas kezelését helyezzük előtérbe — ahol az félreértésre okot nem ad —, ez a rendszer dinamikája, a kulcsszámok rövidülése és egyszerűbb kezelhetősége szempontjából jelent előnyt.

Végül még néhány gyakorlati, a felhasználás során alkalmazandó további jelölési megállapodást kell javaslatba hoznunk.

Olyan kapcsolásoknál, amelyeknél *kétféle áramirányítási művelet* lehetősége áll fenn, azok mindegyikét fel kell tüntetni. Pl.: a háromfázisú egyenirányítást és visszairányítást a hálózatba, amelyek az üzem során egymást váltogatják: 3.02 + 0.36 kulcsszámmal fejezhetjük ki. Ugyanez motorüzemben (négy síknegyedes nyugvó Ward—Leonard-rendszer): 3.05.12 + 0.36 (az ötödik számjegyként írt 2 az irányváltó üzem két forgásirányára utal).

Ha az áramirányító motornak a forgórész-energiáját használjuk fel, a légréven való átmenetet törtjellel jelöljük. Pl.: aszinkron motor szlipenergiájának áramirányító útján hálózatba való visszatáplálását 3/3.0.36 kulcsszámmal fejezhetjük ki. Különleges jelölés az előbbi számcsoportban a 0 fölött elhelyezett vonal; amely a *szűrés* alkalmazását kívánja kifejezésre juttatni.

Meg kell még említeni a táblázatban alkalmazott *jelzéseket*. Ezek javaslatba hozása kiegészítője lenne a kulcsszámokkal való meghatározásnak, de önálló alkalmazásra való javaslása is elképzelhető. Ez a rovat az áramirányítók négy jellemzőjét használja fel, ezek: *áramnem*, *energiairány*, *frekvencia*, *feszültség* (motoroknál utóbbiak helyett a fordulatszám) és ezenkívül a gyakorlat által elfogadott jelzéseket ( $<$ ,  $>$ ,  $\Omega$  stb.).

A frekvenciákra vonatkozólag az áramirányítókra jellemző két fő vezérlési osztályt emeli ki a jelzés; különbséget tesz a *hálózathoz* kötött vezérlés és *szabad* vezérlés között, és azt úgy fejezi ki, hogy: „hál. Hz”, ill. „szab. Hz”.

Ennek megfelelően a korábban felsorolt példákat ismét sorra véve a jelzések a következők:

3.0        3 ~ hál. Hz. — 0 Hz

3.0.3      3 ~ hál. Hz I. — 0 Hz — 3 ~ hál. Hz II.

3.01       3 ~ hál. Hz — 0 Hz  $U >$   
(a „nagyobb” jel azt fejezi ki, hogy a feszültség egy felső határtól lefelé változtatható)

3.02       3 ~ hál. Hz — 0 Hz  $U_{st}$   
( $U_{st}$  stabilizált feszültséget jelent)

0.91       — 0 Hz — 9  
(itt a kulcsszámot használjuk fel jelzőszámként is)

0.92.1     — 0 Hz — 0 Hz 9  $U >$

0.92.2     — 0 Hz — 0 Hz 9  $U_{st}$

3.0.35.1   3 ~ hál. Hz —  $\overline{0}$  Hz — 3 ~ szab. Hz  $n \geq$

3.0.35.2   3 ~ hál. Hz —  $\overline{0}$  Hz — 3 ~ szab. Hz  $<$  hál. Hz  $n >$

(Utóbbiaknál a táblázat kapcsolási rajza ad bővebb útmutatást.)

3.02 + 0.36 = 3 ~ hál. Hz  $\leftarrow$  0 Hz

3.05.12 + 0.36 = 3 ~ hál. Hz  $\leftarrow$  0 Hz  $n \geq \pm$

3/3.0.36 = 3 ~ hál. Hz (3 —  $\overline{0}$  Hz —)  $\leftarrow$  3 ~ hál. Hz.

A közölt táblázat, amely csak helyenként terjed ki maximálisan öt számjegyes kulcsszámig, máris jól érzékelteti, hogy a természetszerű és elkerülhetetlen továbbosztások révén milyen széles körű családfához juthatunk. Viszont minél szétterjedtebb a tartomány, annál indokoltabb annak logikus összefogása, ami a rendszerezés szükségességének legjobb bizonyítéka.

A szerző meggyőződése, hogy a fenti alapelvek segítségével létrehozott, itt közreadott táblázat nem marad csupán a „hasznos szórakozások” területén. A rendszeren fejlesztése sok tudományt emelt már előre nem sejtett szintre. Példának csak az elemek periódusos rendszerét kell felhozni, amelynek oly számos új elem felfedezését köszönheti a műszaki világ s rajta keresztül a társadalom. (1966. május 12.)

## Irodalom

- [1] *Dr. Kövessi F.*: Félvezető teljesítmény-áramirányítók, Ganz Vill. Közl. 1 sz. (1964) 37—79 old.
- [2] *Mapham, N. W.*: The classification of SCR inverter circuits IEEE Conv. Record Part 4. (1964) p. 99—105.
- [3] *Abraham, L.—Heumann, K.—Koppelman, F.—Patzschke U.*: Pulsverfahren der Energieelektronik elektrischer Antriebe VDE. Fachb. 23 (1964) p. 239—52.
- [4] *Schnör, R.*: Der Drehstrommotor mit Umrichterspeisung VDE. Fachb. 23 (1964) p. 225—37.
- [5] Referátum: Thyristors for power applications. Emphasis on d. c. power supplies at IEE Conference. Schofield, J. R. G.—Smith, G. A.—Whitmore, M. G.: Fig. 2. Fig. 3. El. Times 21 (1965) p. 767—70.

### A szerkesztőbizottság megjegyzése dr. Kövessi Ferenc cikkéhez

Érdekes és hasznos kezdeményezés egy viszonylag új szakterület, az áramirányítás-technika rendszerezésének a megteremtése. A mérnök csak akkor érzi magát egy terület igazi gazdájának és szakértőjének, ha ott mindent a helyére tud tenni. A rendszerező feladata, hogy ezt a helyet a szakterület objektumainak és fogalmainak a számára kijelölje.

Egy rendszerezés, különösen ha kijelölt területén az elsők között van, szükségszerűen tartalmaz a logikus mozzanatok mellett önkényeseket is. A cél természetesen az, hogy a viták tüzeiben megtisztult rendszer fogyatkozzék az önkényes jegyekben és gyarapodjék a logikusakban.

Amikor jelen cikket a VKI Közleményekben közreadjuk, nem akarunk állást foglalni az itt leírt rendszerezés mellett olyan értelemben, mintha azt végleges megoldásnak tekintenénk. Feltétlenül alkalmas azonban arra, hogy mint tárgyalási alap és gondolatébresztő írásmű megnyissa az utat az áramirányítás-technika területének a rendezésére.

Hogy a vitát már itt elindítsuk, szeretnénk felhívni a figyelmet néhány olyan gondolatra, amely a cikkanyag összeállításakor a szerkesztő bizottságban az önkényesség érzetét keltette.

Az áramnemek osztályozásakor a szerző 0-val jelöli az egyenáramot és 1, ill. 3-mal az egy- és háromfázisú váltakozóáramot. Zárójelben utal arra, hogy az egyenáramhoz a frekvencia alapján rendelte hozzá a 0-t, míg a váltakozóáram nemekhez a fázisszám alapján rendelt jelölést. Bár kétségtelen, hogy az áramnemeket bármilyen számmal jelölhetjük, jobb, ha nem mondunk semmi indokolást, mintha valamilyen következtelen elv alapján járunk el.

A változtatva fellépő árammentes állapothoz a 9 számjegyet kissé misztikus szimbolizmus alapján rendeli hozzá a szerző.

A számsor közbenső tagjait — szintén nem egészen követhető logika alapján — az energiaátalakulás módjának a jellemzésére foglalja le. Az osztályozás itt is önkényesnek tűnik és nem érezhető a jó rendszerezéssel szemben támasztott egyik legfontosabb követelménynek, a teljességnek kielégítése.

A felsorolás a jó rendszer másik ismérvét, az egyértelműséget is nélkülözi. Az energiaátalakítást végrehajtó berendezés a legkülönbözőbb fogyasztókat láthatja el egyidejűleg és működése során hol energiát fogyaszt a hálózatról, hol visszatáplál abba energiát vagy éppen meddő energiát táplál be. Az sem világos az olvasó előtt, hogy a rendszerezés végül is berendezésekre vagy üzemmódokra vonatkozik-e.

E megjegyzések ellenére — amint azt már a bevezetőben elmondottuk — örömmel üdvözljük az áramirányítás-technika területén ezt a rendszerezési törekvést és azzal a reménnyel bocsátjuk útjára a cikket, hogy termékeny viták után jó alapot fog szolgáltatni a szakterület végleges fogalmi rendezéséhez.

Tirisztoros kapcsolások áttekintése

Sorszám	Külszám	Milyen áram-nemről (jelzés is)	Milyen áramnemre		Üzem mód megnevezése	Kapasolás
			Áramnem	Jelzés		
1	0.91			—9	Egyszerű be-kikapcsolás	
2	0.91.1	Egyenáram	Valtoztatva bekövetkező árammentes állapot		Ellenállás be-kikapcsolás	
3	0.91.2			—9Th	Féküzem	

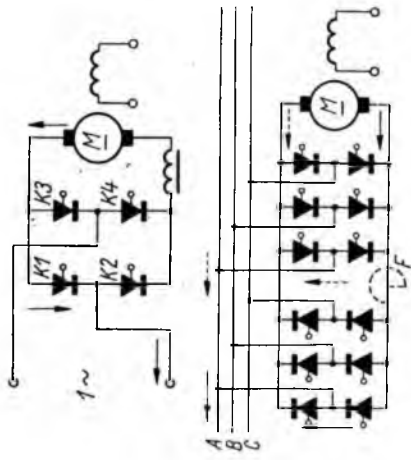
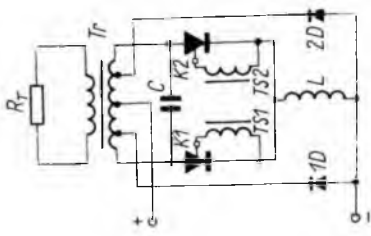
<p>4</p> <p>0.92 0.92.1</p>	<p>Egyenáram</p>	<p>— 0 Hz 9 U &gt;</p>	<p>Feszültségbeállítás</p>	
<p>5</p> <p>0.92.2</p>	<p>Szaggató üzem</p>	<p>— 0 Hz 9 U<sub>st</sub></p>	<p>Feszültség szabályozás</p>	
<p>6</p> <p>0.92.3</p>	<p>— 0 Hz 9 U &gt;</p>	<p>Gerjesztő tekercsek táplálása</p>		

Váltogatva bekövetkező árammentes állapot

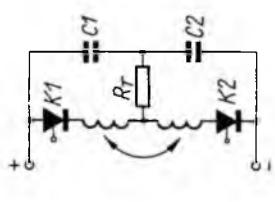
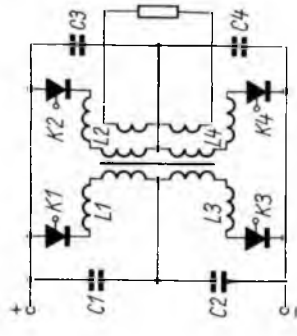
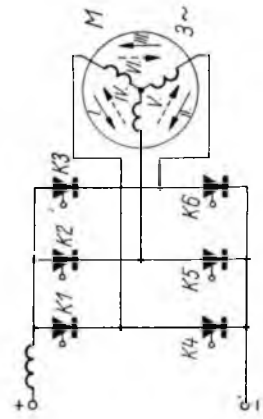
0 Hz —

Sorozási szám	Kulcsszám	Milyen áram-nemről (jelzés is)	Milyen árammre		Uzem mód megnevezése	Kapcsolás
			Áram	Jelzés		
7	0.92.51			— 0 Hz 9 n <sub>4</sub> V	Motorhajtás: fordulatszám-beállítás	
8	0.92.52	Egyenáram	Valtoztatva bekoetkezo árammentes állapot	— 0 Hz 9 n <sub>4</sub>	fordulatszám-szabályozás	
9	0.92.6			+ 0 Hz 9	Féküzem energia-visszatáplálással	

10	0.1.01	Egyenáram	Egyenáram	— 0 Hz $U \rightarrow$	Feszültségbeállítás	
11	0.1.02	Egyenáram	Egyenáram	— 0 Hz $U_s$	Feszültségszabályozás	

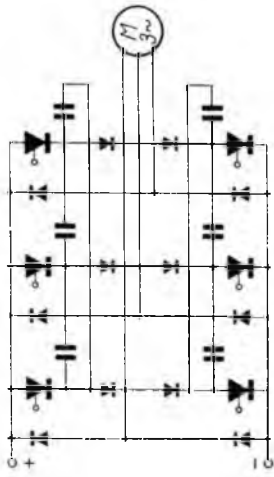
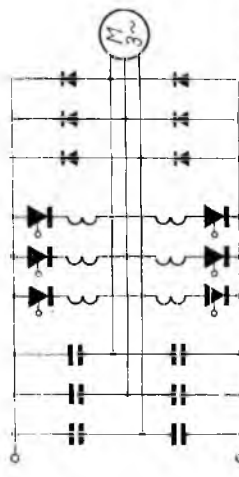
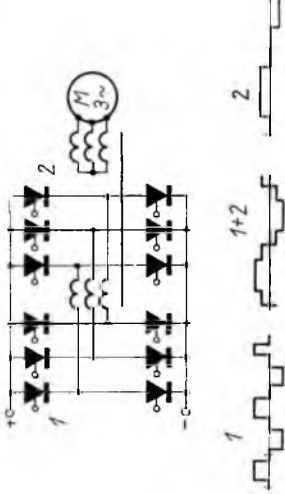
Sorszám	Kulcszám	Milyen áram-nemről nemről (jelzés is)	Milyen áramnemre		Üzem mód megnevezése	Kapcsolás
			Áramnem	Jelzés		
12	0.16	Egyfázisú váltakozó-áram	Egyfázisú váltakozó-áram	+ 1 ~ hál. Hz	Váltóirányítás hálózatba	
				— 3 ~ hál. Hz		
14	0.18.1	Egyfázisú váltakozó-áram	Egyfázisú váltakozó-áram	+ 1 ~ szab. Hz	Inverter Párhuzamos	
				— 1 ~ szab. Hz		



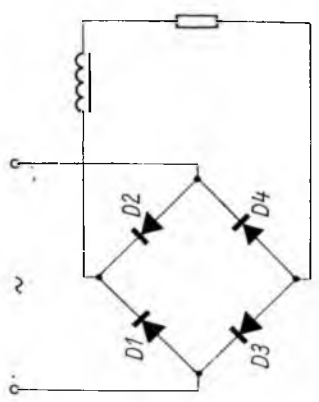
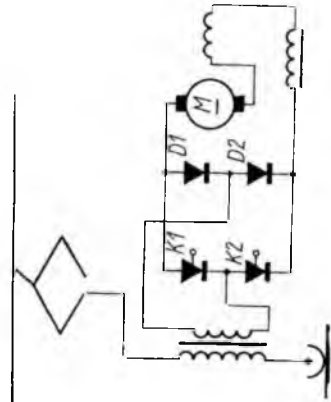
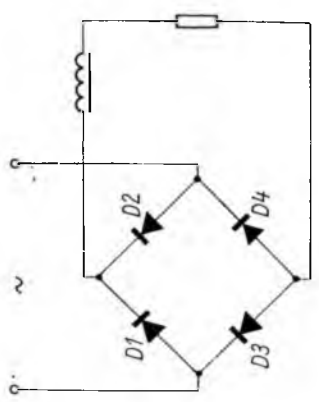
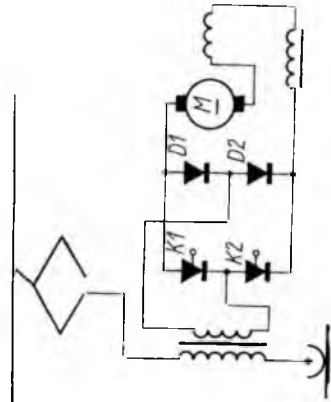
15	0.18.2	Egyenáram	Egyfázisú váltakozóáram	<p>— 1 ~ szab. Hz</p>	<p style="text-align: center;">Inverter</p>	<p style="text-align: center;">Soros</p> 
16	0.18.3	Egyenáram	Egyfázisú váltakozóáram	<p>— 1 ~ szab. Hz</p>	<p style="text-align: center;">Inverter</p>	<p style="text-align: center;">Vegyes</p> 
17	0.39.51	0 Hz —	Három-fázisú áram, ill. for-gőmező	<p>— 3 ~ szab. Hz 9 n &gt;</p>	<p style="text-align: center;">Kapcsolgató üzem (lassú forgatás)</p>	

Sorszám	Külsőszám	Milyen áram-nemről (jelzés: I <sub>s</sub> )	Milyen áramnemre		Üzem mód megnevezése	Kapcsolás
			Áramnem	Jelzés		
18	0.39.52		Forgó- mező	— 3 ~ szab. Hz 9 n $\approx$	Kommutátortorptóló irányítókapcsolás	
19	0.39.53	Egyenáram	Háromfázisú váltakozóáram	— 3 ~ szab. Hz 9 n $\approx$	Végtelenített számlólánc kapcsolású motor	
20	0.35.1			— 3 ~ szab. Hz 9 n $\approx$	Egyedi oltással	

Inverter kapcsolású motorok

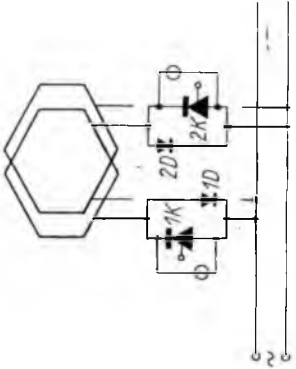
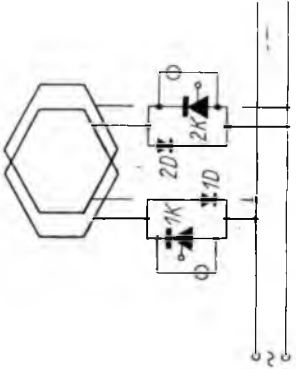
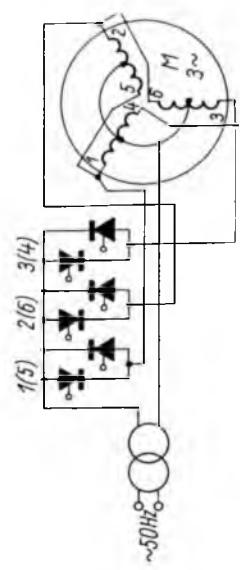
21	0.35.2	Egyenáram	Háromfázisú váltakozóáram	$-3 \sim \text{szab.}$ $\text{Hz } 8 n \leq$	Inverter kapcsolási motorok	Párhuzamos inverterrel	
22 23	0.35.3 0.35.4	Egyenáram	Háromfázisú váltakozóáram	$-3 \sim \text{szab.}$ $\text{Hz } 8 n \leq$	Inverter kapcsolási motorok	Soros inverterrel	 <p>(további változat a 3.0.35.1 kapcsolás jobb oldala)</p>
24	0.35.5	0 Hz –	Háromfázisú váltakozóáram	0 Hz –	Inverter kapcsolási motorok	Két sorbkötött inverterrel	

Sorszám	Kulcszám	Milyen áram-nemről (jelzés is)	Milyen áramnemre		Uzem mód megnevezése	Kapcsolás
			Áramnem	Jelzés		
25	1.91	Egyfázisú váltakozóáram	Arámmentes állapot (vagy azon át csökkentett értékű jellemzők nyerse)	— 9	Egyszerű be- kikapcsolás	
26	1.91.1			— 9 Ω	Ellenállás be- kikapcsolás	
27	1.93				Fokozattranszformátor- léptetés	

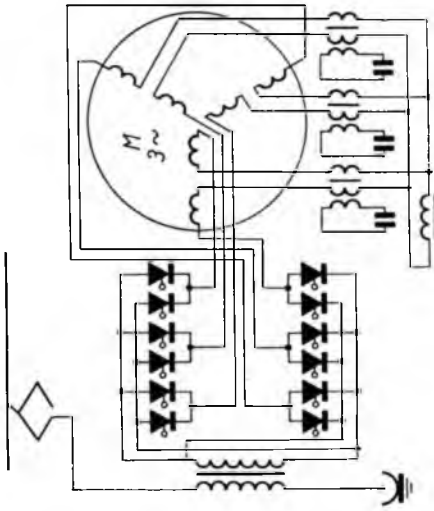
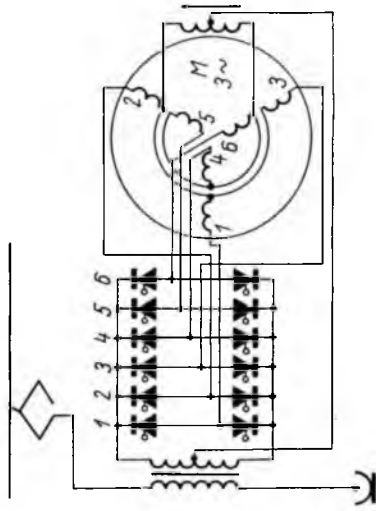
	28	1.0	Egyenáram	— 0 Hz	Egyszerű egyenirányítás	
	29 30	1.01.1 1.01.2	Egyfázisú váltakozóáram	— 0 Hz U ~	Feszültségbeállítással, félig vezérelt változat (teljesen vezérelt változatban mind a négy egyenirányító elem vezérelt)	
28					Egyszerű egyenirányítás	
29 30	1.01.1 1.01.2	Egyfázisú váltakozóáram	Egyenáram	— 0 Hz U ~	Feszültségbeállítással, félig vezérelt változat (teljesen vezérelt változatban mind a négy egyenirányító elem vezérelt)	

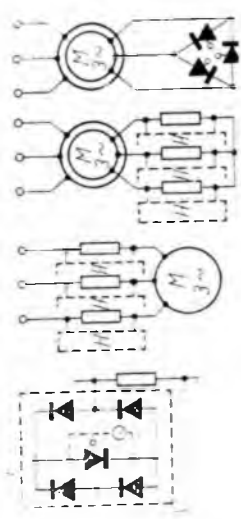

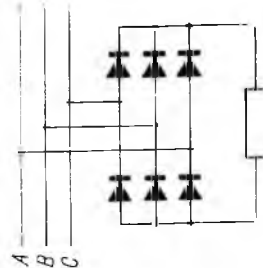
Sorszám	Kulcsszám	Milyen áram- nemről (jelzés is)	Milyen áramnemre		Üzem mód megnevezése	Kapcsolás
			Áramnem	Jelzés		
31	1.02.1	Egyenáram	— 0 Hz $U_{st}$	Egyszerű áram	Feszültség szabályozással (kétféle változatban)	
32	1.02.9	Egyfázisú váltakozóáram	— 0 Hz $9 U_{st}$	Egyszerű áram	Feszültség szabályozással (kétféle változatban)	
33	1.07	1 ~ hál. Hz	Egyfázisú meddőáram	— 1 ~ hál. Hz VAR	Meddőáram szolgáltatás	

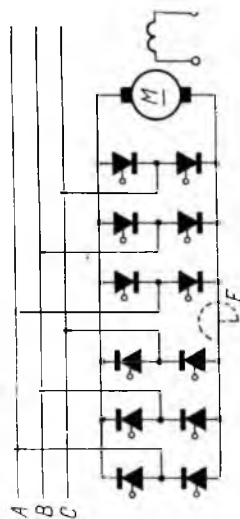
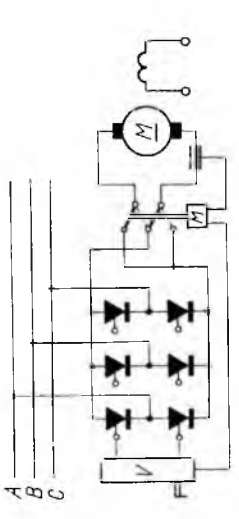
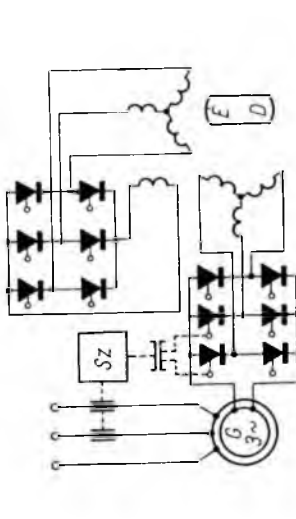
34	1.0.18	Egyfázisú váltakozóáram	— 1 ~ szab. Hz	Inverterüzem (váltakozatok 0.18 alatt)	
35	1.0.35.1	Három-fázisú váltakozóáram ill. for-gómező	— 3 ~ hál. Hz	Hálózatonál nagyobb Hz (közbenő egyenáramú körrrel)	<p>L. a 3.0.35 kapcsolásokat (a 0.35 kapcsolásokat beleértve)</p>
36	1.11	Egyfázisú váltakozóáram	— 1 ~ hál. Hz $U >$	Váltakozófeszültség; beállítása	
37	1.12	— 1 ~ hál. Hz $U_{st}$	— 1 ~ hál. Hz $U_{st}$	szabályozása	

Sorszám	Kulcszám	Milyen áramnemről (jelzés is)		Milyen áramnemre		Üzem mód megnevezése	Kapcsolás
		Áramnem	Jelzés	Áramnem	Jelzés		
38	1.36				— 3 ~ hál. Hz	Visszatáplálás a 3.1 üzem módok keretében	
39	1.39.5	Egyfázisú váltakozó áram		Háromfázisú váltakozó áram	— 3 ~ szab. Hz $n \geq$	Forgómező nyerése, kommutátorpótló irányító	
40	1.35.1				— 3 ~ 1/3 hál. Hz	Harmadszinkron fázisirányítás	

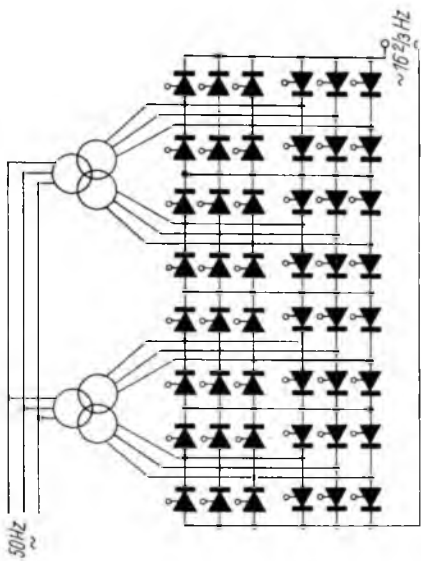
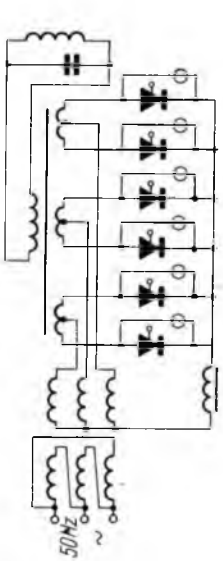
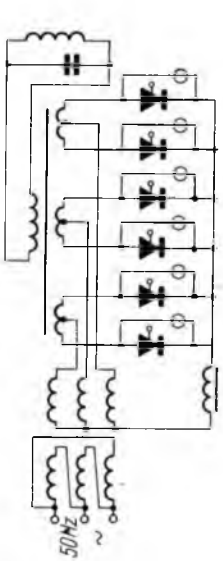


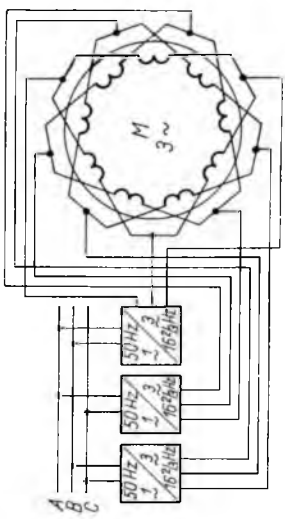
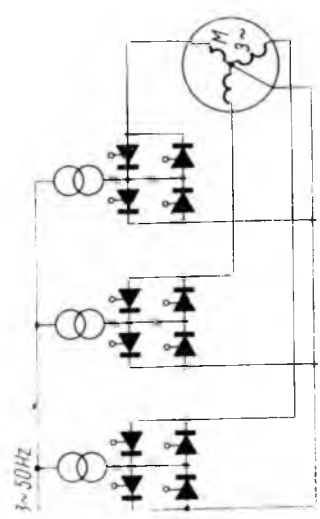
41	1.35.2	Egyfázisú váltakozóáram	Háromfázisú váltakozóáram	—3 ~ szab. Hz < hál. Hz	Változó fordulatszámú fázisátalakítás	<p>energiatárolóval</p> 
42	1.35.3	1 ~ hál. Hz			külön energiatároló nélkül	

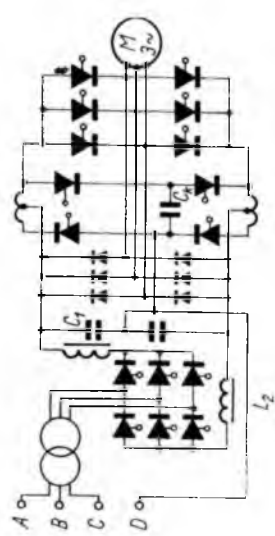
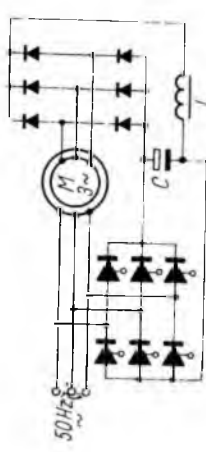
Sorszám	Külsőszám	Milyen áram- mérő- műrőtől (jelzés is)	Milyen áramnemre		Üzem mód megnevezése	Kapcsolás	
			Áramnem	Jelzés			
43	3.91			— 9	Egyszerű be- kikapcsolás	Az 1.91 kapcsolás értelemszerű háromszorosítása	
44	3.91.1	Árammentes állapot (vagy azon át csökkentett jellemzők nyeresé		— 9 Ω	Ellenállás be- kikapcsolás	Be- kikapcsolás	
45	3.93				Fokozattranszformátor- éptetés	Az 1.93 kapcsolás háromszorosítása	
46	3.0	Egyenáram		— 0 Hz	Egyszerű egyenirányítás		

47	3.01.1	Egyszerűsített Háromfázisú váltakozóáram	Egyszerűsített Egyszerűsített	Feszültségbeállítással	
48	3.01.2	Egyszerűsített Egyszerűsített	Egyszerűsített Egyszerűsített	Szinkron szakaszoló váltózat	
49	3.02	Egyszerűsített Egyszerűsített	Egyszerűsített Egyszerűsített	Feszültség szabályozással	

Sorszám	Kulcsszám	Milyen áram- áram- nemről (felzés is)	Milyen áramnemre		Üzem mód megnevezése	Kapcsolás
			Áramnem	Jelzés		
50	3.0.3	Egyen- áramú közben- ső kör	— 0 Hz — 3 ~ hál. Hz	Kapcsolat két háromfázisú rendszer között pl. HVDC		
51	3.0.7	Három- fázisú meddő- áram	— 3 ~ hál. Hz VAr	Meddőáramszolgáltatás	Az 1.0.7 kapcsolás hámszorozva	
52	3.0.18	Háromfázisú váltakozóáram	Egyfázisú váltakozó- zóáram — 1 ~ szab. Hz	Középfrekvencia előállítása		
53	3.1.1	Egyfázisú váltakozó- zóáram	— 1 ~ 1/3. hál. Hz	Burkológörbe jellegű átalakító		

54	3.12	Háromfázisú váltakozó áram	Egyfázisú váltakozó áram	<p>Vezérelt szinusz átalakító</p> <p>1 ~ szab. Hz &lt; hál. Hz</p>	
55	3.13	Háromfázisú váltakozó áram	Egyfázisú váltakozó áram	<p>Trapéz átalakító (az előző kapcsolástól csak a vezérlésben van eltérés)</p>	
56	3.18	Háromfázisú váltakozó áram	Egyfázisú váltakozó áram	<p>Középfrekvencia előállítás</p> <p>-1 ~ szab. Hz 8</p>	

Sorszám	Kulcszám	Milyen áram- nemről (felzés is)		Milyen áramnemre		Üzem mód megnevezése	Kapcsolás
		Áramnem	Jelzés	Áramnem	Jelzés		
57	3.31					beállítása szabályozása	Az 1.11 kapcsolás háromszorozása Az 1.12 kapcsolás háromszorozása
58	3.32						
59	3.52	Háromfázisú váltakozóáram		Háromfázisú váltakozóáram		Hálózatonál kisebb Hz-cel (az 1.3553 kapcsolás háromszorozása)	
60	3.53	Háromfázisú váltakozóáram		Háromfázisú váltakozóáram		Hálózatonál kisebb Hz (a 3.12 kapcsolás háromszoros) (közvetlen átalakító)	

61	3 0.35.1	Háromfázisú váltakozóáram	3 ~ szab. Hz > hál. Hz	Motorkhajítás		
62	3 0.35...	Háromfázisú váltakozóáram				
63	3/3 0.36	3 ~ hál. Hz				





# FÉLVEZETŐ FŐOSZTÁLY



# 19.

## A VKI Félvezető Főosztályának munkássága

*DR. LUKÁCS JÓZSEF*

Az Elektrotechnika 1957. évi 11—12. számában részletesen beszámoltunk főosztályunk megalakulásáról, a 15 éves időszak küzdelmeiről és eredményeiről. Így elegendő lenne cikkünkben csak az utóbbi 5 év eredményeit vázolni. Mivel sem untatni nem akarunk, sem pedig azt, hogy szűkszavúsággal vádolhassanak, ezért úgy döntöttünk, hogy mérsékelten mindkettőt választjuk: röviden beszámolunk a 15 éves tevékenységről és igyekszünk részletesebben bemutatni az utolsó 5 év eredményeit.

### Visszapillantás

Ha tevékenységünket egy mondatlakk akarnánk jellemezni, akkor azt mondhatnánk, hogy a laboratórium magját alkotó csoport (1949—53), a félvezető osztály (1953—59) és a félvezető főosztály (1959-től napjainkig) tevékenysége kezdetben fizikai, későbbiekben a szilárdtest-fizikai és szilárdtest-technológiai kérdések megoldására irányult, kiegészítve ezt az erősáramú elektrotechnika területén szükséges konstrukciók megvalósításával.

### 1. 15 év eredményei

Az első munkáink között kell említenünk a mikafolium nyomás alatt hővezetésére vonatkozó vizsgálatokat, a réz—alumínium kötésekre vonatkozó impulzushegesztési technológia kifejlesztését (Impalla kötések), 80 °C-os, olaj alatt működő papírszigetelések öregedésvizsgálatát a kritikus térerősségek közelében.

1951-től már olyan kísérletek folytak, amelyek a félvezetőtechnika bázisát képezték: a nemlineáris ellenállások cement, ill. melegprésléses technológiájára gondolunk. Ezekkel paralel feladatunkat képezte a magyar GTL típusú túlfeszültséglevezető-sorozat kifejlesztése 6 kV-tól 120 kV-ig, később 220 kV-ig.

Időközben megvalósítottuk egy félvezető anyagnak, a polikristályos szilícium-karbidnak homokból és petrolkokszból alumínium doppingolással történő előállítását. A 60...80 kg-os tételek nemlinearitás, ill. térerősség szempontjából a külföldi mintákkal egyenértékűek voltak.

1957-ben indult meg az egykristályban létrehozott rétegek kialakítása teljesítménydiódák céljaira. Ez 1960-ig germánium, ettől kezdve szilícium bázison folyt. Hangsúlyozzuk, hogy mind a technológiai felszerelést (egykristályhúzó gépek, ötvöző- és diffúziós kályhák stb.), mind pedig a mérési berendezést magunk terveztük és építettük meg.

A hatvanas évek elején kezdtük meg az n és p típusú bizmut-antimontellurid, ill. bizmut-tellurid-szelenid alapanyagú termovillamos ötvözetek kidolgozását, ill.

előállítását. A technológia az irányított kristályosítási eljáráson alapult. Az 1964-ig elért szint a 36 °C-os legnagyobb hőmérsékleti differenciával és kb. 15%-os hatásfokkal volt jellemezhető. A továbbfejlődésről az utóbbi évek eredményeinek ismertetésénél számolunk be.

Meg kell említenünk az 1950—60. években végzett azon kísérleteket, amelyek ezüst érintkezőknek kondenzátoros impulzusheglesztéssel sárgaréz és vas elemekre történő rögzítésére vonatkoztak. Az útmutatásuk alapján készített berendezésekkel a Mechanikai Művek tízezres darabszámú elemet gyártott és szállított a Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyáranak.

Úgy érezzük, hogy a fentiekkel a laboratórium 15 éves munkájára vonatkozó ismételt összefoglalásnak eleget tettünk. Az esetleg keresett, részletesebb információ megszerzésére az olvasó figyelmét az „Elektrotechnika” 1964. évi 11—12. számára irányítjuk.

## 2. Az utolsó 5 év eredményei

Az utolsó évek (1964—69) eredményeiről részletesebben az alábbiakban számolunk be az osztályaink sorrendjében.

A nemlineáris ellenállások területén 1200...1300 °C hőmérsékleti tartományú hidrogén védőgáz technológiát dolgoztunk ki (19-1. ábra). Ezzel az ellenállások hosszúhullámra vonatkozó termikus szilárdságát lényegesen fokoztuk, a nemlinearitás tartása mellett. Az ellenállások és a kontrapolár, ill. ívnyújtós szikraközök lehetővé tették az ún. nehézüzemű levezetők megalkotását 500 A-es négyszög-hullámú és ugyanezen kivitelben a 220 kV-os levezető létrehozását.

Jelentős eredményként kell rögzítenünk az említett időintervallumban a magyar 50, 100 és 200 A-es normál és „gyors” tirisztorozat kifejlesztését. A diffúzióötözőses technológiával készült tirisztoraink — az eddigi tapasztalatok figyelembevételével — kielégítik a magyar erősáramú automatika, ill. szabályozástechnika igényeit (19-2. ábra).



19-1. ábra  
Hidrogén védőgáz nemlineáris ellenállás fűtésű függőleges kemence



19-2. ábra  
SNV 50 és 100 A-es hazai gyártmányú tirisztorok

A tirisztorok módszeres fejlesztése igen bonyolult mérési rendszer kiépítését követelte meg mind az egykristályok minősítése, mind a p-n-p, ill. p-n-p-n réteggkomplexumok értékelésénél, ill. a diffúziós idő, doppingolási mérték stb. tudatos irányításánál. A mérési nehézségek jellemzésére csak azt említjük meg, hogy míg egy szilícium diódát négy-öt paraméter kielégítően jellemez, addig egy tirisztor katalógusszerű jellemzéséhez 16...18 paramétert kell megadni (19-3. ábra).



19-3. ábra Tirisztorok mérőberendezései

Véleményünk szerint a megfelelő egykristályos szilícium alapanyag minden félvezető eszköz fejlesztésének bázisa. A félvezető laboratóriumban a legutóbbi évek folyamán sikerült olyan egykristályhúzási és doppingolási „kultúrát” kifejleszteni, amelynek igénybevételével a magyar Si igényt 90%-ban fedezni tudjuk. Rögzítenünk kell e helyen azt is, hogy kísérleteinkhez a mikrokrisztályos alapanyagot a Fűzfői Nitrokémia Ipartelepek biztosította, több esetben a külföldi mikrokrisztály minőségét meghaladó kiváló szinten (19-4. ábra).

A tirisztorokkal kapcsolatban a félvezető laboratóriumban minimális áramkörtervezési munka is folyt. Ennek keretében csak a világítás-szabályozó áramkörök és az akkumulátorral táplált feszültség szabályozó köröket említjük meg. Az előbbiekről mozi berendezésekhez és 10...20 kW teljesítményt igénylő világítási áramkörökhöz készültek, mind a fénycsővekhez, mind izzólámpákhoz alkalmas kivitelben.



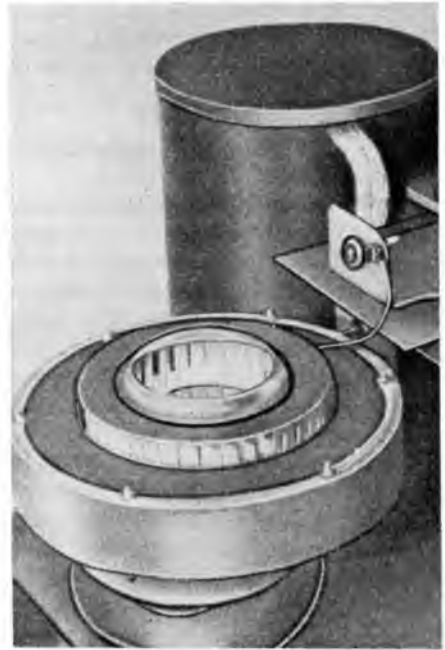
19-4. ábra  
Hazai gyártmányú szilícium egykristályok



19-5. ábra. „VKI Tiny” típusú, városi villamos gépkocsi



19-6. ábra. Termovillamos lakótéri italhűtő szekrény



19-7. ábra. Alumínium—műanyag ventilátor-járókerék elektromágnes formálása, szerelése

Egyik tirisztoros feszültség szabályozót a félvezető laboratóriumban készítették el, „Tiny” típusú 4 személyes akkumulátoros villamos autó sebesség szabályozójaként. A járművet kisebb sorozatban, kórházi és postai célokra gyártják (19-5. ábra).

A tirisztor kutatás egy érdekes mellékeredményeként sikerült fényrel vezérelt tirisztorokat építenünk. Ezek 0,5...1 Ws energiájú fényimpulzus esetén 50, ill. 100 A áramot tudnak kapcsolni, erősítőrendszer nélkül.

A termovillamos elemek fejlesztése mind technológiai, mind készüléképítési vonalon folytatódott. A technológiában az 1967-ben létrehozott zsugorítási technológiát tartjuk jelentősnek, szemben az eddig alkalmazott, irányított kristályosítási rendszerrel. A szintereléssel készült termovillamos ötvözetekkel ez ideig 50 °C hőmérsékletkülönbséget és kb. 22...24% határfokot tudunk megvalósítani, lényegesen csökkentett aktívanyag felhasználás mellett (15 W-os egységbe beépített bizmut és tellur összes súlya 22,5 gr!).

A hűtőelemekkel további készülékfejlesztési programot hajtottunk végre. Ennek során folyadékos hűtőtermosztátot, 10 l-es jégszekrényládát, autóhűtőtáskát, valamint egy kb. 24 l-es luxus italhűtőt dolgoztunk ki. Ezek közül néhány típus kisorozatú gyártásban van (19-6. ábra).

Az 1966-ban megkezdett elektromágneses fémalakítási téma keretében megépítettünk három alakító berendezést. A kísérleti munka eredményeként különböző korszerű alakítástechnológiai művelet elvégzése vált lehetővé. Jelenlegi feladatunk az ipari bevezetést elősegítő elméleti és kísérleti munka (19-7. ábra).

Utoljára kívánunk megemlékezni azokról a kísérletekről, amelyek e sorok írójának gondolata alapján folytak, a termoinduktív generátor megvalósítására. A kísérlet a szerző USA-ban végzett ösztöndíjas munkájának a folytatása volt, egy hőimpulzus és az általa mágneses térben a Nerst—Ettinghausen feszültségen kívül létrejött feszültség kimérésére és az összefüggések tisztítására. A kísérleteket pirolitikus és reaktorgrafiton, ill. félfémeken és félvezetőkön végezzük.

A fentieket összefoglalva úgy véljük, hogy az utóbbi 5 év eredményei nem maradnak el az előző 15 évben elértektől. Az új tirisztorok, a szilícium egykristályok, a szinterelt hűtőelemek ennek főbb jellemzői.

A nagy nemlinearitású ellenállások, oltható tirisztorok és a 60...70 °C-os hűtőelemek, a termoinduktív generátor viszont a következő feladatok, jövőendő utunk újabb állomásai.





# 20.

## Véges kontaktusátmérő figyelembevétele a Valdes-féle fajlagosellenállás-mérés során

GADÁNYI PÉTER

### ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk ismerteti a VKI Félvezető Laboratóriumában végzett különböző kontaktusátmérőjű négytűs fajlagos ellenállásmérőkkel tapasztalt eltérések egy lehetséges magyarázatát. Egy újfajta korrekciós függvényt vezetünk be. Részletesen ismertetjük ezen új korrekciós függvény kiszámításához használt matematikai eljárásokat, köztük egy új segédételt is. A fenti matematikai eljárással ( $r=0$  esetén) sikerült a Valdes által bevezetett korrekciós függvényt is reprodukálni, amelynek levezetését a szerző nem közölte.

### ПРИНЯТИЕ ВО ВНИМАНИЕ КОНЕЧНОГО ДИАМЕТРА КОНТАКТА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВАЛЬДЕС

*П. Гадányи*

#### Резюме

В статье дается описание отклонений, наблюдающихся при использовании четырехзондовых измерителей удельного сопротивления с различными диаметрами. В ходе измерений, проведенных в Лаборатории Полупроводников VKI, было выявлено одно возможное объяснение этого явления. Вводится новая корректировочная зависимость. Дается подробное описание математических методов, использованных при расчете новой корректирующей зависимости (при  $r=0$ ). Удалось воспроизвести корректирующую зависимость Вальдеса, методы расчета которой автором статьи не излагаются.

### BERÜCKSICHTIGUNG DES ENDLICHEN KONTAKTDURCHMESSERS BEI DER SPEZIFISCHEN WIDERSTANDSMESSUNG NACH VALDES

*P. Gadányi*

#### Zusammenfassung

Die Abhandlung beschreibt eine mögliche Erklärung der mit vierspitzigen, spezifischen Widerstandsgeräten verschiedenen Kontaktdurchmessers im Halbleiterlaboratorium des Forschungsinstituts der Elektroindustrie ermittelten Abweichungen. Es wurde eine neuartige Korrektionsfunktion eingeführt und die mathematischen Methoden (im Falle  $r=0$ ) ausführlich beschrieben, welche zur Berechnung der neuen Korrektionsfunktion nötig waren. Es konnte auch die durch Valdes eingeführte Korrektionsfunktion reproduziert werden, deren Berechnungsmethode durch den Verfasser nicht mitgeteilt wurde.

## CONSIDERATION OF THE FINITE CONTACT DIAMETER IN VALDES' SPECIFIC RESISTANCE MEASUREMENT

P. Gadányi

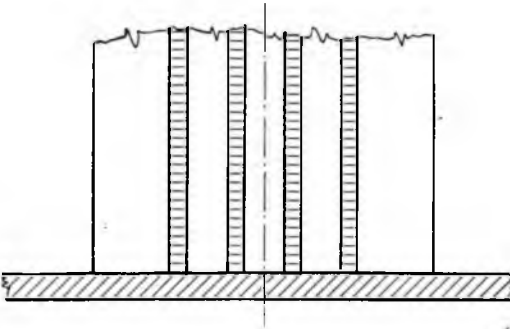
### Summary

The paper is describing a possible explanation for the deviations experienced on measurements carried out in the Semiconductor Laboratory of the Research Institute of the Electrical Industry by means of fourpoint specific resistance measuring instruments. A new kind of correction function is introduced. By means of the mathematical process used for the calculation of this new correction function described in detail, the author succeeded in reproducing also the correction function introduced by Valdes (for the case of  $r=0$ ). The method of calculation of this latter function however, was not described by Valdes.

Az *L. B. Valdes* által javasolt négytűs módszer [1] a félvezetők fajlagos ellenállásának ismert mérési módszere. A levezetések feltételezik, hogy a tűkontaktusok átmérője elhanyagolhatóan kicsi a tűk egymás közti távolságához mérten. Tapasztalataink szerint viszont a tűkontaktusok magas fajlagos ellenállású szilíciumon csak akkor használhatók, ha nagyobb túnyomást és ezzel együtt nagyobb tűátmérőt alkalmazunk. Ezzel az eredeti feltevésektől már eltértünk. Lényeges lesz az eltérés akkor, ha a tűk helyett vékony higanyoszlopokat használunk műanyag tartóba ágyazva (20-1. ábra).

A dolgozatban azt vizsgáljuk, hogy a tűkontaktusok átmérőjének figyelembevétele milyen hatással van a mérési eredményre, különböző elrendezések esetén. Kimutatjuk, hogy az elrendezéstől függően a tűátmérővel való számolás elhanyagolása jelentős eltérésekhez vezet, s ezt a tapasztalat is jól igazolja (nem publikált kísérleti eredmények).

A növekvő tű-, helyesebben kontaktusátmérő befolyásolja a terjedési ellenállás értékét. A terjedési ellenállást (spreading resistance) tűkontaktus esetén úgy értelmezzük, mint a félvezető anyagba áramot vivő kontaktus körül az áram szétterjedése folytán kialakult ún. lebegési potenciál (floating potential) és a teljes áram hányadosát. Végtelen vékony tű és síkkal határolt végtelen vezető féltér érintkezési pontja körül homogén anyagban a potenciálfelületek félgömbök (20-2. ábra). Kézenfekvőnek látszik, hogy véges tűvastagság esetén a 20-3. ábrán látható felülettel számoljunk. Ez az alakzat egy elfajult tóruszból képezhető az alábbi



20-1. ábra. Higanyoszlopokkal kialakított négytűs mérés

módon. Egy normál tórusz keresztmetszete  $r < R$  esetén a 20-4. ábrán, egy elfajult tórusznál  $r > R$  esetén az 20-5. ábrán látható.

A 20-5. ábrán látható alakzatot a függőleges szimmetriatengelye körül forgatva egy elfajult tóruszt kapunk. Ennek bennünket érdeklő részét a vonalkázott környegedek forgása állítja elő, amelynek felszíne:

$$F = \int_0^{2\pi} \int_{\pi/2}^{\pi} r(R + r \sin \vartheta) d\vartheta d\varphi = \pi^2 Rr + 2\pi r^2. \quad (1)$$

A gömb alakú potenciálfelületre elvégzett számítás analógiájára:

$$E_r = \frac{qI}{F'} = \frac{V_f}{R+r} \approx \frac{V_f}{R}, \quad (2)$$

ahol  $q$  a félvezető anyag fajlagos ellenállása,  $\Omega \text{ cm}$ ;

$I$  a kontaktuson át az anyagba befolyó áram, A;

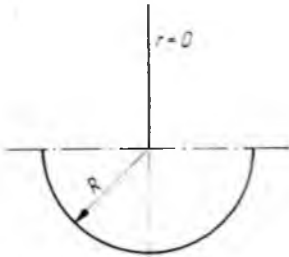
$E_r$  a radiális térerősség V/cm;

$R$  a kontaktustól való távolság, cm;

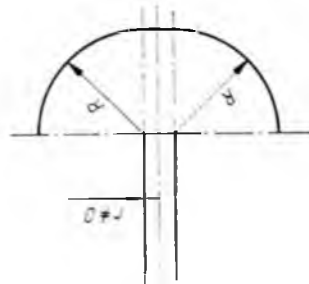
$F'$  a kontaktus körül az anyagban kialakult potenciálfelület felszíne,  $\text{cm}^2$ ;

$r$  a kontaktus sugara, cm;

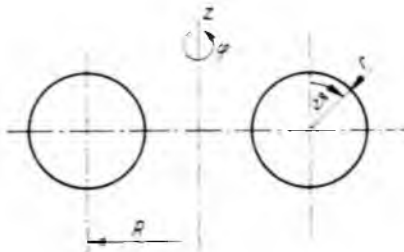
$V_f$  a lebegési potenciál, V.



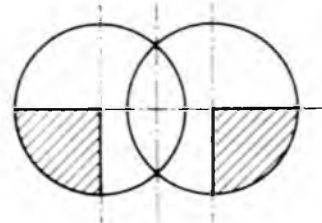
20-2. ábra. Végtelen vékony tű és végtelen vezető félter érintkezésénél kialakuló potenciálfelület



20-3. ábra. Végés vastagságú tű és végtelen vezető félter érintkezésénél kialakuló potenciálfelület



20-4. ábra. A tórusz mint forgástest keletkezése



20-5. ábra. Az „elfajult” tórusz mint forgástest keletkezése

A 20-3. ábra jelöléseit alkalmazva a 20-5. ábrán látható elfajult tóruszra:

$$F' = \pi^2 Rr + 2\pi R^2 + \pi r^2, \quad (3)$$

$$V_f(R) = \frac{qI}{\pi^2 r + 2\pi R + \pi r^2 R}. \quad (4)$$

Ha  $r < R$ , első közelítésben

$$V_f(R) = \frac{qI}{\pi^2 r + 2\pi R} = \frac{qI}{2\pi} = \frac{1}{R + \frac{\pi}{2} r}, \quad (5)$$

vagyis egy  $r$  sugarú tűkontaktustól  $R$  távolságra levő pontban a lebegési potenciál:

$$V_f = \frac{\varrho I}{2\pi R'}, \quad \text{ahol} \quad R' = \frac{\pi}{2} r + R. \quad (6)$$

Ennek alapján módosítva *L. B. Valdes* által [1]-ben közölt képleteket a fajlagos ellenállás számításában figyelembe vehetjük a véges tűátmérőt.

### 1. A fajlagos ellenállásra vonatkozó összefüggés végtelen anyagvastagság, azonos tűtávolság és véges tűvastagság esetén

A 20-6. ábra alapján az első és a negyedik kontaktus által létrehozott lebegési potenciálok a második és harmadik kontaktusnál:

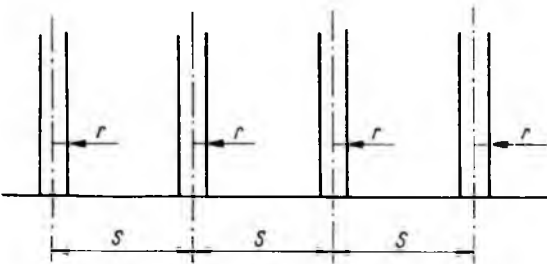
$$V_{f2} = \frac{\varrho I}{2\pi} \left[ \frac{1}{s + \frac{\pi}{2} r} - \frac{1}{2s + \frac{\pi}{2} r} \right], \quad (7)$$

$$V_{f3} = \frac{\varrho I}{2\pi} \left[ \frac{1}{2s + \frac{\pi}{2} r} - \frac{1}{s + \frac{\pi}{2} r} \right], \quad (8)$$

$$V_f = V_{f2} - V_{f3} = \frac{\varrho I}{2\pi} \left[ \frac{2}{s + \frac{\pi}{2} r} - \frac{2}{2s + \frac{\pi}{2} r} \right], \quad (9)$$

$$\varrho \approx \frac{V}{I} \left( 2\pi s + \frac{3}{2} \pi^2 r \right), \quad \text{ha} \quad s \geq 5r. \quad (10)$$

Egészen hasonlóan adható meg a nem egyenlő tűtávolságra és végtelen anyagvastagságra vonatkozó képlet is (l. a Függelék 1. pont, továbbiakban F1).



20-6. ábra. Négytűs elrendezés azonos tűátmérők és tűtávolságok esetén

[1] alapján tudjuk, hogy szigetelő alapon fekvő félvezető lemezekre, amelynek vastagsága a tűtávolság négy-öttszörösénél kisebb, korrekciót kell alkalmazni. Ha a fajlagos ellenállás  $\varrho \Omega \text{ cm}$ , a tűtávolság  $s \text{ cm}$ , a lemezvastagság  $w \text{ cm}$  és  $G_7(W/s)$  a korrekciós függvény, akkor

$$\varrho = \frac{\varrho_0}{G_7 \left( \frac{W}{s} \right)}, \quad (11)$$

ahol  $\varrho_0$ -t a végtelen anyagvastagság esetére érvényes

$$\varrho_0 = 2\pi s \frac{V}{I}$$

formulából vesszük.

A  $G_7$  függvény részletes alakja a következő:

$$G_7\left(\frac{w}{s}\right) = 1 + \frac{4s}{w} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{s}{w}\right)^2 + (2n)^2}} - \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{2s}{w}\right)^2 + (2n)^2}} \right]. \quad (12)$$

(6) szerint áttérve a véges kontaktusátmérőkre:

$$q(r) = \frac{q_0(r)}{G_7\left(\frac{w}{r}, \frac{w}{s}\right)}, \quad (13)$$

ahol  $q_0(r)$ -et a (10) képletből vehetjük egyenlő tőtávolságok esetén,

$G_7\left(\frac{W}{r}, \frac{W}{s}\right)$  pedig a módosított korrekciós függvény:

$$G_7\left(\frac{w}{r}, \frac{w}{s}\right) \approx 1 + \left(\frac{2s}{w} + \frac{3\pi r}{2w}\right) \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{s}{2w} + \frac{\pi r}{4w}\right)^2 + n^2}} - \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{s}{w} + \frac{\pi r}{4w}\right)^2 + n^2}} \right]. \quad (14)$$

Ennek részletes levezetése F2-ben megtalálható.

## 2. A $G_7$ függvény közelítő számítása

Ebben a pontban a (14) alatti összefüggés közelítő előállításával foglalkozunk. Az itt közölt eredmények, *Dobó Andor* (Műszeripari Kutató Intézet) által tanácsolt matematikai módszer alkalmazása folytán adódtak. Mivel az e helyen alkalmazott közelítő módszer egyike a Poisson-formula alkalmazásán alapszik, ezért F3-ban közöljük — *Dobó Andor* szíves hozzájárulásával — azon publikálatlan eredményét, amelynek segítségével e problémánál általánosabb esetben is a Poisson-formula maradéktagját, vagyis az elhanyagolásokból adódó hibát meg lehet becsülni.

Az alábbiakban a  $G_7\left(\frac{W}{r}, \frac{W}{s}\right)$  függvény numerikus számításokra alkalmas előállításával foglalkozunk. Bevezetve a

$$c = \frac{s}{2w} \quad (15)$$

és az

$$\alpha = \frac{\pi r}{4w} + \frac{s}{2w} \quad (16)$$

jelöléseket, (14)-ből kapjuk:

$$\begin{aligned} G_7(\alpha, c) &= 1 + (6\alpha - 2c) \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + n^2}} - \frac{1}{\sqrt{(\alpha + c)^2 + n^2}} \right] = \\ &= \frac{\alpha^2 - 5\alpha c + 2c^2}{\alpha^2 + \alpha c} + (6\alpha - 2c) \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + n^2}} - \frac{1}{\sqrt{(\alpha + c)^2 + n^2}} \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

A továbbiakban az argumentum értékétől függően a közelítésre két eljárást adunk meg.

I. Folytonos változóra áttérve, legyen:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + x^2}} - \frac{1}{\sqrt{(\alpha + c)^2 + x^2}}, \quad (18)$$

$$f(0) = \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\alpha + c}. \quad (19)$$

$$f(N) \rightarrow 0, \quad \text{ha} \quad N \rightarrow \infty. \quad (20)$$

Felhasználva az (F3. 1) képletet, kapjuk:

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^N f(k) &= \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\alpha + c} \right) + \ln \frac{(\alpha + c)[N + \sqrt{\alpha^2 + N^2}]}{\alpha[N + \sqrt{(\alpha + c)^2 + N^2}]} + \\ &+ 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left[ \int_0^N \frac{\cos 2k\pi x}{\sqrt{\alpha^2 + x^2}} dx - \int_0^N \frac{\cos 2k\pi x}{\sqrt{(\alpha + c)^2 + x^2}} dx \right] \end{aligned} \quad (21)$$

Mint ismeretes, az ilyen alakú integrálok zárt alakban nem fejezhetőek ki (l. [4], 130. old.).

$$\int_0^{\infty} \frac{\cos 2k\pi x}{\sqrt{\alpha^2 + x^2}} dx = K_0(2\pi k\alpha). \quad (22)$$

$K_0(x)$  nem más, mint az  $x^2 y'' + xy' - (x^2 + n^2)y = 0$  differenciálegyenlet McDonald-féle  $K_n(x)$  megoldásfüggvényének speciális alakja.

$K_0(x)$ -re jól használható táblázatok vannak (l. [5]). Könnyen meggyőződhetünk arról, hogy  $x$  nagy értéke esetén  $K_0(x)$  gyorsan nullához konvergál, pl. ha  $\alpha \geq 1$  és  $k \geq 2$ , akkor  $K_0(2\pi k\alpha) \ll 0,000018$ . Egyébként az összegezésben elkövetett hibát a függelékben található (F 3) tétel alapján általánosabb szempontok figyelembevételével becsülhetjük. Ezek alapján: ha  $\alpha \gg 1$   $K_0(2\pi\alpha) \approx 0$  és ha (21)-ben az  $N \rightarrow \infty$  határátmenetet elvégezzük és visszatérünk az eredeti  $s, w, r$  változókra, nyerjük:

$$G_7 \left( \frac{w}{r}, \frac{w}{s} \right) = \frac{\left( \frac{\pi}{4} \frac{r}{w} \right)^2}{\left( \frac{\pi}{4} \frac{r}{w} + \frac{s}{2w} \right) \left( \frac{\pi}{4} \frac{r}{w} + \frac{s}{w} \right)} + \left( \frac{3\pi r}{2w} + \frac{2s}{w} \right) \cdot \ln \left| \frac{\frac{\pi}{4} \frac{r}{w} + \frac{s}{w}}{\frac{\pi}{4} \frac{r}{w} + \frac{s}{2w}} \right|. \quad (23)$$

Ha  $\alpha \approx 1$ , akkor (három tizedesjegyre):

$$\begin{aligned} G_7 \left( \frac{w}{r}, \frac{w}{s} \right) &= \frac{\left( \frac{\pi}{4} \frac{r}{w} \right)^2}{\left( \frac{\pi}{4} \frac{r}{w} + \frac{s}{2w} \right) \left( \frac{\pi}{4} \frac{r}{w} + \frac{s}{w} \right)} + \left( \frac{3\pi r}{2w} + \frac{2s}{w} \right) \times \\ &\times \ln \left| \frac{\frac{\pi}{4} \frac{r}{w} + \frac{s}{w}}{\frac{\pi}{4} \frac{r}{w} + \frac{s}{2w}} \right| + \left( \frac{3\pi r}{w} + \frac{4s}{w} \right) \left[ K_0 \left( \frac{\pi^2 r}{2w} + \frac{\pi s}{w} \right) - K_0 \left( \frac{\pi^2 r}{2w} + \frac{2\pi s}{w} \right) + \right. \\ &\left. + K_0 \left( \frac{\pi^2 r}{w} + \frac{2\pi s}{w} \right) - K_0 \left( \frac{\pi^2 r}{w} + \frac{4\pi s}{w} \right) \right]. \end{aligned} \quad (24)$$

Ha  $\alpha < 1$ , akkor a szóban forgó sor csak lassan konvergál. Ilyen esetben igen célszerű a másik módszer alkalmazása.

II. Induljunk ki az

$$\frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + n^2}} = \frac{1}{n\sqrt{1+x}} \quad (25)$$

átalakításból, ahol  $(\alpha/n)^2 = x$ . Ha  $\alpha < 1$ , akkor  $x < 1$  esetén:

$$\frac{1}{\sqrt{1+x}} = 1 - \frac{1}{2}x + \frac{3}{8}x^2 - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}x^3 + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8}x^4 - \dots, \quad (26)$$

és így (25) szerint (26)-ból kapjuk:

$$\frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + n^2}} = \frac{1}{n} - \frac{1}{2} \frac{\alpha^2}{n^3} + \frac{3}{8} \frac{\alpha^4}{n^5} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} \frac{\alpha^6}{n^7} + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8} \frac{\alpha^8}{n^9} + \dots \quad (27)$$

Ebből (17) és (18) alapján:

$$\begin{aligned} & \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + n^2}} - \frac{1}{\sqrt{(\alpha+c)^2 + n^2}} \right] = \\ & = \frac{1}{2} \frac{(\alpha+c)^2 - \alpha^2}{n^3} + \frac{3}{8} \frac{\alpha^4 - (\alpha+c)^4}{n^5} + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} \frac{[(\alpha+c)^6 - \alpha^6]}{n^7} + \\ & + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8} \frac{[\alpha^8 - (\alpha+c)^8]}{n^9}, \end{aligned} \quad (28)$$

ahol

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \approx 1,20206, \quad (29)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^5} \approx 1,04, \quad (30)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^7} \approx 1,01. \quad (31)$$

Ebből következik, hogy

$$\begin{aligned} G_7(\alpha, c) &= 1 + (6\alpha - 2c) \frac{2\alpha c + c^2}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} + \frac{3}{8} (6\alpha - 2c)[\alpha^4 - (\alpha+c)^4] \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^5} + \\ &+ \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} [(\alpha+c)^6 - \alpha^6] (6\alpha - 2c) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^7}. \end{aligned} \quad (32)$$

A fent említett közelítő képletek segítségével a  $G_7$  függvény értékeit három tizedesjegy pontossággal számítottuk ki a 20-1. táblázatban látható esetekre, amikor  $s/r > 2$ . A táblázat néhány helyén csak egy vonal található. Ez fizikailag megvalósíthatatlan esetet jelent, amikor  $s/r \leq 2$ .

20-1. táblázat

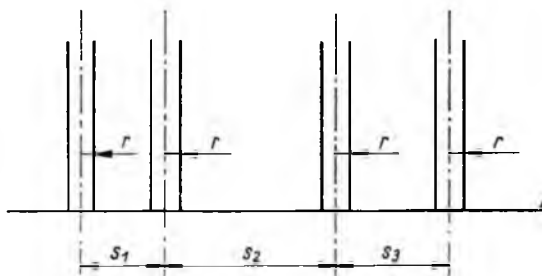
$$G_7 \left( \frac{w}{r}, \frac{w}{s} \right) \text{ értékei}$$

$w/s$	$w/r=0,333$	$w/r=0,666$	$w/r=3,333$	$w/r=6,666$	$w/r=10$	$w/r=\infty$
0,100	19,356	17,510	14,568	14,218	14,118	13,863
0,141	14,794	12,745	10,484	10,166	10,039	9,832
0,200	11,431	9,693	7,611	7,277	7,158	6,931
0,333	7,873	6,600	4,824	4,502	4,390	4,1588
0,500	—	4,948	3,408	3,109	3,004	2,773
1,000	—	—	—	—	2,184	1,504
1,414	—	—	—	—	1,599	1,223
2,000	—	—	—	—	—	1,094
3,333	—	—	—	—	—	1,0228
5,000	—	—	—	—	—	1,007
10,000	—	—	—	—	—	1,00045

Összehasonlításként közöljük a fenti táblázatban az  $r=0$  feltétellel számított  $G_7$  függvényértékeket is, amelyek ott a  $\frac{W}{r} = \infty$  esetnek felelnek meg. Megemlítjük, hogy  $r=0$  esetén (14) képletünk az [1]-ben közölt  $G_7$  függvénybe megy át. Az e pontban közölt módszerek alapján lehetővé válik *L. B. Valdes* eredményeinek ellenőrzése, mivel a szerző a számításhoz használt közelítő módszert nem ismerteti.

### 3. Függelék

**F 1. A fajlagos ellenállásra vonatkozó összefüggés végtelen anyagvastagság, különböző tűtávolság és véges tűvastagság esetén**



20-7. ábra. Négytűs elrendezés azonos tűtávolság és különböző tűvastagságok esetén



A 20-7. ábra és a (7), (8) összefüggések alapján:

$$V_{f2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \frac{1}{\frac{\pi}{2} r + s_1} - \frac{1}{\frac{\pi}{2} r + s_2 + s_3} \right], \quad (\text{F1.1})$$

$$V_{f3} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \frac{1}{\frac{\pi}{2} r + s_1 + s_2} - \frac{1}{\frac{\pi}{2} r + s_3} \right], \quad (\text{F1.2})$$

$$V = V_{f2} - V_{f3}.$$

$$\rho = \frac{2\pi V}{I} \frac{1}{\frac{1}{\frac{\pi}{2} r + s_1} + \frac{1}{\frac{\pi}{2} r + s_3} - \frac{1}{\frac{\pi}{2} r + s_2 + s_3} - \frac{1}{\frac{\pi}{2} r + s_1 + s_2}} \quad (\text{F1.3})$$

**F2. A  $G_7$  korrekciós függvény értéke véges anyagvastagság, azonos tűtávolság és véges tűtávolság esetén**

Látható, hogy ha [1]-et összevetjük (7), (8) képletekkel, lényegében azonosak csak minden olyan képletben, ahol a tűkontaktustól való távolság  $s$  volt, most  $s + \frac{\pi}{2} r$  lesz. Ennek alapján: az olyan  $w$  vastagságú síklemez esetén, amely szigetelő alaplapon fekszik, a rá helyezett tűkontaktusok távolsága azonos  $s$  érték és minden más jelölés az előbbiekkkel azonos.

$$V_{f2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{2} r + s\right)^2 + (2nw)^2}} - \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{2} r + 2s\right)^2 + (2nw)^2}} \right], \quad (\text{F2.1})$$

$$V_{f3} = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{2} r + 2s\right)^2 + (2nw)^2}} - \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{2} r + s\right)^2 + (2nw)^2}} \right].$$

$$V = V_{f2} - V_{f3} =$$

$$= \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \frac{2s}{\frac{\pi^2}{4} r^2 + \frac{3\pi}{2} rs + 2s^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{4}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{2} r + s\right)^2 + (2nw)^2}} - \frac{4}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{2} r + 2s\right)^2 + (2nw)^2}} \right] \right], \quad (\text{F2.2})$$

$$\rho = \frac{2\pi V}{I} \frac{1}{\frac{2s}{\frac{\pi^2}{4} r^2 + \frac{3\pi}{2} rs + 2s^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{4/w}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{2} r + s\right)^2 + (2nw)^2}} - \frac{4/w}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{2} r + 2s\right)^2 + (2nw)^2}} \right]} \quad (\text{F2.3})$$

$$q = \left( 2\pi s + \frac{3\pi^2}{2} r + \frac{\pi^3}{2} \frac{r^2}{s} \right) \frac{V}{I} \times$$

$$\times \frac{1}{1 + \left( \frac{4s}{w} + \frac{3\pi r}{w} + \frac{\pi^2 r^2}{2sw} \right) \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{\pi r}{2w} + \frac{s}{w} \right)^2 + 4n^2}} - \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{\pi r}{2w} + \frac{2s}{w} \right)^2 + 4n^2}} \right]} \quad (\text{F2.4})$$

$$q \approx \frac{\left( 2\pi s + \frac{3\pi^2}{2} r \right) \frac{V}{I}}{1 + \left( \frac{4s}{w} + \frac{3\pi r}{w} \right) \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{\pi r}{2w} + \frac{s}{w} \right)^2 + 4n^2}} - \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{\pi r}{2w} + \frac{2s}{w} \right)^2 + 4n^2}} \right]} =$$

$$= \frac{q_0}{G_7 \left( \frac{r}{w}, \frac{s}{w} \right)}, \quad (\text{F2.5})$$

ahol

$$q_0 = \left( 2\pi s + \frac{3\pi^2}{2} r \right) \frac{V}{I}. \quad (\text{F2.6})$$

A korrekciós függvény tehát:

$$G_7 \left( \frac{r}{w}, \frac{s}{w} \right) = 1 + \left( \frac{4s}{w} + \frac{3\pi r}{w} \right) \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{\pi r}{2w} + \frac{s}{w} \right)^2 + 4n^2}} - \frac{1}{\sqrt{\left( \frac{\pi r}{2w} + \frac{2s}{w} \right)^2 + 4n^2}} \right] \quad (\text{F2.7})$$

### F 3. A Poisson-formula maradéktagjának egy becslése

A műszaki alkalmazások során az  $\sum_{k=0}^N f(k)$  összeget, ahol  $N$  pozitív egész szám, gyakran célszerű a

$$\sum_{k=0}^N f(k) = \frac{f(0) + f(N)}{2} + \int_0^N f(x) dx + 2 \sum_{k=1}^{\infty} f(x) \cos 2k\pi x dx \quad (\text{F3.1})$$

ún. Poisson-formulával meghatározni. Felmerül a kérdés, hogy mekkora hibát követhetünk el, ha a jobb oldalon az összegezést az első ún. természetes számig végezzük el.

Bizonyos feltételek teljesülése esetén erre választ ad az alábbi — *Dobó Andor*-tól származó — tétel. Ha  $N$  pozitív páros egész szám és  $f(x)$  a  $0 \leq x \leq N$  intervallum-

ban háromszor deriválható függvény, s még  $f^{(3)}(x)$  is folytonos, akkor

$$\sum_{k=m+1}^{\infty} \int_0^N f(x) \cos 2k\pi x \, dx = \left[ \frac{1}{24} - \frac{1}{(2\pi)^2} \sum_{k=1}^m \frac{1}{k^2} \right] [f'(N) - f'(0)] + R,$$

ahol  $k = 1, 2, 3 \dots$

$$|R| \cong \frac{A_m}{(2\pi)^3} \int_0^N |f^{(3)}(x)| \, dx. \quad (\text{F3.2})$$

$$A_m = \sum_{k=m+1}^{\infty} \frac{1}{k^3} = 1,20206 - \sum_{k=1}^m \frac{1}{k^3}.$$

*Bizonyítás:* Az Euler—Maclaurin-féle összegképletet tekintve (l. [2] 685. old.).

$$\sum_{k=0}^N f(k) = \frac{f(0)+f(N)}{2} + \int_0^N f(x) \, dx + \frac{1}{12} [f'(N) - f'(0)] + \int_0^N \bar{B}_3(x) f^{(3)}(x) \, dx,$$

ahol

$$\bar{B}_3(x) = \frac{2}{(2\pi)^3} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin 2k\pi x}{k^3} \quad (\text{F3.3})$$

Az (F3.1) és (F3.2) alapján

$$\frac{1}{12} [f'(N) - f'(0)] + \int_0^N \bar{B}_3(x) f^{(3)}(x) \, dx = 2 \sum_{k=1}^m \int_0^N f(x) \cos 2k\pi x \, dx + 2R_m, \quad (\text{F3.4})$$

ahol

$$R_m = \sum_{k=m+1}^{\infty} \int_0^N f(x) \cos 2k\pi x \, dx.$$

Bevezetve a

$$H_m(x) = \frac{2}{(2\pi)^3} \sum_{k=m+1}^{\infty} \frac{\sin 2k\pi x}{k^3}$$

jelölést

$$\bar{B}_3(x) = \frac{2}{(2\pi)^3} \sum_{k=1}^m \frac{\sin 2k\pi x}{k^3} + H_m(x), \quad (\text{F3.5})$$

ahol

$$|H_m(x)| \cong \frac{2}{(2\pi)^3} \sum_{k=m+1}^{\infty} \frac{1}{k^3} = \frac{2A_m}{(2\pi)^3}. \quad (\text{F3.6})$$

A bevezetett jelölés alapján

$$\int_0^N \bar{B}_3(x) f^{(3)}(x) \, dx = \frac{2}{(2\pi)^3} \sum_{k=1}^m \int_0^N \frac{\sin 2k\pi x}{k^3} f^{(3)}(x) \, dx + \int_0^N H_m(x) f^{(3)}(x) \, dx.$$

Parciális integrálással adódik, hogy

$$\begin{aligned} & \frac{2}{(2\pi)^3} \sum_{k=1}^m \int_0^N \frac{\sin 2k\pi x}{k^3} f^{(3)}(x) dx = \\ & = -[f'(N) - f'(0)] \frac{2}{(2\pi)^3} \sum_{k=1}^m \frac{1}{k^2} + 2 \sum_{k=1}^m \int_0^N f(x) \cos 2k\pi x dx. \end{aligned} \quad (\text{F3.7})$$

Az  $|R|$ -re vonatkozó összefüggés az alábbi alakú lesz:

$$\frac{1}{2} \left[ \frac{1}{12} - \frac{2}{(2\pi)^2} \sum_{k=1}^m \frac{1}{k^2} \right] [f'(N) - f'(0)] + \frac{1}{2} \int_0^N H_m(x) f^{(3)}(x) dx = R_m.$$

A  $H_3(x)$ -re vonatkozó becslés folytán

$$|R| = \frac{1}{2} \left| \int_0^N H_m(x) f^{(3)}(x) dx \right| \leq \frac{A_m}{(2\pi)^3} \int_0^N f^{(3)}(x) dx,$$

s ezt kellett bebizonyítani.

#### Megjegyzések

A) Ha  $f^{(3)}(x)$  a  $0 \leq x \leq N$  intervallumban jeltartó, akkor

$$\left| \int_0^N H_m(x) f^{(3)}(x) dx \right| \leq \frac{2A_m}{(2\pi)^3} |f''(N) - f''(0)|.$$

B) A jelzett maradéktag becslések nyilván nem jelent megszorítást, az hogy  $N$  páros. Ha ti.  $N = 2n + 1$  volna, akkor a

$$\sum_{k=0}^{2n+1} f(k) = f(2n+1) + \frac{f(2n) + f(0)}{2} + \int_0^{2n} f(x) dx + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \int_0^{2n} f(x) \cos 2k\pi x dx$$

összefüggéssel számolhatunk. Különbön is  $N = 2n + 1$  esetre hasonló módon adható becslés.

C) Ha  $m$ -et nagyra kell választani, akkor célszerű a

$$\sum_{k=1}^m \frac{1}{k^2} = 2 - \sum_{k=1}^m \frac{1}{k^2(4k^2 - 1)},$$

és

$$\sum_{k=1}^m \frac{1}{k^3} = \frac{5}{4} - \sum_{k=1}^m \frac{2k+1}{4k^4(k+1)^4}$$

összefüggések alapján számolni (l. [3] 49. oldal).

D) A

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^2} = \frac{\pi^2}{6}$$

összefüggés alapján látható, hogy elég nagy  $m$  esetén

$$\left[ \frac{1}{24} - \frac{1}{(2\pi)^2} \sum_{k=1}^m \frac{1}{k^2} \right] \approx 0.$$

#### Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani *dr. Lukács József* igazgató és *Molnár István* fősztályvezető kartársaknak a cikk gondos lektorálásáért.

#### Irodalom

- [1] *Valdes, L. B.*: Resistivity Measurement on Germanium for Transistors. Proceedings of the IRE. Vol. 42. (1954) p. 420—427.
- [2] *Szász P.*: A differenciál- és integrálszámítás elemei. I. Közoktatásügyi Kiadó V. Bp. 1951.
- [3] *Gjunter, N. M.—Kuzmin, R. O.*: Felsőbb matematikai példatár III. Tankönyvkiadó. Bp., 1952.
- [4] *Gröbner, W.—Hofreiter, N.*: Integraltafel II. Springer-Verlag. 1950.
- [5] Таблиці значень функцій Бесселя от мнимого аргумента. An. SZSZSZR. Moszkva—Lenin-grad. 1950.



# 21.

## Az elektromágneses fémalakítás

GÖBL NÁNDOR

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az áram dinamikus hatásának ipari méretű technológiai alkalmazása világviszonylatban tízéves múltra tekint vissza. Az eljárásban rejlő előnyök megismerése érdekében 1966-ban megkezdtek a hazai kísérleteket. A cikk az elektromágneses fémalakítás elvének és néhány alkalmazási területének ismertetésével egyidejűleg a hazai kísérletek jelenlegi helyzetéről ad tájékoztatást.

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛА

*H. Гобл*

#### Резюме

Технологическое применение динамического действия тока в промышленных масштабах в международном отношении имеет 10-ти летнее прошлое. В интересах выявления преимуществ указанного метода в 1966 году нами начаты опытные работы. Наряду с описанием области применения электромагнитной обработки металлов статья дает информацию о положении проводимых отечественных опытов.

### ELEKTROMAGNETISCHE METALLFORMUNG

*N. Göbl*

#### Zusammenfassung

Die im industriellen Ausmass erfolgende technologische Verwendung der dynamischen Wirkung des Stromes kann auf eine Vergangenheit von 10 Jahren zurückblicken. Zum Kennenlernen der in diesem Verfahren gebotenen Vorteile, haben im Jahre 1966 in Ungarn Versuche begonnen. Die Abhandlung gibt zugleich mit der Beschreibung einiger Anwendungsgebiete der elektromagnetischen Metallumformung und ihres Grundsatzes eine Information über den derzeitigen Stand der Versuche in Ungarn.

### ELECTROMAGNETIC METALFORMING

*N. Göbl*

#### Summary

The industrial-dimensionally technological application of the dynamic effect of current looks back to a history of ten years on international level. Native experiments aiming at the recognition of the advantages offered by the process began in 1966. Along with the description of the principle and of some spheres of application of electromagnetic metalforming, the paper informs about the present situation of the native experiments.

## 1. Bevezetés

Az utóbbi két évtizedben az ipari termelés mind minőségileg, mind mennyiségileg rohamléptekben haladt előre. Új iparágak alakultak ki, amelyek a gyártási eljárások fejlődését is eredményezték. Különleges minőségű anyagok megmunkálása vált szükségessé. A hagyományos eljárásokon túlmenően, új, az eddigiektől eltérő alakítási technológiák bevezetésére került sor.

A klasszikus alakítóberendezések munkavégző képességét a mozgó tömegek energiája biztosítja. Az alakítási energia fokozása, vagy a mozgó tömegek, vagy a mozgási sebesség (vagy mindkettő) növelésével érhető el. A nagyobb mozgó tömeg lényegesen nagyobb gépet, alapozást, hajtóenergiát igényel, amely egyúttal nagyobb beruházási költséget is jelent. Ez a körülmény volt az egyik indítéka annak, hogy olyan alakítóeljárásokat fejlesztek ki, amelyekhez a nagyobb alakítási energiát, az alakítási sebességet növelése útján fejtik ki.

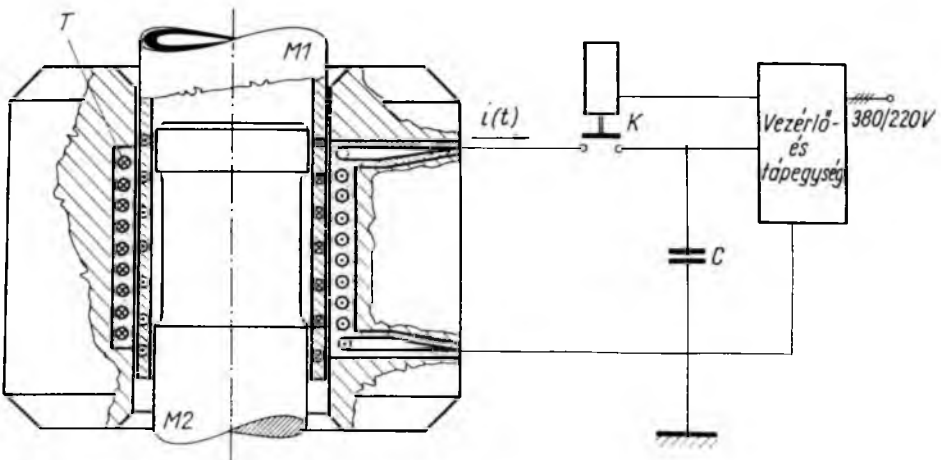
Az alakítás sebességének növelésével olyan minőségű anyagok képlékeny alakítása is lehetővé válik, amelyek a hagyományos berendezésekkel elérhető sebességtartományban (max. 10 m/s) teljesen rideg anyagként viselkednek és maradó alakváltozás nélkül törnek. Tapasztalati tény, hogy ha az alakítási sebesség meghaladja a megmunkálandó fém kritikus alakváltozási sebességét, a szilárdsági tulajdonságok is megváltoznak, az alakítási ellenállás lecsökken, a rideg anyagok is alakíthatók.

A nagy sebességű alakító eljárások közé tartozik az elektromágneses fémalakítás is, amelynek alakítási sebességét adott villamosenergia megfelelően rövid idejű betáplálása határozza meg. Az elektromágneses fémalakítás kis méretű és nagy darabszámú lemez, vagy csőszerű alkatrészek előállítására alkalmazható eredményesen.

Az elektromágneses fémalakítás legfontosabb alkalmazási területei: a villamosipar, a finommechanikai- és műszeripar, a járműipar, közszükségleti, sport- és divatcikkek előállítása, csomagolótechnika stb.

## 2. Az elektromágneses fémalakítás elvi alapjai

Az elektromágneses tér technológiai alkalmazása már a századforduló óta foglal-

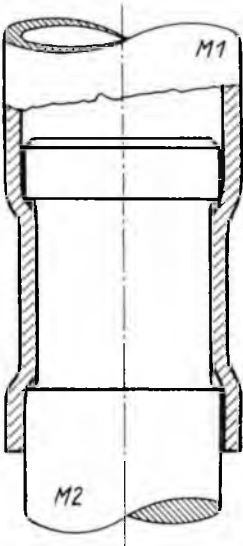


21-1. ábra. Az elektromágneses fémalakítás elve

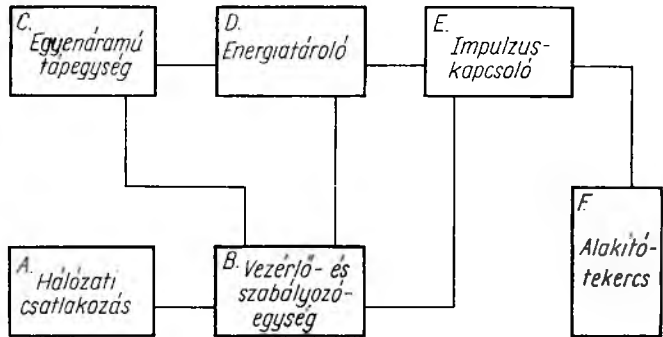


koztatja a kutatókat, de csak kb. 10 évvel ezelőtt sikerült ezt az effektust fémalakításra hatásosan felhasználni. A jelenség lényegét a 21-1. ábra mutatja be, a gyakorlatban előforduló legegyszerűbb szerszám-elrendezésre.

Az alakításhoz szükséges mechanikai energiát a *C* kondenzátorban tároljuk villamosenergia formájában. Az energiaátalakítás a *T* munkatekercsben megy végbe, a tekercs és az *M1* munkadarab között, az  $i(t)$  áramimpulzus hatására kialakuló mágneses tér közvetítésével. A fluxusváltozás az *M1* munkadarabban, mint egy rövidrezárt menetben, áramot hoz létre. A két mágneses tér kölcsönhatása következtében a tekercs és a munkadarab között az alkotó mentén a geometriától, a mágneses és villamos paramétereiktől függő eloszlásban, de körkörösén, egyenletes mechanikai erőhatás lép fel. Az elrendezés fizikai paramétereit által meghatározott sebességű alakítási folyamat a 21-2. ábra szerinti munkadarabot eredményezi.



21-2. ábra. A 21-1. ábra szerinti *M1* és *M2* munkadarabok alakítás után



21-3. ábra. Az elektromágneses fémalakító berendezés blokkvázlata

Az elektromágneses fémalakítással csak jó villamos vezetőképességű anyagok munkálthatók meg. Olyan anyagot, amelynek vezetőképessége a réz vezetőképességének 10%-át nem éri el, jól vezető bevonattal ellátva lehet megmunkálásra alkalmassá tenni.

A hagyományos sajtoláshoz hasonlítva az eljárást, az alakító tekercs és az ellen-darab a szerszámot, az alakító berendezés többi része a sajtót reprezentálja. Az elektromágneses fémalakító berendezés blokkvázlata a 21-3. ábrán látható.

A berendezés egyes részei, rendeltetésük és tájékoztató jellegű adataik a 21-3. ábra jelöléseit figyelembe véve a következők.

- A hálózati csatlakozó és biztonságtechnikai egység az elektromágneses fémalakító berendezés 220 vagy 380 V-os váltakozófeszültségű ellátását biztosítja, a gépnagyságtól függően, 0,5...12 kW teljesítményfelvétellel. Ebben az egységben található az érintésvédelmi szempontból igen fontos védőelemek, valamint a különböző meghibásodásokat jellemző elemek is.
- A vezérlő- és szabályozóegység a kondenzátortelep töltőfeszültségének beállíthatóságát biztosítja, a töltési folyamatot ellenőrzi és az impulzuskapcsolót vezérli.
- Az egyenáramú tápegység a kondenzátortelep 2...30 kV egyenfeszültségre töltését teszi lehetővé, a kívánt munkaütem szerint.

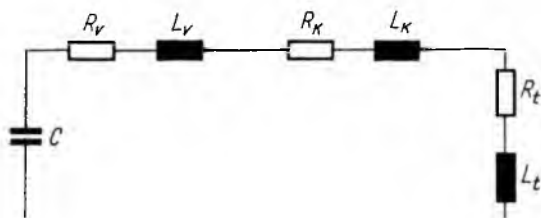
- d) Az energiatároló kondenzátortelep, speciális impulzuskondenzátorokból összeállított egység, 20...300  $\mu\text{F}$  összkapacitással.
- e) Az impulzuskapcsoló a kondenzátortelepből felhalmozott villamosenergiát szabadítja fel adott időpontban, kb. 20...300 kA csúcsertékű áramimpulzus bekapcsolásával.
- f) Az alakítótekerces a technológiai célkitűzésnek megfelelő elrendezéssel és kivitelű. Henger alakú tekercs csövek, csőszerű alkatrészek tágíthatók, szűkíthetők, aszerint, hogy a munkadarabot a hengeres tekercs belsejében, vagy a tekercs körül helyezzük el. Síkbeli, spiráltekercsek lemezalkatrészek sajtolására, domborítására, hajlítására, kivágására használhatók.

A rendelkezésre álló külföldi és hazai adatok szerint az eddigi berendezésekben a tárolt energia 2...70 kW között változik.

### 3. Az elektromágneses fémalakítás néhány villamos és alakítástechnológiai kérdése

Az előzőekben már említett alapvető fizikai képet és az elvi vázlatot szem előtt tartva láthatjuk, hogy az alakító gép villamosan két főrészből áll: az impulzusingenerátorból és az alakítótekercesből. Az impulzusingenerátor kimenő köre és az alakítótekerces (munkatekerces) — gyakorlati szempontból jó közelítéssel — egy soros  $R-L-C$  kört alkot, az ún. munkaáramkört képezi, amelynek helyettesítő vázlatát a 21-4. ábra mutatja be. Az így ismertnek feltételezett áramkörre az

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \int \frac{1}{C} i dt = U$$



differenciálegyenletet írhatjuk fel. A gyakorlat számára a differenciálegyenletet a csillapított lengés esetére oldjuk meg, azaz az áram időbeni változása

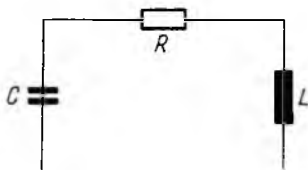
$$i(t) = \frac{U}{\omega L} e^{-\delta t} \sin \omega t,$$

ahol  $U$  a kondenzátor feszültsége;

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$  a körfrekvencia;

$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  az áramkör sajátfrekvenciája;

$\delta = \frac{R}{2L}$  a csillapítási tényező;



21-4. ábra. A munkaáramkör helyettesítő vázlata

$C$  a kondenzátortelep kapacitása;  $R_V$  a vezetékrendszer konduktív ellenállása;  $L_V$  a vezetékrendszer induktivitása;  $R_K$  a kapcsolóelem konduktív ellenállása;  $L_K$  a kapcsolóelem induktivitása;  $R_t$  az alakítótekerces konduktív ellenállása;  $L_t$  az alakítótekerces induktivitása;  $R = R_V + R_K + R_t$ ,  $L = L_V + L_K + L_t$ .

- C a kondenzátortelemek kapacitása;
- R az áramkör ohmos ellenállása;
- L az áramkör induktivitása.

Az alakítóberendezés munkaáramának ismeretében (21-5. ábra) meghatározható a tekercsben kialakuló indukció nagysága, amelyből a munkadarabra ható nyomóerő számítható. Az eddigiek során az alakítótekercs és a munkadarab geometriáját nem említettük, az indukció számításakor azonban már ezt is figyelembe kell vennünk. Az elrendezések sokfélesége és bonyolultsága azonban nem teszi lehetővé, hogy egyszerű behelyettesítésre alkalmas képletet adjunk.

Az alakítótekercsben kialakuló *indukció* értéke a

$$B(t) = K_1 i(t)$$

egyenlettel adható meg, ahol  $K_1$  az elrendezéstől és a permeabilitástól függő tényező.

Az indukció ismeretében a *munkadarab felületegységére ható erő* a

$$p(t) = K_2 B^2(t)$$

összefüggéssel írható fel, amelyben  $K_2$  az elrendezéstől és a permeabilitástól függő állandó.

Az *alakítási sebesség* a

$$v = K_3 B(t)$$

képlettel határozható meg, ahol  $K_3$  értéke az elrendezés fizikai paramétereitől függ. Az elektromágneses fémalakítással 20...35 kp/mm<sup>2</sup> fajlagos alakító erő különösebb nehézségek nélkül elérhető. Az alakváltozási sebesség 100 m/s felett van, így a megmunkálandó anyag alakítási szilárdsága csökken. Ez a körülmény biztosítja a képlékeny alakítás megvalósítását.

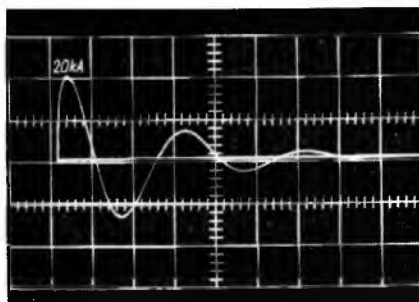
Az alakítástechnológiai szempontból igen fontos  $p(t)$  fajlagos felületi nyomás ismerete mellett igen lényeges a felhasznált villamosenergia mennyisége. Az impulzusgenerátorban tárolt energia az

$$E = \frac{1}{2} CU^2$$

képlettel számítható ki. Ennek az energiának egy része alakul át technológiailag hasznos munkává. Az energiaátalakítás hatásfoka több tényezőtől függ, részletezésük közelítő számítással oldható meg.

Az elektromágneses alakítóberendezés, mint szerszámgép, egy adott energiaigényű és munkaütemű termelési folyamat során

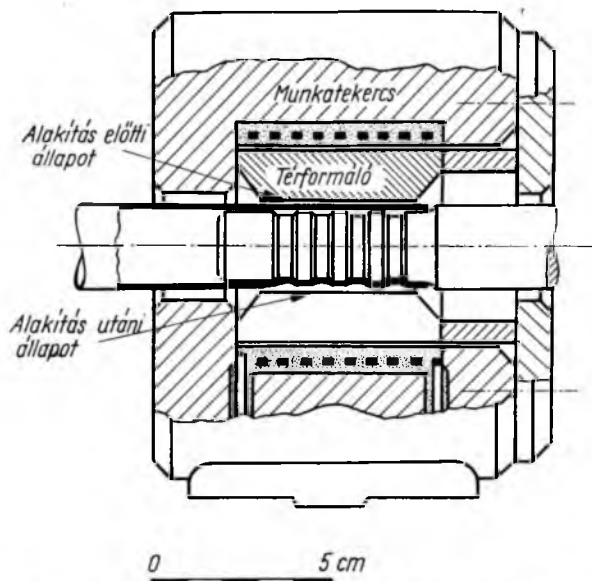
$$N = \frac{E}{t_c}$$



21-5. ábra. A munkaáramkörben folyó áram időbeni változása egy adott alakítási művelet esetén  
időlépték: 50μs/cm; amplitúdólépték: 10 kA/cm.

névleges teljesítményű gépnek felel meg. A képletben szereplő  $t_c$  idő a munkaciklus ideje.

A technológiai tervezés során különleges feladat az alakítószerszám méretezése. Ez kettős problémát jelent: egyrészt az alakítótekerceszt kell villamos szempontból helyesen méretezni, másrészt a tekercs és a befoglaló elemek, valamint a matrica (ellendarab) megfelelő szilárdságát, ill. tömegét kell biztosítani.



21-6. ábra. Elektromágneses fémalakítás térformálással

Gyakran előfordul, hogy a szükséges indukció előállításához az alakítandó felülethez képest lényegesen nagyobb méretű tekercs szükséges. Ebben az esetben a mágneses tér lokális koncentrációját a tekercs és a munkadarab közé iktatott ún. térformálással vaósíthatjuk meg, pl. a 21-6. ábra szerint.

#### 4. Az elektromágneses fémalakítás főbb jellemzői és alkalmazási területe

A tárgyalt eljárás főbb jellemzői a következők:

- A mágneses tér a munkadarabban áramot hoz létre. A munkadarab, mint árammal táplált vezető, a tekercs terében, a Lenz-törvény alapján, nagy sebességgel elmozdul.
- A besajtoló és tágitó műveletek folyamán a munkadarabra nem hatnak csavaróerők, mint pl. hengerlés, vagy fémnyomás során.
- Az alakításhoz kenőanyagot nem kell használni, így a munkadarab szennyeződésmentes.
- A szerelési műveletek helyett fém és nem fém alkatrészek megbízható mechanikus kötését lehet létrehozni.
- Az alakítóberendezésben nincsenek mozgó alkatrészek.

- A villamos működtetésű berendezés teljesítményadatait mindig az adott technológiai művelet energiaszükséglete szerint állíthatjuk be.
- A berendezés könnyen automatizálható, jól illeszthető a különböző gyártó- és szerelősorokba.
- Az alakitótekercek (munkatekercek) adott mérettartományon belül univerzálisak, az egyes alkatrészekhez való illesztésük térformálókkal megoldható.

Az elektromágneses fémalakításnak várhatóan egyik legjelentősebb alkalmazási területe a *villamosiparban* lesz, mivel nagyfeszültségű biztosítók, villamos szerelési anyagok, különböző fém és nem fém alkatrészek összeszerelése végezhető el ezen a módon. Az égetőkemencék nagy méretszórással kikerülő keramikus alkatrészek tűréshatárai áthidalhatók, ha a csatlakozóelemeket ezzel az eljárással erősítjük fel. Különleges ötvözetből készült cső- és lemezidomok alakítása vákuumban vagy védőatmoszférában is megoldható.

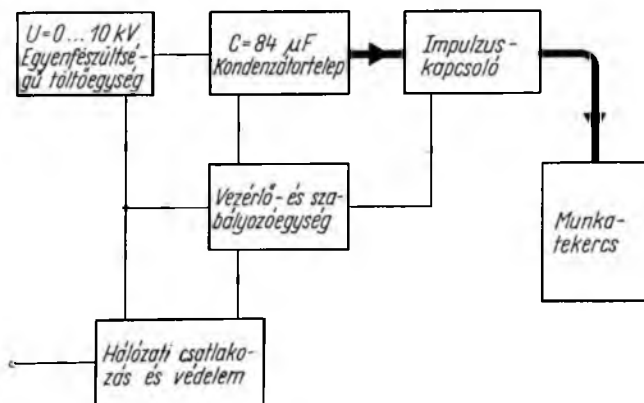
*Műszeripari* vonatkozásban a tárgyalt eljárás számos automatikai elem, kis-méretű villamos forgógépek, transzformátorok szerelésére alkalmas. Elektromágneses fémalakítással biztosíthatók vékony lemezek, membránok előírt szilárdsági jellemzői.

A *járműiparban* is számos alkalmazási lehetősége van az eljárásnak. Különböző fém, műanyag, gumi stb. armatúrák szerelése, karosszéria-elemek stb. kialakítása jöhet szóba.

A *közszükségleti cikkek*, sport- és túrafelszerelések gyártásában a tárgyalt technológiai eljárással igen változatos műanyag és fémkombinációk alakíthatók ki. Az igények és a divat gyors változásaihoz való alkalmazkodást a berendezés és a szerszámok sokoldalú felhasználhatósága megkönnyíti. Adott esetben különleges csomagolástechnikai problémák is megoldhatók vele.

A felsorolt alkalmazási területek, ill. példák korántsem tekinthetők teljesnek. Említésükkel csak az elektromágneses fémalakítás sokoldalú felhasználását kívántuk hangsúlyozni.

## 5. A hazai elektromágneses fémalakítási kísérletek



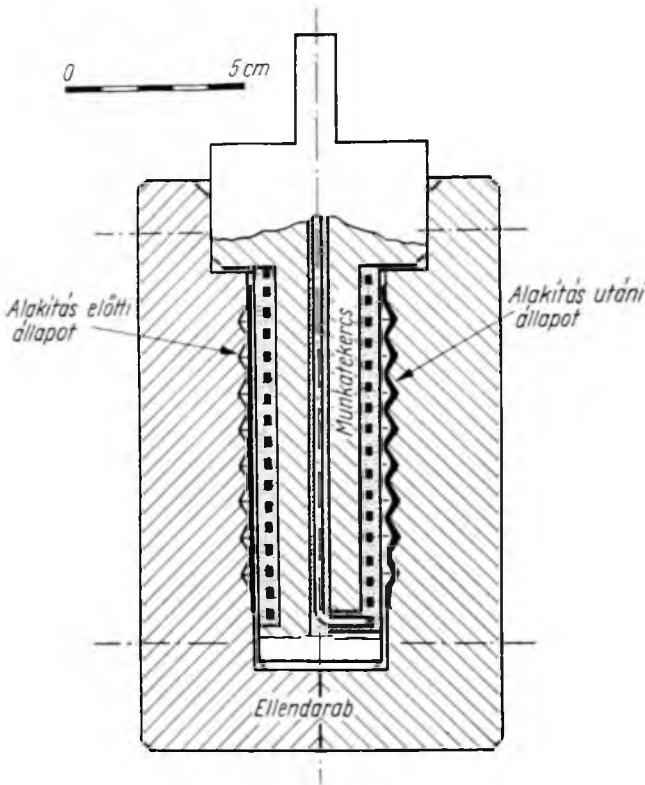
21-7. ábra. Az első VKI-ben készült 4,2 kW-s névleges energiatárolású elektromágneses fémalakítógép blokkvázlata



21-8. ábra. Néhány, elektromágneses eljárással készített alkatrész



21-9. ábra. Elektromágneses eljárással bordázott csodarab

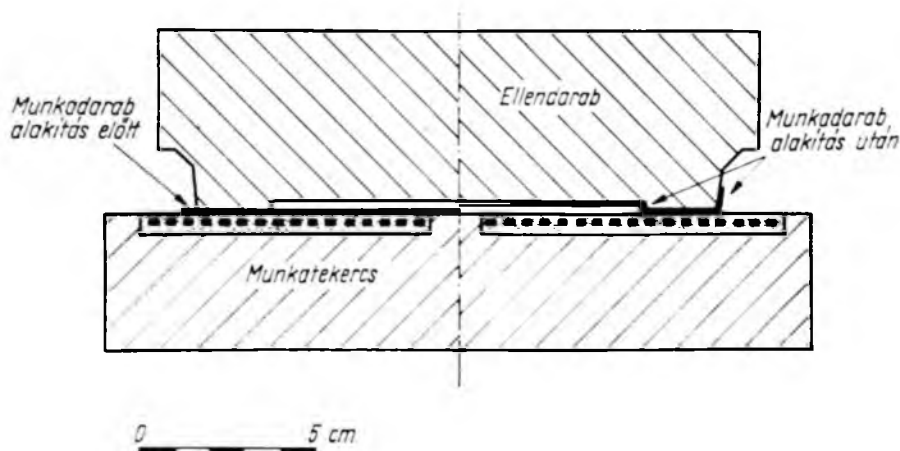


21-10. ábra. Bordázószerzőm vázlatja

A Villamosipari Kutató Intézet Félvezető Laboratóriumában 1966-ban kezdődött meg az elektromágneses fémalakítással kapcsolatos kísérleti munka. A munka első fázisában egy kísérleti berendezés készült, amelynek blokkvázlatát a 21-7. ábra mutatja be. A kísérletek során számos fémalakítási műveletet végeztünk (21-8. ábra).

1967-ben a Gépipari Technológiai Intézet bekapcsolódott a kísérleti munkába és így az elektromágneses fémalakításnak — mint technológiai folyamatnak — az alkalmazása is megkezdődhetett. A technológiailag érett alkalmazások közül kettőt mutatunk be a lehetőségek illusztrálására.

Cső alakú félgyártmány felhasználásával készült a 21-9. ábrán látható bordás alkatrész alakítás előtti és utáni állapotban (anyaga: Al 99,5, S=0,5). A szerszám vázlatát a 21-10. ábra szemlélteti.



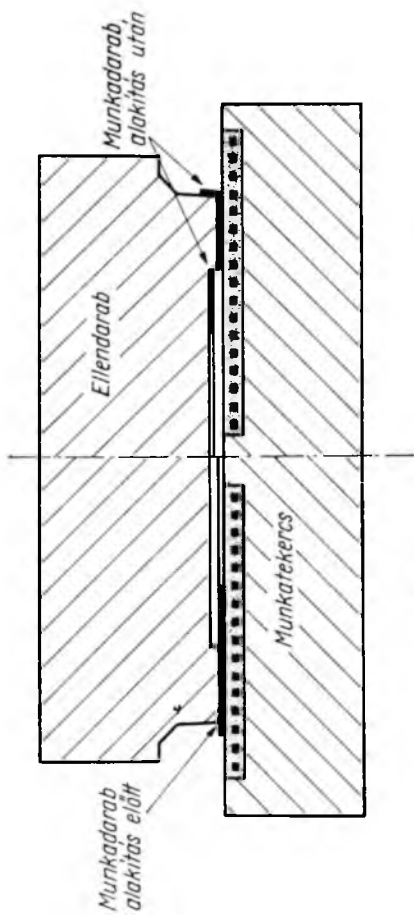
21-11. ábra. Tartólemez-készítés szerszámelrendezése



21-12. ábra. Tartólemez

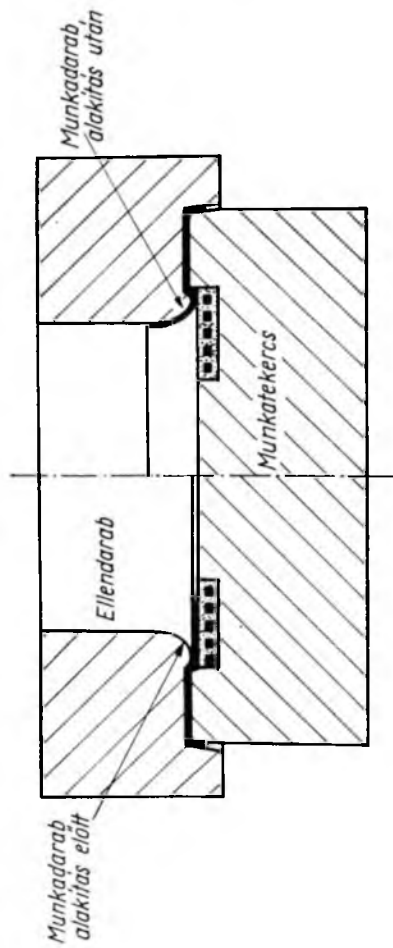
Az elektromágneses fémalakítás komplex felhasználását egy ventilátor-járókerék gyártásának rövid ismertetésével kívánjuk bemutatni: A gyártmány három részből áll:

- tartólemez,
- a beömlést biztosító tárcsa,
- lapátsor (36 műanyag elem).



21-14. ábra. Szívóoldali lemez az első alakítási művelet után

21-13. ábra. A szívóoldali lemez készítésének első műveleti szerzsáma



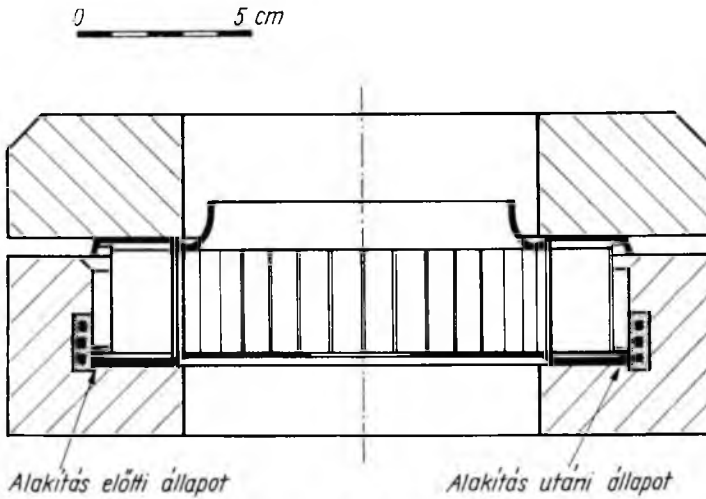
21-15. ábra. A szívóoldali lemez készítésének második műveleti szerzsáma



21-16. ábra. A szívóoldali lemez fényképe



A lapátsor műanyag elemeit készen kaptuk, így ez nem okozott alakítástechnológiai problémát. A tartólemezt 155/30 mm átmérőjű 0,6 mm vastag Al 99,5 anyagból állítottuk elő, a 21-11. ábrán bemutatott szerszámmal. A kész tartólemez a 21-12. ábrán látható. A beömlést biztosító tárcsát 155/71 mm átmérőjű 0,6 mm vastag Al 99,5 anyagból két műveletben készítettük el. A kiinduló lemezt először a 21-13. ábra szerinti szerszámmal alakítottuk a 21-14. ábrán látható alakúra. A 21-15. ábra a második alakítási művelet szerszámát, a 21-16. ábra pedig az elkészített szívóoldali lemezt mutatja be.



21-17. ábra. A peremző szerszám elrendezése



21-18. ábra. A kész ventillátor-járókerék

A tartólemez és a szívóoldali lemez a 36 db szegmensből összeállított műanyag lapátsort fogja össze. A szerelési műveletet a 17. ábra ún. peremzőszerszámával hajtottuk végre (a szükséges energia 2...3 kW). A vázolt eljárással készült ventillátor-járókerék a 21-18. ábrán látható.

## 6. Összefoglalás

Az elektromágneses fémalakítás a nagy sebességű alakítások közül a legújabb eljárás. Dinamikus fejlődését világszerte számos üzemérett technológia jelzi. Napjainkban jelentős erőfeszítéseket tesznek mind a technológia, mind az alakítóberendezés továbbfejlesztésére.

Az elektromágneses fémalakítás a sorozat- és tömeggyártásban nagy jelentőségű, de egyedi feladatok megoldására is eredményes. A bemutatott eljárással számos hagyományos fémmegmunkálási problémát lehet gazdaságosabban megoldani.

Az elektromágneses fémalakítási eljárás hazai szakkörökben való szélesebb körű megismerése nagy lehetőségeket biztosíthat a konstruktőröknek, és az érdekelt vállalatoknak egyaránt.

# 22.

## Mérési összeállítások vezérelt diódák kikapcsolási idejének mérésére\*

*PÁLFY MIKLÓS*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk ismerteti a VKI Félvezető Főosztályán kifejlesztett kikapcsolási idő mérési összeállításokat. Az első energiaigényes, de egyszerűbb összeállítás után részletesen ismertet egy modern impulzustechnikai módszereket felhasználó kapcsolást. A kapcsolás alapján elkészült berendezés  $-40\dots+125\text{ }^{\circ}\text{C}$  p-n átmenet hőmérséklet tartományban 5...250 A-es tirisztorok névleges áramszint melletti kikapcsolási idő mérését teszi lehetővé.

### СХЕМЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ДИОДОВ

*М. Палфи*

#### Резюме

Статья дает описание схем, разработанных Лабораторией Полупроводников VKI, для измерения времени восстановления управляемых диодов. После описания более простой схемы с высоким потреблением энергии дается описание схемы, использующей современные методы импульсной техники. Оборудование, разработанное на основании указанной схемы, позволяет производить измерение времени восстановления при номинальном токе тиристоров 5...250 а в диапазоне температур перехода  $-40\dots+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### MESSANORDNUNGEN ZUR MESSUNG DER FREIWERDEZEIT VON GESTEUERTEN DIODEN

*M. Pálfi*

#### Zusammenfassung

Die Abhandlung beschreibt die im Halbleiterlaboratorium des Forschungsinstitutes der Elektroindustrie VKI entwickelten Messanordnungen zur Messung der Freierzeit von gesteuerten Dioden. Nach einer einfacheren jedoch ziemlich energieaufwendigen Zusammenstellung werden die die modernsten impulstechnischen Methoden benutzenden Schaltungen ausführlich beschrieben.

Die auf Grund dieser Schaltung fertiggestellte Einrichtung ermöglicht in einem p-h-Übergangs-Temperaturbereich von  $-40\dots+125\text{ }^{\circ}\text{C}$  die Freierzeit von 5...250 A Thyristoren bei Nennstrompegel.

\* A fenti cikk az 1967. július 3...8 között megtartott varsói IMEKO IV. kongresszusra készült előadás átdolgozott formája. A kongresszuson az előadás nem hangzott el.

## MEASURING SET-UPS FOR MEASURING THE TURN OFF TIME OF CONTROLLED DIODES

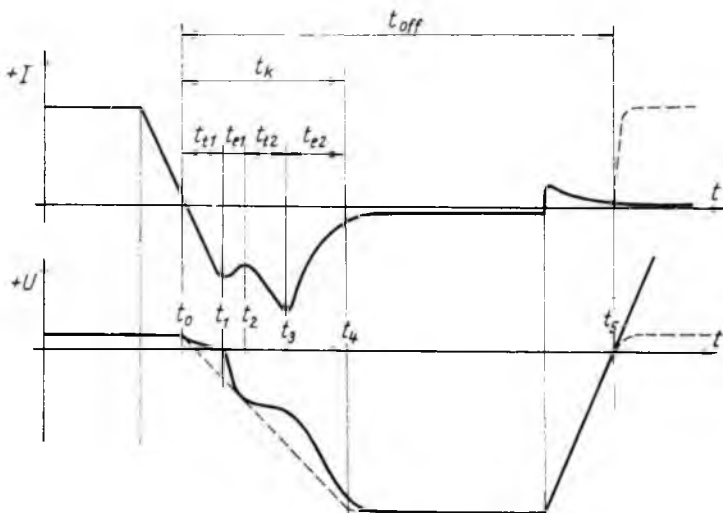
M. Palfy

### Summary

The paper describes the measuring set-ups developed for the measurement of the turn off times developed by the Semiconductor Laboratory of the Research Institute of the Electrical Industry. Following the first more simple set-up of higher power demand, there is described a circuit using up-to-date pulse technique methods in detail.

The equipment designed in this circuit enables the measurement of the turn off time of 5...250 A thyristors at the rated current level, within a temperature range of  $-40...+125$  centigrades of the p-n junction.

A vezérelt diódák egyik legfontosabb dinamikus paramétere a szabaddáválási idő. Mint ismeretes a tirisztor — hasonlóan a tirátronhoz — ha begyújtott állapotba kerül, ezt csak úgy lehet megszüntetni, ha az áramot az ún. tartóáram értéke alá csökkentjük, egy bizonyos ideig ott tartjuk és csak utána adunk rá ismét pozitív feszültséget. A vezérelt dióda rétegeiben a töltéshordozók kiürülése azonban gyorsabb, ha ellenkező irányú áramot bocsátunk át rajta egy meghatározott ideig (vagyis az anódot negatív, a katódot pozitív potenciálra helyezük). Egy ilyen átkapcsolás feszültség- és áramhullámának alakját a 22-1. ábrán láthatjuk.



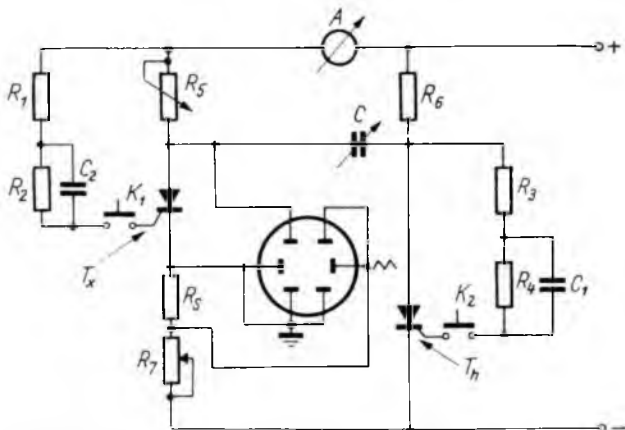
22-1. ábra. A tirisztoron létrejövő feszültségés és az átfolyó áram időbeni változása a kikapcsolási folyamat alatt

Az ábrán jól látható, hogy a tirisztor szabaddáválási vagy kikapcsolási idejének ( $t_{off}$ ) azt az időt nevezzük, ami az áram nulla-átmenetétől a visszatérő pozitív feszültség nulla-átmenetéig tart. Az ábrán látható görbe alakja az egyes rétegekben lejátszódó fizikai folyamatokra ad felvilágosítást, ami a tirisztor technológiai fejlesztése szempontjából is nagyon fontossá teszi a mérést.

A kikapcsolási idő értéke több paramétertől függ, éspedig:

- az elem alapanyagát alkotó szilícium egykristály fizikai paramétereitől és technológiai felépítésétől;
- a kikapcsolást megelőző, átfolyó nyitóáram erősségétől;
- az ellenkező irányban folyó áram erősségétől és átkapcsolási meredekségétől;
- a kikapcsoló negatív irányú feszültség nagyságától;
- a visszatérő pozitív feszültség nagyságától és meredekségétől, és
- végül a pn-átmenetek hőmérsékletétől.

Ahhoz, hogy összehasonlítható mérési eredményeket kapjunk, szükséges, hogy a fenti paramétereket rögzítsük és mérőberendezéseinket ennek megfelelően alakítsuk ki.



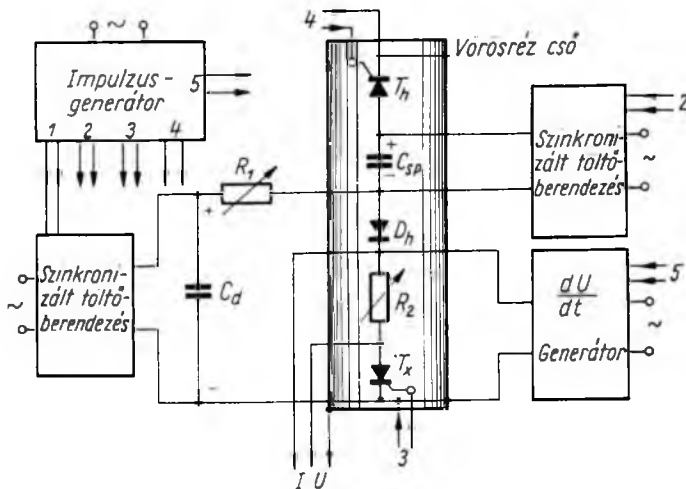
22-2. ábra. Elrendezés a kikapcsolási idő méréséhez

Az egyik legegyszerűbben felépíthető kapcsolás a kikapcsolási idő mérésére, a 22-2. ábrán látható [1]. A vizsgálandó tirisztort ( $T_x$ ) a  $K_1$  kapcsoló segítségével bekapcsoljuk. Az ( $A$ ) ampermérőn ( $R_5 R_7$  ellenállásokkal) beállítható a kikapcsolást megelőző névleges nyitóirányú egyenáram értéke. A  $C$  kondenzátor az  $R_6$  ellenálláson keresztül feltöltődik, az  $R_5$  ellenálláson a bekapcsolás után létrejövő feszültségre.  $K_2$  kapcsoló lenyomásakor, a segéd-tirisztor ( $T_n$ ) begyűjt, és az előzőleg feltöltött változtatható kapacitású  $C$  kondenzátort az  $R_7$  és  $R_8$  ellenállásokon keresztül rásüti a vizsgálandó ( $T_x$ ) tirisztorra [2].

Amikor a  $T_x$  tirisztor két külső pn-átmenetében a töltéshordozók kiürülnek, a negatív irányú áram gyakorlatilag megszűnik (a 22-1. ábrán  $t_x$ -val jelölt időszak). Így a  $C$  kondenzátor az  $R_5$  ellenálláson keresztül veszi el töltését és töltődik át. Ha a mérendő ( $T_x$ ) vezérelt dióda sarkán levő visszatérő feszültség korán válik pozitívvá, akkor a tirisztor újból begyűjt. Mivel az  $R_6$  ellenállást úgy választottuk meg, hogy a  $C$  kondenzátor kisütése után a  $T_n$  segéd-tirisztor ne maradhasson begyűjtva, a kikapcsolási folyamat  $K_2$  benyomásával újból indítható, ha a  $C$  kondenzátor  $R_6$  ellenálláson keresztül újból feltöltődött.  $C$  értékét addig kell változtatni, amíg a kikapcsolási határhelyzet elő nem áll és ekkor az oszcilloszkóp ernyőjén le kell olvasni a 22-1. ábrán bejelölt ( $t_{off}$ ) kikapcsolási idő értékét. A jel periodikussá tétele érdekében a segéd-tirisztor gyűjtőköre egy impulzusgenerátorral helyettesíthető, aminek az  $R_6 C$  időállandónál lényegesen nagyobb periódusidejűnek kell lennie.

A kikapcsolási áram- és feszültségjel alakját oszcilloszkópon figyelhetjük meg az  $R_5$  ellenállásra, ill. a  $T_x$  tirisztorra csatlakozva. A mérési módszer egyedüli előnye az egyszerűség. Hátránya azonban, hogy

- nagyáramú tirisztorok mérése energiaigényes,
- $R_5$  és  $R_7$  ellenállások ebből adódóan nagy teljesítményűek,
- $C$  változtatásával a visszatérő feszültség meredeksége változik,
- hosszú kikapcsolási idők mérésekor a  $C$  kapacitást nagy értékre kell beállítani, így az ismétlés frekvenciáját nagyon le kell csökkenteni, ami az oszcilloszkópon a kiértékelést nehezíti, és
- végül talán az egyik legnagyobb hátrány, hogy a kikapcsolási időhöz tartozó pn-átmenethőmérséklet ( $T_{pn}$ ) nehezen határozható meg pontosan.



22-3. ábra. Elrendezés impulzussal történő kikapcsolás idejének méréséhez

Ezeket a hátrányokat hivatott kiküszöbölni a 22-3. ábrán látható mérési összeállítás [3]. A készülék a következő önálló egységekre tagozódik:

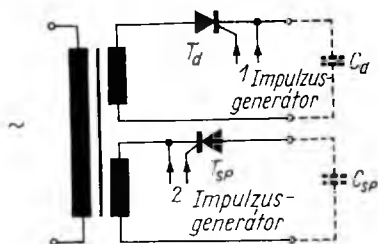
- Vörösréz csőrendszerben szimmetrikusan elhelyezett mérendő  $T_x$  tirisztor és oltóköre;
- szinkronizált töltőberendezések;
- $dU/dt$  generátor;
- impulzusgenerátor.

A 22-3. ábrán látható mérési elrendezés működése sorrendben a következő. Az 1 és 2 impulzusok hatására a  $C_d$  és a  $C_{sp}$  kondenzátorok feltöltött állapotba kerülnek. A 3 impulzus begyűjtja a  $T_x$  mérendő tirisztorra és  $R_1$ ,  $R_2$  ellenállással beállított áramerősséggel a  $C_d$  kondenzátor kezd kisülni. A kondenzátor 200  $\mu s$ -ig nyitóirányú áramot hajt át a  $T_x$  mérendő tirisztoron. Ezalatt a  $T_x$  tirisztoron a bekapcsolási tranziensek biztosan lejátszódnak — az áramvezetés a tirisztor egész felületére kiterjed — és így a tirisztor pn-átmeneteiben létrejövő töltéshordozóeloszlást állandósult állapotnak lehet tekinteni. Ezután a 4 impulzus a  $T_h$  segéd-tirisztorra begyűjtja és a  $T_x$  tirisztoron ellenkező irányú oltóáramot bocsát át. Az oltóáram nagyságát  $R_2$  ellenállással tudjuk szabályozni. A  $D_h$  diódnál és a  $T_x$  tirisztoron

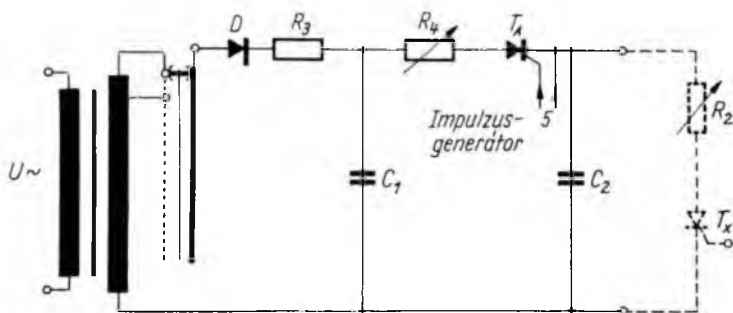
átfolyó oltóáram a rétegekben levő töltéshordozókat kiüríti és így mind a  $D_h$  dióda, mind a  $T_x$  tirisztor a további oltóáram átfolyását megakadályozzák.

A pozitív zárófeszültséget azonban ekkor még nem lehet ráadni a  $T_x$  tirisztorra, mert a középső pn-átmenetében még töltéshordozók vannak. Csak ha ezek elhalása után indítjuk az 5 impulzussal a  $dU/dt$  generátort, akkor nem gyűjt vissza a  $T_x$  tirisztor. A mérés során éppen ezt a határesetet kell vizsgálni. A  $D_h$  dióda éppen ekkor játszik szerepet a készülék működésében, mert a  $dU/dt$  generátor növekvő pozitív feszültsége hatására a  $T_x$  tirisztor leválasztja a külső áramkörrel. A kikapcsolási jelenség áram-, ill. feszültségváltozását kétsugaras oszcilloszkóp segítségével az  $R_2$  ellenállásra, ill. a  $T_x$  tirisztorra csatlakoztatva figyelhetjük meg.

A berendezés fontos egysége a szinkronizált töltőberendezés, amely a  $C_d$  és  $C_{sp}$  kondenzátorok gyors feltöltését biztosítja, ugyanakkor leválasztja őket a mérés tartamára a hálózatról és így az utántöltődést megakadályozza. A 22-4. ábrán látható a töltőberendezés egyszerűsített kapcsolása, amelyen látható, hogy a megfelelő időpillanatban érkező pozitív 1 és 2 impulzus a  $T_d$  és  $T_{sp}$  vezérelt diódákat begyűjti és így a  $C_d$ , ill. a  $C_{sp}$  kondenzátorokat a félperiódus csúcshőfeszültségére tölti, majd ezután a töltőfeszültség csökkenése miatt — mivel ez szinuszos — a tirisztorok kikapcsolnak.



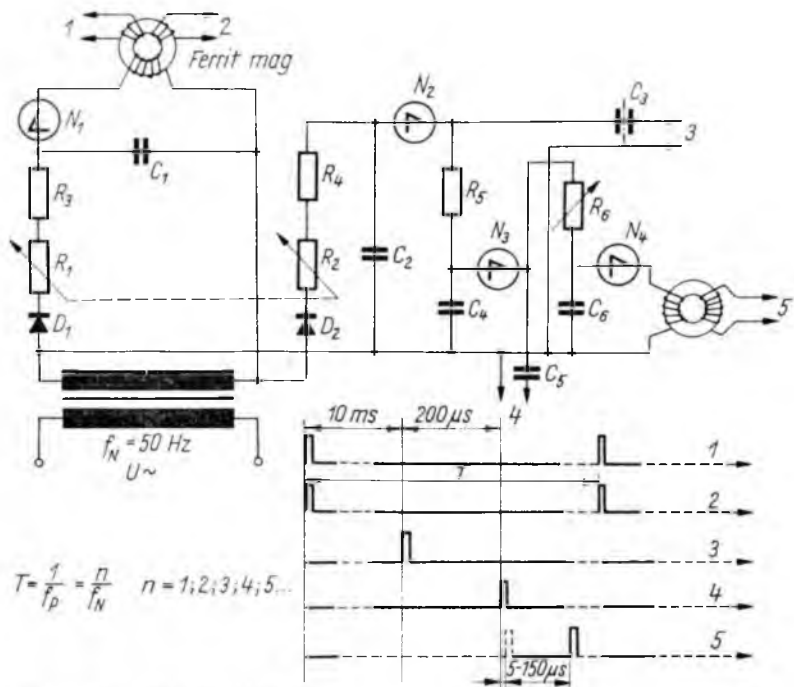
22-4. ábra. Szinkronizált töltőberendezés



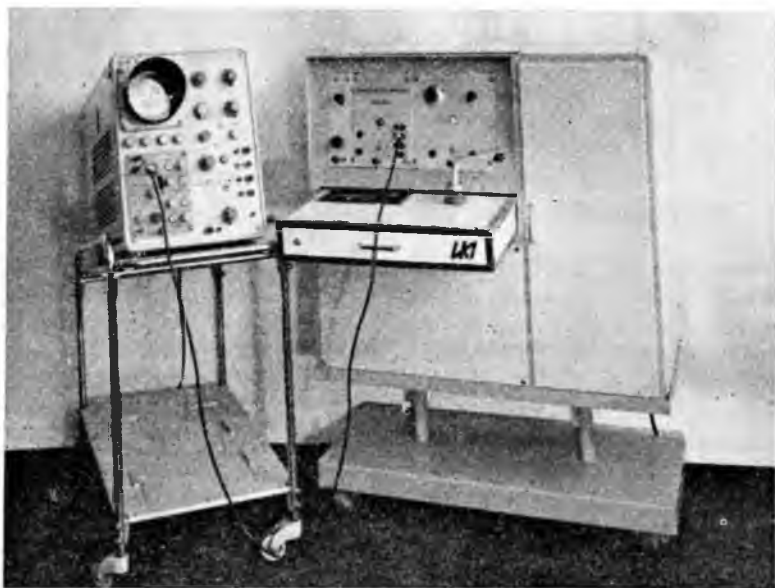
22-5. ábra.  $dU/dt$ -generátor

A 22-5. ábrán látható a definiált feszültségmeredekséggel növekvő pozitív zárófeszültséget előállító egység. Ez többmegcsapolásos transzformátor megfelelő szekunder feszültségét egy átkapcsolóval kiválasztva, a  $C_1$  kondenzátor a félszínusz alakú feszültség csúcshőfeszültségére feltöltődik. Az 5 pontokon beadott pozitív impulzus hatására  $T_A$  vezérelt dióda begyűjt és a  $C_2$  kondenzátort a szabályozható  $R_4$  ellenálláson keresztül feltölti. A  $C_2$  kondenzátor a  $T_x$  tirisztorra van kapcsolva. A  $T_x$  tirisztoron a transzformátor szekunder feszültségétől, az  $R_4$  ellenállástól és a  $C_2$  kondenzátortól függő meghatározott időállandójú és végértékű pozitív növekvő feszültség jelenik meg. A felfutás „ $\tau$ ” időállandóját közvetlenül a kalibrált  $R_4$  lineáris potenciométer mutatja. A berendezés szíve a 22-6. ábrán látható impulzusgenerátor, amellyel az egyes fokozatokat vezéreljük.

Mint látható, az impulzusokat négyrétegű diódákkal állítjuk elő. Az ábrán látható  $C_1$  és  $C_2$  kondenzátort félszínusz alakú feszültséggel töltjük az  $R_1$ ,  $R_3$ , ill.



22-6. ábra. Impulzusgenerátor



22-7. ábra. A VKI-ben készült mérőberendezés a kikapcsolási idő méréséhez



$R_2, R_4$  ellenállásokon keresztül. Így a kondenzátorok a négyrétegű diódák billenő-feszültségét az  $R_1, R_2$  potenciométerek állásától függően 1, 2, 3, ...,  $n$  töltőperiódus után érik el. Ez definiálja a berendezés mérési folyamatának ismétlődési frekvenciáját, ami így maga a hálózati frekvencia, annak fele, harmada, vagy  $n$ -ed része lesz. Az impulzusok további menetét a  $C_2$  kondenzátorral való áttöltődésekkel tudjuk beállítani.

Az  $R_6$  potenciométerrel az 5 impulzust a 4-hez képest 5...150  $\mu$ s tartományban eltolhatjuk, ami a tulajdonképpeni szabaddáválási idő értékének behatárolásához kell.

A leírt készüléknek számos előnyös tulajdonsága van, nevezetesen:

- energiaszükséglete minimális,
- viszonylag vékony kábelekkel felépíthető,
- a visszatérő pozitív feszültség meredeksége egy előre meghatározott értékre beállítható,
- a mérés periodikus és így az oszcilloszkópon jól megfigyelhető,
- a mérőkészülék lehetővé teszi a termosztátban beállított hőmérsékleten (amely az impulzussal való mérés következtében megegyezik a  $T_x$  mérendő tirisztor réteghőmérsékletével\*) történő mérést és így nagy pontossággal vizsgálható a szabaddáválási idő hőmérsékletfüggése, és
- végül a koaxiális elrendezés miatt az áram és feszültségugrások túllövés és berezgésmentesek.

A készülék kissé bonyolult felépítése az, ami az elsőnek ismertetett készülékkel összehasonlítva talán hátrányos tulajdonságként róható fel. A VKI Félvezető Laboratóriumban mindkét mérési összeállítást megépítettük. Az utóbbi készülékkel az 5...250 A-es áram mellett  $-40^\circ \dots +125^\circ \text{C}$  ( $T_{pn}$ ) hőmérsékletre tartozó szabaddáválási időt tudunk mérni 5...150  $\mu$ s tartományban. A készülék fényképe a 22-7. ábrán látható.

#### Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani *dr. Lukács József* igazgató és *Molnár István* főosztályvezető kartársaknak a berendezés létrehozásának lehetővé tételéért és a cikk, valamint a német nyelvű előadási anyag gondos lektorálásáért. Továbbá szeretném megköszönni *Avar László* és *Bács Antal* technikusok gondos munkáját, amit a készülék megbízható és esztétikus kivitele érdekében fejtettek ki.

#### Irodalom

- [1] General Electric. SCR Manual Second Edition 1961. p. 241—243.
- [2] *Pálffy M.*: Vezérelt diódák fizikája és mérései. Elektrotechnika 60. évf. 3 (1967) p. 109—119.
- [3] Westinghouse. Silicon Controlled Rectifier Designer's Handbook 1964. (6-3—6-5).
- [4] *Molnár I.—Kiss D.*: Szilícium teljesítménydióda p-n átmenetének melegedési folyamata Elektrotechnika 60. évf. 1—2 (1967) p. 56—66.

\* Nagyáramú tirisztorok pn-rétegének hőmérséklete — hasonlóan a diódákhoz [4] — 200  $\mu$ s-os névleges nyitóirányú áramimpulzus hatására, ha az ismétlődési frekvencia maximális értéke 50 Hz, maximálisan 1...2  $^\circ\text{C}$ -kal különbözik a dióda bázistönk-hőmérsékletétől.



# VILLAMOS KÉSZÜLÉK FŐOSZTÁLY



# 23.

## A VKI Villamos Készülék Főosztályának munkássága

DR. MOCSÁRY JÓZSEF

### 1. A Villamos Készülék Főosztály kialakulása és fejlődése

A második világháború előtt és még bizonyos ideig utána is Magyarországon a kis-, közép- és nagyfeszültségű készülékeket (áramkorlátozó olvadóbiztosítókat, kapcsoló-készülékeket) külföldi licenciák és gyártási dokumentációk alapján gyártották. E készülékek fejlesztéséről, megfelelő hazai kutatási lehetőségek hiányában, nem is lehetett szó.

A hazai erősáramú kutatási bázis, az 1949-ben megalakult Villamosipari Központi Kutató Laboratórium (VKKL), ill. később az ebből intézetté alakult Villamosipari Kutató Intézet (VKI) egyik főfeladatává tette az erősáramú készülékek gyártásának hazai fejlesztéséhez szükséges kutatási lehetőségek megteremtését. Ez kezdetben az akkori Villamos Laboratórium keretein belül csak néhány fős csoportot jelentett, amely az ötvenes években csak nagyon lassú létszámnövekedéssel fejlődött. Kezdetben ezt a kis létszámú Villamos Készülék Osztályt — igen mostoha körülmények között — a Villamos Laboratórium József Attila utcai helyiségeiben, majd később az Intézet Lehel utcai telepén helyezték el.

A Villamos Készülék Osztály ugrásszerű fejlődését jelentette az új, pestújhelyi székház és azon belül az egyes kutatási egységek elhelyezését megvalósító, korszerű kutató laboratóriumok létrehozása.

A Villamos Készülék Osztályból — amely a készülékkutatáson kívül a kutatáshoz szükséges vizsgálati lehetőségek és vizsgálóberendezések tervezésével is foglalkozott — 1965 év végén kialakult a *Villamos Készülék Laboratórium*, ill. a későbbi elnevezés szerinti *Villamos Készülék Főosztály*. A főosztály két kutató osztályra tagozódott, nevezetesen a villamos készülékek kutatásával foglalkozó *Villamos Készülék Osztályra* és a kiefeszültségű zárlati laboratóriummal rendelkező *Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztályára*. Ezen kívül mindkét osztály szerkesztési igényeinek kielégítésére egy kisebb létszámú *Szerkesztési Csoport* is alakult.

A Villamos Készülék Főosztály kutató osztályainak elhelyezésére a pestújhelyi székházban egy külön épületszárny épült, ebben vannak a kutatószobák, a Villamos Készülék Osztály laboratóriumai és a Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztálya kiefeszültségű váltakozó- és egyenáramú zárlati laboratóriuma.

### 2. A Villamos Készülék Főosztály célkitűzései, feladatai és tematikája

A villamosenergia-ellátás és -felhasználás egyik alapvető problémája a villamos energiát fogyasztó berendezések biztonságos üzeme mellett a berendezések üzemszerű bekapcsolása, továbbá a berendezések megsérülése esetén a hiba következtében megnövekedett túláramok vagy esetleg annál nagyobb értékű zárlati áramok kikapcsolása.

Hazánkban a felszabadulás után megindult nagymértékű villamosítás következtében országosan megnőtt a villamosenergia-igény. A villamosenergia-igények növekedése magával hozta az országos energiarendszer teljesítményének gyors megnövekedését. Ezzel egyidejűleg az országos energiarendszer, az elosztóhálózatok stb. teljesítményének növekedésével nagymértékben megnövekedtek a zárlati teljesítmények és így a védelmi eszközökkel szemben támasztott követelmények is. Erre a célra a hazánkban gyártott, elavult villamos készülékek már nem voltak alkalmasak, így az új követelményeknek megfelelően korszerű villamos kapcsolókészülékek és áramkorlátozó olvadóbiztosítók kidolgozása és gyártása vált szükségessé.

*A Villamos Készülék Főosztály célkitűzése* — az adott lehetőségek figyelembevételével — a korszerű, a megnövekedett igényeket mindenben kielégítő villamos készülékek fejlesztésével kapcsolatos kutatási feladatok megoldása és a kutatáson túlmenően — az eredmények felhasználásával — egyes villamos készülékek (pl. kis- és középfeszültségű áramkorlátozó biztosítók, kisfeszültségű szinkron kapcsolók és szinkron rákapcsoló készülékek stb.) kifejlesztése. Ezenkívül célkitűzései közé tartozik olyan korszerű vizsgálati laboratóriumok és berendezések létrehozása, valamint üzemben tartása, amelyek a kutatási munka során szükségessé váló mérések, továbbá az iparág által gyártott készülékek szabványos ellenőrzési vizsgálatainak végrehajtását lehetővé teszik.

*A Villamos Készülék Főosztály kutatási profiljába* tartozik mind az áramkorlátozó olvadóbiztosítók, mind a kapcsolókészülékek működésével, felépítésével és gyártásával kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések kutatása, továbbá a villamos készülékek működését ellenőrző túláram- és zárlatbiztossági vizsgálatok lebonyolítása, valamint a normális üzemi viszonyok közötti működés ellenőrzése. A villamos készülékek szerkezetével, működésével és üzemével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések tisztázása a Villamos Készülék Főosztályon belül a *Villamos Készülék Osztály* feladata. A villamos készülékek működését ellenőrző vizsgálatok elvégzése és a készülékek jószágának megítélése az igen nagy áramú vizsgálatok elvégzésére is alkalmas berendezéssel rendelkező *Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztályának* a feladata.

## **2.1 A Villamos Készülék Osztály által elvégezhető kutatási és fejlesztési feladatok**

Az Osztály feladata kis- és középfeszültségű villamos készülékek (áramkorlátozó olvadóbiztosítók, egyéb áramkorlátozó készülékek, megszakítók, terheléskapcsolók, terhelésszakaszolók, szakaszolók, védőkapcsolók és különleges feladatok megoldására alkalmas kapcsolókészülékek stb.) korszerű kialakításához szükséges kutatási feladatok megoldása, a következők szerint:

2.11 Áramkorlátozó olvadóbiztosítók szálszerkezeti kialakítása

2.12 Érintkezőrendszerek és érintkezőanyagok kutatása és vizsgálata

2.13 Az árammegszakítás módjainak tanulmányozása váltakozó- és egyenáramú áramkörökben:

- ív-vizsgálatok
- ívöltés áramkorlátozással
- ellenállásos megszakítás
- szinkronkapcsolás
- ívmentes megszakítás
- kis- és középfeszültségű készülékek ívöltő kamráinak kialakítása
- újfajta ívöltő anyagok kutatása

- 2.14 Húzómágneselek korszerű kialakítása
- 2.15 Kisfeszültségű kapcsolókészülékek pattogási (prell) jelenségeinek vizsgálata
- 2.16 Villamos készülékek szigetelőanyagainak kiválasztásával kapcsolatos kutatás
- 2.17 Tirisztorok alkalmazásának kutatása kisfeszültségű készülékek területén
- 2.18 Kapcsolókészülékek és áramkorlátozó olvadóbiztosítók vizsgálati módszereinek kutatása és kidolgozása
- 2.19 A 2.11...2.18 alatti kutatási feladatok eredményeinek felhasználásával különféle rendeltetésű kis- és középvezültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók és kapcsolókészülékek kidolgozása.

## **2.2 A Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztálya által elvégezhető feladatok**

Az osztály feladata a Villamos Készülék Osztály kutatásaihoz szükséges vizsgálatok végrehajtása, valamint az erősáramú készülékgyártó ipar számára a fejlesztéssel és a késztermékek szabványos vizsgálataival kapcsolatos igények kielégítése.

E feladatok megvalósításához az osztálynak ki kell alakítania a megfelelő vizsgálóberendezést, gondoskodnia kell a berendezés üzemképességéről, korszerűsítéséről, valamint a vizsgálóberendezés további fejlesztéséről. A zárlati laboratórium megfelelő, korszerű szinten tartása érdekében az osztálynak különleges vizsgáló berendezéseket, készülékeket és műszereket is ki kell fejlesztenie. Foglalkozni kell közvetlen és közvetett vizsgálatokkal is.

A Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztálya a következő vizsgálatokhoz alkalmas vizsgálóberendezéssel rendelkezik:

- 2.21 Áramváltók zárlati szilárdságának vizsgálata. Hibamérések. Túláramszorzó vizsgálata.
- 2.22 Szakaszolóok zárlati szilárdságának vizsgálata. Melegedésmérés. Érintkezők átmeneti ellenállásának mérése.
- 2.23 Megszakítók zárlati szilárdságának vizsgálata. Melegedés és átmeneti ellenállás mérése. Mechanikai élettartam-vizsgálat.
- 2.24 Kisfeszültségű megszakítók megszakító-képességének vizsgálata.
- 2.25 Tokozott berendezések zárlati szilárdságának vizsgálata.
- 2.26 Támszigetelők és gyűjtősín-rendszerek zárlati szilárdságának vizsgálata.
- 2.27 Kisfeszültségű olvadóbiztosítók megszakító-képességének vizsgálata, kiolvadási (idő—áram) jelleggörbék felvétele. Melegedésvizsgálat. Biztosítóaljzatok zárlati szilárdságának vizsgálata.

A kisfeszültségű váltakozó- és egyenáramú zárlati próbaberendezés részletes műszaki adatainak ismertetésétől itt eltekintünk. Ezek az adatok a Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztályán bármikor rendelkezésre állanak. A kisfeszültségű váltakozóáramú zárlati próbaberendezés részletes leírását egyébként a VKI Közlemények 2. kötete tartalmazza.

## **3. A Villamos Készülék Főosztály kutatási eredményei**

A Villamos Készülék Főosztály kutató osztályai az elmúlt 20 év folyamán a kutatási témák egész sorát oldották meg. Ezek részben a különféle készülékgyárak fejlesztési feladatainak kutatási vonalon való alátámasztására voltak hivatottak; a témák másik részét pedig konkrét, ipari bevezetésre alkalmas gyártmányként zártuk le.

A kutatási eredmények hasznosítása, ill. az ipari bevezetés hatékony előmozdítása érdekében a főosztály az eddigiek során a témák kidolgozását általában a követ-

kezők szerint végezte. A munka első fázisában a kutatást KGM keretből finanszírozták; a téma ezen fázisában a megoldandó feladattal kapcsolatban kifejezetten kutatási tevékenység folyt. A kutatási munka második fázisa — már megrendeléses kutatás keretében — az első fázisban elért kutatási eredmény adaptálása volt, konkrét típusokra, ill. sorozatokra (pl. kis- és középfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók, érintkezőanyagok stb. esetében). A kutatás harmadik fázisa — ugyancsak megrendeléses kutatás keretében — az első és második fázis eredményeinek realizálása, ipari hasznosítása volt, ipari bevezetés formájában.

Az új gazdaságirányítási rendszer megvalósítása során már a kutatási munka első fázisa is megrendeléses kutatás keretében történik.

Mindezek előrebocsátása után rövid tájékoztatást adunk a főosztály által a jelzett időszakban megoldott legfontosabb kutatási feladatokról, ill. elért eredményekről.

### 3.1 Villamos Készülék Osztály Áramkorlátozó olvadóbiztosítók

Az áramkorlátozó olvadóbiztosítók kutatását és kidolgozását az Intézet mondhatni elsőként vette megoldandó feladatai közé, különösen arra a körülményre való tekintettel, hogy a probléma viszonylag kis létszámmal és felszereléssel eredményesen megoldhatónak látszott.

Az áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal kapcsolatos kutatások középpontjában a szálszerkezet kialakítása és a biztosítók működését befolyásoló egyéb tényezők kutatása állott. Ezen alapkérdések megoldása és az eredmények konkrét kivitelekben való alkalmazása a *kis- és középfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók* olyan széles skáláját eredményezte, amelyek nemcsak a megnövekedett hazai igényeket és követelményeket elégítik ki, hanem a legtöbb típus a hasonló célú külföldi gyártmányok műszaki jellemzőit is meghaladva, igen jó kilátású exportterméket is jelent.

A *középfeszültségű, nagy megszakító-képességű áramkorlátozó olvadóbiztosítók* között a kutatás kezdetén a lépcsősen változó keresztmetszetű olvadószálakkal készülő, *NNG-típusú biztosítókat* kezdeti eredményként tekintettük. Ezek a biztosítók a korábban gyártott típusokhoz képest műszakilag haladást jelentettek, azonban olvadószáluk alakja miatt csak zárlatvédelem céljaira voltak kellő biztonsággal használhatók, de a túláramok tartományában — különösen egyfázisú feszültségigénybevétel esetén — nem működtek megbízhatóan. A korszerű, nagy megszakító-képességű áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal szemben támasztott egyre fokozódó követelmények tökéletes kielégítése olyan olvadószál-konstrukció kidolgozását és alkalmazását tette szükségessé, amely kiküszöböli az eddigi szálkonstrukciók hibáit és a teljes áramtartományban — a túláramok, kis és nagy zárlati áramok tartományában — biztos működést eredményező, ún. „általános célú biztosítók” létrehozását teszi lehetővé. E biztosítók csak *többszörös megszakítást eredményező olvadószál-szerkezetekkel* alakíthatók ki. A Villamos Készülék Főosztály a feladat megoldására kidolgozta a sűrű osztású, folyamatosan változó keresztmetszetű olvadószál-szerkezetet, az annak előállítására alkalmas eljárást és az ilyen olvadószálakkal készülő újfajta *NNGf- és NNGfe-típusú olvadóbiztosítók* 3...35 kV feszültségű sorozatát. Az NNGf-típusú biztosítók — az országos energiarendszerben beépített igen nagyszámú régi típusú biztosítóaljatban való felhasználhatóságra tekintettel — a régi AEG méretekkel és kis rugóerejű kioldásjelző szerkezettel készülnek.

A korszerű irányzatnak megfelelően, a középfeszültségű biztosítók terhelés-szakszolgálókkal való együttes alkalmazásának egyik lényeges feltétele a nagy rugóerejű



kioldószerkezettel ellátott biztosítók alkalmazása. Az előbbi feltételen túlmenően — elsősorban export szempontjából — követelmény még a biztosítóknak egységes foglalatú kivitelben történő kialakítása is. Ezeket a feltételeket a Villamos Készülék Főosztály által kidolgozott NNGfe-típusú, a DIN 43 625 méreteknak megfelelő, egységes foglalatú, nagy rugóerejű kioldószerkezettel rendelkező biztosítósorozat teljes mértékben kielégíti.

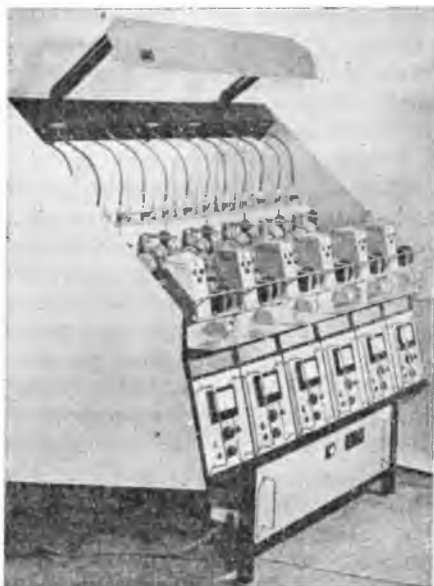
A sűrű osztású, folyamatosan változó keresztmetszetű olvadószálakkal készült NNGf- és NNGfe-típusú középfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók a *cseh-szlovákiai bechovicei, az olaszországi CESI és a hollandiai KEMA zárlati laboratóriumokban elvégzett zárlatbiztossági vizsgálatok* tanúsága szerint teljes mértékben megfelelnek a magyar szabvány, a különféle külföldi szabványok és a nemzetközi szabvány igen szigorú előírásainak. A hazai és külföldi vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy az újfajta olvadószál-konstrukcióval készült középfeszültségű biztosítók a jelenleg gyártott külföldi típusok között is a legkorszerűbb megoldást képviselik és a biztosítók *működési tartomány, valamint megszakító-képesség* szempontjából a legtöbb ismert külföldi típusnál jobbak, így *versenyképes exportcikket* is jelentenek.

Az NNGf- és NNGfe-típusú biztosítók az 1967. évi Budapesti Nemzetközi Vásáron „Budapest Főváros Nagydíját” nyerték el (23-1. ábra).

A Villamos Készülék Főosztály az NNGf- és NNGfe-típusú biztosítók korszerű olvadószálainak nagyüzemi előállítására alkalmas *eljárást és szálmegmunkáló berendezést* is kidolgozott (23-2. ábra). A biztosítókat a *Villamos Berendezés és Készülék Művek (VBKM) II. sz. Kaposvári Villamossági Gyára* a Villamos Készülék Főosztály által kidolgozott eljárással és berendezéssel — az ugyancsak a főosztály által kidolgozott komplett gyártási dokumentáció alapján — gyártja.



23-1. ábra. A „Budapest Főváros Nagydíja”-val kitüntetett NNGf- és NNGfe-típusú biztosítók



23-2. ábra. Az NNGf- és NNGfe-típusú biztosítók sűrű osztású, folyamatosan változó keresztmetszetű olvadószálainak nagyüzemi előállítására alkalmas berendezés

megszakító-képességük birtokában jelentősen meg is haladják a nemzetközi színvonalat. Az előírt követelmények kielégítését és az igen gyors kiolvadású áramkorlátozó biztosítók magas műszaki szintjét részben az olvadóelem különleges kialakításával, részben a szemcsés ívöltőközeg (kvarchomok) jól ismert ívöltő hatásának és a nyomáseffektusnak a kombinációjával értük el.

A legutóbbi években a kisfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók választékának további bővítésére kidolgozott ún. *kombinált (lomha—gyors) kiolvadási (idő—áram) jelleggörbéjű olvadóbiztosítók* a védelmi technikában új, korszerű védelmi megoldásokat tesznek lehetővé. Ilyen megoldás pl. a lomha—gyors jelleggörbéjű olvadóbiztosítók együttes alkalmazása terheléskapcsolókkal, ill. kisteljesítményű megszakítókkal. Ebben az esetben — a biztosítók megfelelő idő—áram jelleggörbéje és  $100 \text{ kA}_{\text{eff}}$ -et meghaladó megszakító-képessége birtokában — a biztosítókkal kombinált olcsó, kis helyigényű, kis megszakító-képességű kapcsolókészülék helyettesíti az igen költséges nagy megszakító-képességű megszakítót, tehát olcsó megoldást tesz lehetővé. *A NOLG-típusú, lomha—gyors kiolvadási jelleggörbéjű olvadóbiztosítók* egyesítik magukban a gyors és késleltetett kiolvadású biztosítók összes előnyét, így alkalmazásukkal együttesen kihasználhatók mindazok az előnyök, amelyekkel a gyors, ill. a késleltetett kiolvadási jelleggörbéjű olvadóbiztosítók külön-külön rendelkeznek.

Elsősorban tökéletes export szempontból került kidolgozásra az  $500 \text{ V}$  feszültségű, *Doe-típusú*  $6...25 \text{ A}$  névleges áramerősségű egyenáramú *D-rendszerű biztosítósorozat*. A biztosítók  $6$  és  $10 \text{ A}$ -es névleges áramerősségű típusainak a kidolgozását szintén a sűrű osztásban folyamatosan változó keresztmetszetű olvadószálak tették lehetővé. A teljes biztosítósorozat kielégíti az MSZ 9880 magyar és a CEE Publication 16

*A kisfeszültségű, nagy megszakító-képességű áramkorlátozó olvadóbiztosítók területén is igen széles körű kutatási munka folyt. A főosztály az utóbbi években a korszerű kisfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók egész sorozatát dolgozta ki.*

Jelentős eredménynek tekinthető a *késses rendszerű, igen nagy megszakító-képességű áramkorlátozó biztosítósorozat* kidolgozása, elsősorban ipari elosztóhálózatok túláram- és zárlatvédelmére. A  $10...500 \text{ A}$  névleges áramerősségű S-NOL típusú biztosítósorozat  $100 \text{ kA}_{\text{eff}}$  feletti megszakító-képessége biztosítja a nemzetközi színvonalat.

A félvezető egyenirányítók és egyenirányító berendezések védelmére kidolgozott *NOGe- és NOSi-típusú, 250, ill. 500 V* névleges feszültségű,  $50...400 \text{ A}$  névleges áramerősségű *igen gyors működésű és nagy áramkorlátozó képességű diódavédő biztosítósorozat* nemcsak kiolvadási gyorsaság és áramkorlátozó képesség, de megszakító-képesség szempontjából is eléri, sőt a NOSi-típusú olvadóbiztosítók  $200 \text{ kA}_{\text{eff}}$

nemzetközi szabvány egyenáramú D-biztosítókra vonatkozó követelményeit, így a szóban forgó biztosítók megfelelnek a tőkés export követelményeinek is.

Az előbbieken ismertetett kutatási eredmények alapján megállapítható, hogy az Intézet és ezen belül a Villamos Készülék Főosztály ma már abban a helyzetben van, hogy a kis- és középfeszültségű nagy megszakító-képességű áramkorlátozó olvadóbiztosítók területén bármilyen újabb kutatási feladat eredményes megoldására képes.

A főosztály *folyamatban levő különleges feladatai* közé tartozik a késes rendszerű, 600 A-nél nagyobb névleges áramerősségű biztosítók kidolgozása, továbbá különféle célokra alkalmas egyenáramú biztosítók kialakítása. A sűrű osztású, folyamatosan változó keresztmetszetű olvadósálalak előnyös tulajdonságainak felhasználásával mód nyílik a jelenleginél nagyobb névleges áramerősségű, középfeszültségű, nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosító-típusok kidolgozására is.

### Kapcsolókészülékek

A Villamos Készülék Osztály a legutóbbi néhány évben kezdte el a kisfeszültségű váltakozóáramú mágneskapcsolók kutatási kérdéseinek alaposabb tanulmányozását. A készülékkel szemben támasztott legfőbb igényeket figyelembe véve, a legfontosabb feladatnak a készülékek élettartamának növelését tekinttük. A villamos vezérlésekben és a különféle automatizált folyamatokban, valamint szerszámgépekben és még igen sok más helyen alkalmazásra kerülő mágneskapcsolók kis villamos élettartama a készülékek áránál több nagyságrenddel nagyobb termelékiesést okozhat. Munkánkat ezen a területen elsősorban az érintkezőanyagok kutatásával kezdtük.

A készülékeken belül az egyes szerkezeti elemek működését a többi részek hatásaitól természetesen nem lehet különválasztani. Így a megfelelő érintkezőanyag kiválasztása mellett foglalkoznunk kellett a készülékekben kikapcsoláskor keletkező villamos ív minél gyorsabb kioltásának és az ívöltő szerkezeteknek a kérdéseivel, továbbá az érintkezőanyagok élettartamát befolyásoló egyéb tényező vizsgálatával is, így az érintkezők visszapattanásával, a működtetőmágnesek korszerű kialakításának és méretezésének, valamint az áramutak kialakításának kérdéseivel is.

Az *érintkezőanyag-kutatás* területén első lépésként olyan vizsgálati eljárásokat dolgoztunk ki, amelyek lehetővé teszik az érintkezők élettartamát befolyásoló egyes paraméterek hatásának külön-külön vizsgálatát. Így az egyes hatások mértékét külön tudtuk választani, tehát megtehetjük az intézkedéseket a villamos élettartam növelésére.

Érintkezőanyag-vizsgáló berendezéseket készítettünk és vizsgálati eredményeinket különféle hazai és külföldi mágneskapcsolókba beépített érintkezőanyagok vizsgálati eredményeivel hasonlítottuk össze. Érintkezőanyag-vizsgáló berendezésünk (23-3. ábra) nemcsak a kutatási vizsgálatokra alkalmas, hanem minden esetben a sorozatban gyártott érintkezők minőségvizsgálatát is szolgálja. Vizsgálóberendezésünk használhatóságát — saját vizsgálati eredményeinken túlmenően — az a számos külföldi érdeklődés is tükrözi, amely berendezésünk iránt az utóbbi években megnyilvánult.

A ma már klasszikusnak számító réz- és ezüstérintkezők viselkedésének vizsgálata alapján léptünk tovább az újfajta, korszerű érintkezőanyagok minőségének és használhatóságának megállapítása felé. A Vasipari Kutató Intézettel, majd később az Állami Pénzverővel együttműködve olyan ezüstkadmiumoxid (AgCdO) érint-



23-3. ábra. Érintkezőanyag-vizsgáló berendezés

kezőket dolgoztunk ki, amelyekkel a klaszszikus érintkezőkhöz képest többszörös érintkező-élettartam biztosítható.

50, 100, 200, 500 és 600 mm/s kapcsolási sebességgel elvégzett élettartam-vizsgálataink azt mutatták, hogy az optimális kapcsolási sebesség 100...200 mm/s tartományban van. Ez azt jelenti, hogy az ezüstkadmiumoxid érintkezőkkel ilyen kapcsolási sebesség mellett érhető el a legnagyobb élettartam. Az optimálisnál nagyobb kapcsolási sebességek hatására az élettartam viszonylag kismértékben csökken, de 100 mm/s-nál kisebb kapcsolási sebesség már nem javasolható, mert ennél az élettartam ugrásszerűen csökken.

Az óránkénti kapcsolási szám változtatásának hatását vizsgálva megállapítottuk, hogy a kapcsolási élettartamot befolyásoló egyéb paraméterek optimális értéken tartása esetén a különféle kapcsolási számok az érintkezők élettartamát nem befolyásolják lényegesen.

Az érintkezőanyag-vizsgáló berendezés kismértékű átalakításával gyorsított vizsgálati módszert is kidolgoztunk az ezüstkadmiumoxid (AgCdO) érintkezőanyagok mi-

nőségének megítélésére. A módszer lehetővé teszi, hogy a homogén összetételű érintkezőanyagokat viszonylag rövid ideig tartó vizsgálat alapján minősítsük.

A Vasipari Kutató Intézet vizsgálati tapasztalatainak figyelembevételével olyan vizsgálati módszert is kidolgoztunk, amely az ezüstkadmiumoxid érintkezőanyagok anyagszerkezeti vizsgálatára alkalmas. Megállapítottuk, hogy a beoxidálásos technológiával készült ezüstkadmiumoxid érintkezők kadmiumoxid alkotóinak elrendezése, mérete és a szerkezet homogén eloszlása az érintkezők élettartamát nagymértékben befolyásolja. A legkedvezőbb eredményeket a 3...5  $\mu$ -os szemcsemérettel, egyenletes szemcseeloszlás esetén értük el.

A gyártó vállalatok megrendelésére rendszeres vizsgálatokat végeztünk a különböző névleges áramerősségű váltakozóáramú kontaktorokban alkalmazandó ezüstkadmiumoxid érintkezők legmegfelelőbb összetételének és méretének meghatározására. Elméleti megfontolások és a gyakorlati vizsgálati eredmények összevetése alapján konkrét javaslatot tettünk a különféle üzemi feltételek mellett működő, különféle névleges áramerősségű kontaktorok érintkezőanyagára és az érintkezők méretére vonatkozóan.

*Az áramutak kialakítása és az alkalmazandó ívöltő szerkezet meghatározása* a villamos ív biztos kioltása szempontjából lényeges követelmény. A villamos ív kioltásához az érintkezők és környezetük megfelelő kialakítása mellett szükséges az ívöltő kamra legmegfelelőbb típusának megválasztása, ill. annak meghatározása, hogy adott esetben egyáltalán szükség van-e ívöltő kamrára. Amennyiben — ívöltő kamrával vagy anélkül — a villamos ív égési idejét csökkenteni tudjuk, az érintkezők élettartamát is növeljük.

Vizsgálataink eredményei szerint a 60 A-nél kisebb névleges áramerősségű kifeszültségű mágneskapcsolók áramutainak megfelelő kialakítása esetén általában nem szükséges az ívöltő kamra. Az áramút kialakítása azonban a nagyobb áramerősségű készülékekre nézve is nagyon fontos, hiszen ezáltal az ívnek az oltókamrákba való gyors behatolását biztosíthatjuk. Vizsgálataink a hagyományos érintkező-elrendezésre és a korszerű, ún. visszahajtott érintkezőjű megoldásra vonatkoznak.

*Hall-szondás módszerrel* végzett térerősség-méréseink azt mutatták, hogy visszahajtott áramút esetén kb. 85%-kal nagyobb a fűvóter erőssége, mint a korábbi, ún. hagyományos megoldás esetén, tehát a visszahajtott áramút lényegesen nagyobb ívmozgást biztosít. Ezt a megállapítást az érintkezők élettartamára vonatkozó vizsgálataink is igazolták, amelyek szerint visszahajtott áramút az érintkezők igénybevételét lényegesen csökkenti.

A 60 A és annál nagyobb áramerősségű kifeszültségű kontaktorokban az ív biztonságos oltása és a nagyobb élettartam érdekében már célszerű az oltókamrák használata. Az oltókamrafajta kiválasztása során arra a megállapításra jutottunk, hogy a legcélszerűbb az oltólemez megoldás. Ezt az ún. deion-oltókamrát pedig leghelyesebb vaslemezekből kialakítani, mert így kihasználható a vas azon hatása, hogy a mágneses erővonalakat összesűríti az ívnek a lemezek közé való behatolását elősegíti, ugyanakkor megtartja az ív részekre bontásával és az erőteljes hűtőhatással kapcsolatos előnyöket. A különféle névleges áramerősségű kontaktorok ívöltő szerkezetének kialakításához meghatároztuk a deion-lemezek számát és méretét és az adatokat felhasználásra átadtuk a gyártó vállalatnak.

Hosszú évek rendszeres kutató munkájára van szükség ahhoz, hogy a villamos ív mozgásának és az áramutak ívöltésre gyakorolt hatásának kutatási témakörét átfogóan kidolgozzák. Az eddigi eredmények azonban már most használható szempontokat adnak a szerkesztő számára, a téma megoldása során kidolgozott vizsgálati módszerek pedig további kutatómunka alapját képezik.

*A váltakozóáramú elektromágnesek* üzemének tanulmányozása során tudomásul kellett vennünk, hogy az egyenáramú mágnesekkel kapcsolatban szerzett korábbi tapasztalatainkat csak kismértékben tudjuk hasznosítani. A váltakozóáramú mágnesek egész működési folyamata ugyanis tulajdonképpen átmeneti jelenségek sorozatából épül fel. Már a bekapcsolás pillanatában fennálló feszültség-szög-helyzet is nagymértékben befolyásolja a mágnes működési idejét és a mozgó fegyverzet sebességének alakulását. Működés közben a főfluxus és a szört fluxus is állandóan változik. Külön nehézséget jelent a mágnes zúgásmentesítését célzó rövidrezáró gyűrűk jelenléte. Figyelemmel kell lenni az örvényáram- és hiszterézisvesztésekre is.

Szükség volt a mágnes működésére jellemző jelleggörbék egyértelmű definiálására, mivel ezen a téren az irodalomban igen nagyfokú a véleményeltérés. Definiáltuk a *terhelési*, a *statikus*, a *dinamikus jelleggörbét* és az ún. *lendítő jelleggörbét*. A felsorolt jelleggörbék a mágnesek méretezése szempontjából igen fontosak és adott esetben az optimális értékeket ezek nélkül nem lehet meghatározni. Megállapítottuk, hogy a terhelési jelleggörbe ismeretében elsősorban a lendítő jelleggörbe meghatározása szükséges.

A működtetőmágnesek légréscinek az idő függvényében való változásának mérésére a Hottinger—Baldwin Messtechnik cég induktív útdőjének felhasználásával mérőberendezést készítettünk. A mérőberendezés birtokában módunk volt a különféle jelleggörbék felvételére, amelyekkel kapcsolatban igen értékes tapasztalatokat szereztünk. A kutatások egyértelműen azt eredményezték, hogy a váltakozóáramú működtetőmágnesek igen érzékenyek a feszültség bekapcsolási szög-

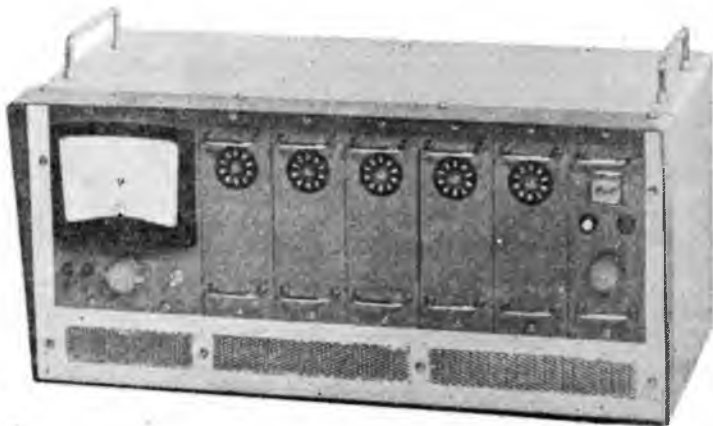
helyzetére. A legkedvezőbb működési viszonyokat  $80...120^\circ$ , ill.  $260...300^\circ$  környékén kaptuk.

A statikus, dinamikus és lendítő jellegű megváltozására közelítő számítási módszert dolgoztunk ki, amely a konstruktor számára megmutatja, hogy a működőtömáges alkalmas-e a ráháruló feladat teljesítésére.

A működtetőmágesek méretezésénél még számos feladatot kell megoldani, amíg egy adott esetben egyértelmű számítási és mérési módszerekkel meg tudjuk határozni az optimális értékeket. Mérési módszereink és eddigi eredményeink ehhez megadják az alapfeltételeket.

Az érintkezők visszapattanása (*pattogása*) az áramkörök bekapcsolásánál nagymértékben növeli az anyagfogyást, sőt sok esetben az érintkezők összehegedését okozhatja. Különösen veszélyesek a pattogási jelenségek, ha a mágeskapcsolók feladata aszinkron motorok indítása. Ilyen esetekben ugyanis kb. hatszoros áramlökésekkel számolhatunk. A pattogó érintkezők szétváláskor nagyáramú ívet húznak, és az ív hatására kialakuló, megolvadt ívtalppontok összeérésekor bekövetkezik a hegedés.

Feladatul tűztük ki magunk elé a visszapattanások számának csökkentését, ill. megszüntetését. Ehhez elsősorban a jelenség befolyását kellett alaposan tisztázni és a visszapattanást okozó tényezőket meghatározni. A feladat megoldásához olyan vizsgálóberendezést alakítottunk ki, amellyel az egyes tényezők hatása külön-külön, rekonstruálhatóan vizsgálható, ill. a visszapattanások mértéke gyorsan meghatározható. A visszapattanások számának meghatározására hurkos oszcillográfot használtunk, a gyors kiértékelés érdekében elektronikus *visszapattanás-számláló készüléket* észítettünk (23-4. ábra), amellyel a bekapcsolás ideje alatt előforduló visszapattanások száma gyorsan mérhető.



23-4. ábra. Elektronikus visszapattanás-számláló készülék

Vizsgálataink eredményei alapján arra a megállapításra jutottunk, hogy nem érdemes minden esetben a visszapattanások teljes megszüntetésére törekedni. A pattogás teljes kiküszöbölése sokszor gazdaságossági okok miatt nem is oldható meg. Mindezek figyelembevételével megállapítottuk, hogy feltétlenül meg kell határozni egy olyan tényezőt, amely a visszapattanás mértékére jellemző. Ezen ún. jóság szám kidolgozásánál már figyelembe vettük azt, hogy a bekapcsolás pillanatától számított néhány ms múlva lépnek fel az érintkezők üzembiztonságára veszélyes

visszapattanások, és így az egyes visszapattanásokat súlyozva vesszük figyelembe. A helyes értékelés érdekében még további rendszeres vizsgálatsorozatot kívánunk folytatni.

Az előzőkben elmondottakkal röviden ismertetni kívántuk a váltakozóáramú mágneskapcsolók korszerű kialakítása érdekében tett kezdeti lépéseinket. Tudjuk, hogy a korszerű készülékek kialakításához még igen sok kutatási feladatot kell megoldanunk, de úgy érezzük, hogy az eddigiekben kinevelt kutatógárdánk és az általuk létrehozott eredmények megteremtették a további eredményes munka előfeltételeit.

A félvezető egyenirányító berendezések zárlatvédelmének megoldására a Villamos Készülék Osztály *háromfázisú, gyorsműködésű rövidrezáró kapcsolót* dolgozott ki. A rövidrezáró készülék működési sebesség és rákapcsoló képesség szempontjából teljesítette a vele szemben támasztott követelményeket, amelyeket az idehaza és külföldön elvégzett zárlati vizsgálatok eredményei egyértelműen bizonyítanak. A gyorsműködésű rövidrezáró kapcsolót azonban mégsem vezették be az iparban, mert időközben a félvezető egyenirányító berendezések védelmére más védelmi módszerek alakultak ki. A gyorskapcsolóval szerzett kutatási eredmények és tapasztalatok azonban nem veszték kárba, mert a szerkezetből — annak átkonstruálásával — kisfeszültségű váltakozóáramú zárlati laboratóriumunk *szinkron rákapcsolóját* alakítottuk ki. A szinkron rákapcsoló feladata, hogy a zárlati áramot a vizsgáló feszültség tetszés szerinti szöghelyzetében tudjuk a vizsgálandó készülékre rákapcsolni. A szinkron rákapcsoló két részből áll: vezérlőegységből és a mechanikus kapcsolóegységből (l. a 25-6. és 25-7. ábrát). A mechanikus kapcsolóegység igen rövid, néhány ms működési ideje és  $\pm 10$  villamos fokon belüli szórása igen pontos rákapcsolást tesz lehetővé. A kapcsolószerkezet visszapattanás-mentesen kapcsol, így még a legnagyobb zárlati áram esetén sem fordulhat elő érintkezőhegedés. A megfelelő érintkezőnyomást részben rugóerő, részben a zárlati áram dinamikus hatásának kihasználása biztosítja. Az elkészült és a Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztálya zárlati laboratóriumában üzemben levő szinkron rákapcsoló névleges bekapcsolóképessége  $60 \text{ kA}_{\text{eff}}$ ; a készülék 1200 V névleges feszültségig használható. Részben saját céljainkra, részben külföldi zárlati laboratóriumok megrendelésére folyamatban van 1000 V (1200 V) névleges feszültségű,  $100 \text{ kA}_{\text{eff}}$  névleges bekapcsolóképességű szinkron rákapcsoló és a hozzátartozó elektronikus vezérlőszerkezet elkészítése.

Az előbbiekben leírt készülék alapelveit és konstrukciós megoldását felhasználva kisebb bekapcsoló képességű szinkron rákapcsolók is készíthetők. Ilyen kapcsolókat különösen előnyösen lehet használni pl. a váltakozóáramú mágnesek működésének ellenőrzésénél, amikor különféle szöghelyzetekben való rákapcsolást kívánunk megvalósítani.

Ugyancsak a Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztálya kisfeszültségű zárlati laboratóriuma számára végzett kutatás keretében dolgozta ki a Villamos Készülék Osztály az *ellenállásos védőmegszakítót*, az üresen járó transzformátorok kis induktív áramának megszakításánál fellépő kapcsolási túlfeszültségek csökkentésére, a cseh-szlovák gyártmányú CNR típusú, 10 kV feszültségű 400 MVA-es légnemű megszakító felhasználásával.

A feladat megoldására a megszakítót alkalmassá tettük az általunk méretezett és a Félvezető Főosztály által elkészített nemlineáris ellenállásrendszer befogadására. A nemlineáris elemeket úgy méreteztük, hogy az üresen járó transzformátor kis induktív áramának megszakításakor — amely a zárlati laboratóriumban általában minden sikeres zárlati megszakítás után bekövetkezik — se keletkezzék a berendezésekre veszélyes túlfeszültség. A vizsgálatokat a VEIKI Hálózati Zárlati Laboratóriumában végeztük, amelyek eredményei alapján megállapítható, hogy a kutatás

során kidolgozott megoldás teljes mértékben sikeres. Míg az ellenállás nélküli légnyomásos megszakító 7...9-szeres kapcsolási túlfeszültséget okoz a transzformátor szekunder oldalán, az általunk kifejlesztett megoldás egyáltalán nem okoz veszélyes túlfeszültséget. Annak ellenére, hogy az üresen járó transzformátorok kis induktív áramának túlfeszültségmentes kapcsolását — amely a kutatási munka főfeladata volt — sikeresen megoldottuk, a megszakítót mégsem tudjuk védőmegszakítóként felhasználni kisfeszültségű zárlati laboratóriumunkban, mert a 400 MVA zárlati teljesítményre készített és szavatolt megszakító a VEIKI hálózati zárlati laboratóriumában elvégzett vizsgálatok során az 50 és 100 MVA-es zárlati teljesítményű áramkört sem tudta biztonságosan megszakítani. Így a zárlati laboratóriumunk védőmegszakítójaként egyelőre EIB-licencia alapján Magyarországon gyártott olajszegény megszakítót használunk.

### **Külföldi zárlati vizsgálatok**

Amint arra már az előzőekben is utaltunk, a kapcsolókészülékek gyártása Magyarországon hosszú időn keresztül külföldi licenciák és gyártási dokumentációk alapján folyt. Hazai vizsgálati lehetőségek hiányában ezeknek a készülékeknek az ellenőrző vizsgálatai sem történhettek meg, így sem a gyártók, sem a felhasználók nem tudták pontosan, hogy a gyártott készülékek ténylegesen milyen zárlati teljesítményű áramkörök biztonságos megszakítására képesek. A növekvő követelmények azonban szükségessé tették a készülékek műszaki jellemzőinek pontosabb megismerését és ezért szükségessé vált ezen készülékeknek az adattáblán feltüntetett teljesítményekkel való kipróbálása.

Amint már említettük, kezdetben hazai vizsgálati lehetőség nem állt rendelkezésre és ezért mind az előbbieken említett készülékek ellenőrző vizsgálatait, mind a későbbiekben a kutatási eredmények felhasználásával kidolgozott készülékek kutatási, ill. fejlesztési vizsgálatait is külföldi zárlati laboratóriumokban kellett elvégezni. Mind az erősáramú készülékgyártó ipar, mind az Intézet részére szükséges nagyteljesítményű vizsgálatok elvégzése és műszaki irányítása a Villamos Készülék Főosztály és ezen belül a Villamos Készülék Osztály feladata volt és e vizsgálatok elvégzése jelentős kutatási kapacitást kötött le.

A VKI és VEIKI hálózati zárlati laboratóriumainak üzembehelyezése után elsősorban a passzív zárlatvizsgálatok, továbbá a kis- és középfeszültségű, közepes zárlati teljesítményű aktív zárlatbiztosági vizsgálatok nagyobb része idehaza is elvégezhetővé vált, azonban a VKI és VEIKI vizsgálati lehetőségeit meghaladó közép- és nagyfeszültségű vizsgálatokat és bizonyos kisfeszültségű nagyteljesítményű aktív zárlatbiztosági vizsgálatokat a továbbiakban is a megfelelő teljesítményű zárlati laboratóriumokkal rendelkező külföldi intézeteknél kell elvégeznünk.

A hazai lehetőségeket meghaladó nagyteljesítményű vizsgálataink elvégzésére az alábbi külföldi laboratóriumokat vettük igénybe:

- Csehszlovákiai bechovicei VUSE (Vyzkumny Ustav Silnoprouté Elektrotechniky) zárlati laboratóriuma
- NDK-beli IPH (Institut „Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik”) berlini zárlati laboratóriuma
- Hollandiai KEMA (N. V. tot Keuring van Electrotechnische Materialen) arnhem-i „de Zoeten” zárlati laboratóriuma
- Olaszországi CESI (Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano) milánói zárlati laboratóriuma
- Franciaországi CERDA (Delle-Alsthom) lyoni zárlati laboratóriuma.



A külföldi zárlati vizsgálati lehetőségeket részben az Intézetben kidolgozott kis- és középvezetési nagy megszakító-képességű biztosítók kidolgozásához szükséges zárlati vizsgálatok elvégzésére, részben pedig a készülékgyártó ipar (Villamos Berendezés és Készülék Művek vállalatai, Ganz Villamossági Művek) által gyártott villamos készülékek fejlesztési-, típuspróbáihoz és az exportszállításokkal összefüggő átadási vizsgálatokhoz vettük igénybe.

A külföldi zárlati laboratóriumokban elvégzett vizsgálatok során — amelyek eredményei mind a gyártó, mind a felhasználó iparág, továbbá az exportáló külkereskedelmi szervek részére elengedhetetlenül szükségesek — a vizsgálatok lebonyolításán túlmenően mód nyílt az említett külföldi intézetek vizsgáló berendezéseinek, különleges mérőeszközeinek és vizsgálati módszereinek alapos megismerésére is. Ezeket az ismereteket és tapasztalatokat saját vizsgálóberendezéseink létrehozása során és üzemében előnyösen hasznosítani tudtuk és tudjuk.

Amint azt már az előbbiekben is említettük, a VKI és a VEIKI zárlati laboratóriumainak teljesítményeit meghaladó vizsgálatok elvégzésére a jövőben sem mérhető a nagy külföldi zárlati laboratóriumok bizonyos mértékű igénybevételét.

#### Folyamatban levő egyéb kutatási feladatok

Az előbbiekben ismertetett kutatási témákon túlmenően a Villamos Készülék Osztály számos egyéb kutatási témájának a kidolgozása van folyamatban, az erőáramú készülékgyártó vállalatok részére. Ezek közül néhány legfontosabbat említünk meg:

- középvezetési, 750 MVA zárlati teljesítményű hálózaton alkalmazható szakaszolószorozat érintkezőrendszerének kialakítása
- középvezetési, NOMSZ 100-20/200 típusú nagyolajterű megszakító korszerűsítése
- tirisztorok alkalmazásának kutatása kisvezetési váltakozó- és egyenáramú készülékek területén
- egyenáramú kontaktorok ívöltő szerkezetének kialakítása és vizsgálata
- középvezetési, korszerű szigetelőanyagok felhasználásával készülő tokozott berendezések kialakításával kapcsolatos kutatási munkák
- kisvezetési kontaktorelemek számára egységes méretezési eljárás kidolgozása az eddigi kutatási eredmények alapján, az egyes készülékelemek közötti összefüggés figyelembevételével
- korszerű termisztoros motorvédelem kidolgozásával kapcsolatos kutatás.

A Villamos Készülék Főosztály az előbbiekben ismertetett feladatokon kívül az erőáramú készülékgyártó ipar részére számos olyan kisebb kutatási feladatot is megoldott, amelyek a gyárak fejlesztési tevékenysége során merültek fel és megoldásuk a kutatási tervtől függetlenül szükségessé vált. A készülékgyártó vállalatok és a Villamos Készülék Főosztály közötti jó műszaki és kollegiális kapcsolat minden ilyen esetben biztosította a felmerülő problémák gyors és sikeres megoldását.

#### 3.2 Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztálya

A Villamos Készülék Főosztály kezdettől fogva törekedett a Villamos Készülék Osztály kutatásaihoz szükséges vizsgálatok elvégzésére, valamint az erőáramú készülékgyártó ipar számára a fejlesztéssel és a késztermékek szabványos vizsgálataival kapcsolatos vizsgálati igények nagyrészből kielégítésére alkalmas zárlati próba-berendezés létrehozására. A készülékgyártó ipar minden vizsgálati igényét kielégítő kis-, közép- és nagyvezetési zárlati laboratóriumok megvalósításáról, igen nagy

létesítési költségeik miatt, nem is lehetett szó, ezért meg kellett elégednünk a vizsgálati igények nagyobb részét kielégítő, szerényebb anyagi lehetőséggel is megvalósítható, közepes teljesítményű próbaberendezések létrehozásával.

*Kisfeszültségű váltakozó- és egyenáramú zárlati laboratóriumunk* tervezése a kezdetben igen kis létszámú Villamos Készülék Osztály kutatási kapacitásának jelentős részét lekötötte. A tervezés során igen előnyösen tudtuk értékesíteni azokat a tapasztalatainkat, amelyeket a külföldi zárlati laboratóriumokban lefolytatott nagy teljesítményű vizsgálatok elvégzése kapcsán a berendezések tanulmányozása során szereztünk.

*Kisfeszültségű váltakozóáramú zárlati laboratóriumunk* létesítéséhez a Ganz Villamossági Művek által a Villamosenergiaipari Kutató Intézet zárlati laboratóriuma részére tervezett és kivitelezett KNTZ 4000 típusú zárlati transzformátorral teljesen azonos műszaki adatokkal rendelkező zárlati transzformátort és megfelelő 10 kV-os oldali feszültségszabályozási lehetőségeket megvalósító feszültségszabályozó transzformátort építettünk be. Ugyanilyen típusú transzformátor szolgál a *szilíciumdiódás egyenáramú zárlati próbaberendezésünk* táplálására is.

A kisfeszültségű váltakozó- és egyenáramú próbaberendezéseinket úgy alakítottuk ki, hogy azok egymástól függetlenül is használhatók. Az azonos műszaki adatokkal rendelkező zárlati transzformátorok felhasználása a váltakozó- és egyenáramú zárlati laboratóriumokban azzal az előnnyel jár, hogy az egyik zárlati transzformátor meghibásodása esetén a még ép második transzformátor felhasználásával mind a váltakozó-, mind az egyenáramú próbaberendezés, bár ebben az esetben egyidejűleg nem, de külön-külön üzemeltethető.

A váltakozóáramú zárlati próbaberendezést 1966. év II. felében, míg az egyenáramú zárlati laboratóriumunk kísérleti berendezését, egyelőre csak kísérleti jelleggel, 1967. év folyamán helyeztük üzembe. Tekintettel arra, hogy a szilícium egyenirányítós zárlati próbaberendezéssel kapcsolatban sem irodalmi, sem tapasztalati adatok nem álltak rendelkezésre, ennek a berendezésnek a létrehozása komoly kutatási előkészítést követelt. A kísérleti egységekkel szerzett tapasztalatok alapján folyamatban van az építőszekrényszerűen kialakítandó egyenáramú próbaberendezés végleges kiépítése.

A kisfeszültségű váltakozóáramú laboratóriumunk 100...1000 V feszültségtartományban, a feszültségtől függően, alkalmas maximálisan 80 kA<sub>eff</sub> értékű aktív és passzív zárlatvizsgálatok elvégzésére. Egyenáramú zárlati próbaberendezésünkkel, annak végleges kiépítése és üzembehelyezése után, a 220...3000 V közötti feszültségtartományban — a feszültségtől függően — kb. 8...30 kA áramokkal történő vizsgálatok elvégzésére lesz lehetőség. A váltakozó- és egyenáramú zárlati berendezés korszerű vezérlő-, mérő- és regisztrálóberendezései — amelyek állandó és rendszeres tökéletesítése is az osztály feladata — lehetővé teszik azt, hogy a vonatkozó hazai és külföldi szabványokban rögzített aktív és passzív zárlatbiztosági vizsgálatokat korszerű szinten bonyolítsák le, a berendezések ismertett műszaki adatainak határain belül. Így pl. az osztály az áramváltók viselkedésének a túláramok, ill. zárlati áramok tartományában való vizsgálatára különleges mérőberendezést fejlesztett ki.

A kisfeszültségű váltakozó- és egyenáramú zárlati próbaberendezésünk azonos villamos adatokkal rendelkező transzformátorainak megfelelő összekapcsolásával, továbbá a szabadtérben elhelyezett középfeszültségű transzformátor igénybevételével az 1969—70. évektől kezdődően kb. 50 MVA szimmetrikus háromfázisú teljesítményig terjedő *középfeszültségű, egy- és háromfázisú vizsgálatok elvégzésére* is lehetőségünk lesz. A berendezések megfelelő összekapcsolásával ily módon az 50 MVA felső tel-

jesítményhatárig 100 V-tól kezdődően kb. 45 000 V feszültségig bezárólag terjedő vizsgálatokat tudunk majd végrehajtani úgy, hogy ezen feszültséghatárokon belül a vizsgáló feszültséget kb. 200 V-os lépcsőkben tudjuk szabályozni. A kisfeszültségű próbaberendezések használhatósági határát az előbbieken elmondott módon és mértékben középfeszültségre is kiterjesztjük, amely vizsgálati lehetőséget nyújt majd a középfeszültségű készülék kutatáshoz és fejlesztéshez a túláramok és a kis zárlati áramok tartományára kiterjedően.

#### 4. Együttműködés hazai gyártó vállalatokkal és társintézetekkel

A Villamos Készülék Főosztály az erősáramú készülékgyártó ipar valamennyi vállalatával szoros együttműködésben áll és kutatási kapacitásának legnagyobb részét elsősorban a *Villamos Berendezés és Készülék Művek* és a *Ganz Villamossági Művek* fejlesztési tevékenységét alátámasztó kutatási feladatok elvégzésére fordítja. Ezen túlmenően a főosztály egyéb vállalatokkal és társintézetekkel is kapcsolatban van. Igen jó és hasznos az együttműködés az érintkezőanyag kutatás területén a *Vasipari Kutató Intézettel* és a nagyteljesítményű vizsgálatok területén a *Villamos-energiaipari Kutató Intézet Nagyteljesítményű Laboratóriumával*. A jó együttműködést az említett vállalatokkal és intézetekkel a műszaki kapcsolatokon túlmenően igen jó személyi kapcsolatok is előmozdítják.

#### 5. Nemzetközi együttműködés

A Villamos Készülék Főosztálynak *közvetlen együttműködése* van a csehszlovákiai VUSE és a kelet-németországi IPH kutató intézetekkel.

A Villamos Készülék Főosztály résztvesz a *szocialista országok zárlati laboratóriumainak többoldali együttműködésében* is. Ennek keretében is a legfontosabb partnereink: a csehszlovákiai VUSE és a berlini IPH kutatóintézet.

A közvetlen együttműködésen túlmenően a főosztály a külföldi zárlati vizsgálatok elvégzése során kapcsolatban van a 3.1 pontban (334. old.) felsorolt egyéb külföldi zárlati laboratóriumokkal is.

A főosztály munkatársai többször jártak külföldön, részben az előzőekben említett közvetlen együttműködési szerződések keretében — konzultációs céllal —, részben pedig a külföldi zárlati laboratóriumokban elvégzett vizsgálatok lebonyolítására. A konzultációk és a zárlati vizsgálatok lebonyolítása során szerzett tapasztalatokat a kutatási munkáknál eredményesen hasznosítani tudtuk.

Itt jegyezzük meg, hogy a főosztály munkatársai a Transelektro Magyar Villamossági Külkereskedelmi Vállalat felkérésére több alkalommal szakértőként részt vettek az exportszállításokkal összefüggő, külföldön lefolytatott műszaki tárgyalásokon is.

#### 6. Irodalmi működés. Előadások. Szabadalmak

A Villamos Készülék Főosztály kutatói a főosztály kutatási munkájáról és kutatási eredményeiről számos *magyar nyelvű szakcikkben és tanulmányban* számoltak be. Ezenkívül a legjelentősebb kutatási eredmények külföldi szakfolyóiratokban is publikálásra kerültek.

A főosztály kutatási tevékenységének és az ezzel kapcsolatos publikációk értékelését és elismerését jelenti az a tény, hogy elsősorban a középfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal és az érintkezőanyag kutatással foglalkozó *idegen nyelvű publikációinkat* neves külföldi szaklapok is referálták rövidített formában, továbbá neves külföldi szakemberek könyveiben a tárgyra vonatkozó publikációk között is felsorolják. Különösen nagy érdeklődést keltettek a főosztály munkatársainak a hálózati önregrésszámnak a középfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók működésére való befolyásával\*, továbbá az egységesített érintkezőanyagvizsgáló berendezéssel és vizsgálati módszerrel kapcsolatos javaslatokkal\*\* foglalkozó német nyelvű tanulmányai.

A szakirodalmi tevékenységen túlmenően a főosztály munkatársai számos *magyar nyelvű hazai előadásban*, továbbá külföldi elektrotechnikai kongresszusokon és ankétokon *idegen nyelvű előadásokban* ismertették elsősorban a közép- és kisépfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók és a villamos érintkezőanyagok kutatása terén elért eredményeiket.

A Villamos Készülék Főosztály munkatársai az elmúlt időben összesen 10 *találmányt* jelentettek be szabadalmaztatásra. E *szabadalmak* felhasználásával folyik a kisépfeszültségű S-NOL-, NOGe-, NOSi és NOLG-típusú kékes rendszerű és a Doe-típusú egyenáramú D-rendszerű, az NNGf- és NNGfe-típusú középfeszültségű nagy megszakító-képességű áramkorlátozó olvadóbiztosítók és a szinkron rákapcsolókészülékek gyártása. Egyes találmányainkra *több külföldi országban is szabadalmi védeltséget kaptunk*.

## 7. Hazai és nemzetközi szabványosítási munkában való részvétel

Részt veszünk a *Magyar Szabványügyi Hivatal* Villamossági Osztálya kis- és középfeszültségű készülékekkel és áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal foglalkozó szabványbizottságaiban. Munkatársaink a Magyar Szabványügyi Hivatal megbízásából számos magyar szabvány tervezetét készítették el.

A főosztály munkatársai aktívan közreműködnek a *Nemzetközi Villamos Bizottság* (International Electrotechnical Commission IEC) villamos készülékekkel és áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal foglalkozó különféle nemzeti bizottságainak munkájában is. Több esetben képviseltük a Magyar Nemzeti Bizottságot az IEC különféle műszaki bizottságainak és munkabizottságainak ülésein.

## 8. A Villamos Készülék Főosztály továbbfejlesztése

Az elmúlt 20 esztendő alatt a Villamos Készülék Főosztály elsősorban a közép- és kisépfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók, kisépfeszültségű kapcsolókészülékek és bizonyos mértékben a középfeszültségű kapcsolókészülékek területén is, sok és eredményes kutató munkát végzett és az említett területeken megteremtette a hazai fejlesztéshez szükséges kutatási bázist. Ez a kutatási bázis részben a készülékfejlesztés-

\* Dr. Mocsáry J.: Untersuchungen von strombegrenzenden Hochspannungs-Hochleistungs-Sicherungen in Stromkreisen mit unterschiedlichen Netzeinschwingfrequenzen. Elektrotechnik und Maschinenbau (E und M), 81. (1964) p. 655—661.

\*\* Dr. Néveri I.: Kontaktwerkstoffprüfungen für Niederspannungsschaltgeräte. Elektrische, 20. (1966) 1, 11—13 old.

hez szükséges kutatási munkák, részben a fejlesztéshez és a kutatáshoz szükséges nagy teljesítményű vizsgálatok elvégzésével a hazai erősáramú készülégyártó ipar rendelkezésére áll.

Elmondhatjuk, hogy a közép- és kiefeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók és a kiefeszültségű váltakozóáramú kapcsolókészülékek területén megfelelő kutatógárdával rendelkezünk és vállaljuk az ezen a téren felmerülő összes kutatási feladat megoldását.

Egyenáramú szilícium egyenirányítós zárlati próbaberendezésünk birtokában elkezdünk az egyenáramú kapcsolókészülékekkel és biztosítókkal kapcsolatos kutatást is. Bár ezen a területen lényegesen kevesebb kutatási tapasztalattal rendelkezünk, mint a váltakozóáramú villamos készülékekkel kapcsolatban, megfelelő kutatók kinevelésével a jövőben az egyenáramú készülékek fejlesztésével kapcsolatos kutatási igények kielégítését is biztosítani tudjuk.

Középfeszültségű kapcsolókészülékek vonalán — a nagy teljesítményű megszakítók zárlati vizsgálatainak műszaki irányításán és elvégzésén túlmenően — is megtettük a kezdő lépéseket. Ezen a területen a középfeszültségű, korszerű érintkezőrendszerrel rendelkező szakaszoló sorozat kidolgozása és a középfeszültségű, nagyolajterű megszakítók korszerűsítése kezdeti eredményként értékelhető. A Nagyteljesítményű Vizsgálatok Osztálya laboratóriumai középfeszültségű bővítményének elkészülte és üzembehelyezése után — kis- és közepes teljesítményű vizsgálati lehetőségek birtokában — módunkban lesz a rendszeres kutató tevékenységet a középfeszültségű kapcsolókészülékek bizonyos területére is kiterjeszteni. Ezen laboratórium üzembehelyezése után pl. a középfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók igen hosszú időt és nagy műszaki felkészültséget igénylő túlárambiztosítási vizsgálatainak elvégzésére is lehetőségünk lesz, ami a külföldi laboratóriumokban elvégzendő vizsgálatok számának csökkentését is eredményezi.

Kiefeszültségű kapcsolókészülékek vonatkozásában — az előző fejezetekben már ismertetett területeken — folytatjuk a további kutató munkát. Különösen nagy súlyt helyezünk az ívmentes megszakítással kapcsolatos feladatokra és az egykristály egyenirányítók egyen- és váltakozóáramú kapcsolástechnikai alkalmazásaira. Kutatási tevékenységünkben általában nagy figyelmet szentelünk a félvezetőknek készülékekben való alkalmazási lehetőségeire.

Vizsgálóberendezéseink és vizsgálati módszereink korszerű szinten tartása érdekében állandóan tovább kívánjuk fejleszteni zárlati laboratóriumainkat, amelyek a jövőben — teljes kiépítésük után — kielégítik majd a hazai kiefeszültségű váltakozó- és egyenáramú készülékkutatással és fejlesztéssel kapcsolatos vizsgálati igényeket és korlátozott mértékben segítséget nyújtanak a középfeszültségű készülék-kutatásokhoz szükséges vizsgálatok területén is.

Megjegyezzük, hogy a Villamos Készülék Főosztály közeli és távlati célkitűzései teljes mértékben összhangban vannak az iparági készülékfejlesztési elképzelésekkel és mindig figyelembe veszik a hazai felhasználók és az export szempontjait. Úgy véljük, hogy a jelenleg rendelkezésre álló kutatási kapacitás és vizsgálóberendezéseink a jövőben lehetővé teszik az erősáramú készülégyártó ipar kutatási igényeinek kielégítését és kutatási eredményeink hozzásegítik készülégyártó iparunkat fejlesztési elképzeléseinek megvalósításához, amely végső soron korszerű műszaki szinten álló készülégyártást tesz lehetővé.

## 9. Összefoglalás

Az előzőekben röviden ismertettük a Villamos Készülék Főosztály kutatási tevékenységét és fennállása alatt elért legjelentősebb kutatási és fejlesztési eredményeit. Megállapítottuk, hogy a közép- és kiefeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók és kiefeszültségű kapcsolókészülékek kutatása területén felmerülő összes feladat megoldására alkalmas kutatószemélyzettel és korszerű vizsgálóberendezésekkel rendelkezünk. Középfeszültségű kapcsolókészülék-kutatás területén is megtette a főosztály a kezdeti lépéseket. A főosztály nagy súlyt helyez a jövőben is az ismertett kutatási területek továbbművelésére, továbbá a félvezető technika adta lehetőségeknek a készülékkutatás területén történő kihasználására is.

A kutatási eredményeken túlmenően beszámoltunk a főosztály munkatársainak szakirodalmi tevékenységéről, hazai és külföldi előadásairól, hazai és nemzetközi szabványosítási munkában való részvételéről. Ismertettük a hazai vállalatokkal és társintézetekkel, továbbá külföldi társintézetekkel és zárleti laboratóriumokkal való kapcsolatunkat.

Megállapítottuk, hogy a Villamos Készülék Főosztály kutatási célkitűzései megfelelnek a készülékgyártó iparág távlati fejlesztési elképzeléseinek és figyelembe veszik a félvezető-technika felhasználásából adódó lehetőségeket is.

Végezetül köszönetemet fejezem ki a Villamos Készülék Főosztály munkatársainak lelkiismeretes, odaadó munkájukért, amellyel a főosztály eredményeinek és sikereinek eléréséhez hozzájárultak.

# 24.

## Áramkorlátozó olvadóbiztosítók olvadószál-konstrukcióinak összehasonlítása

*DR. MOCSÁRY JÓZSEF*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány összehasonlítást tesz az áramkorlátozó olvadóbiztosítók olvadószál-konstrukciói között, különös tekintettel a biztosítóknak a túláramok és zárlati áramok tartományában történő biztonságos működésére. A levont következtetések általános érvényűek. Megállapítja, hogy a korszerű áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal szemben támasztott követelményeket csak a többszörös megszakítást eredményező, sűrű osztásban folyamatosan változó keresztmetszetű olvadóelem-konstrukcióval lehet kielégíteni.

### СРАВНЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПЛАВКОЙ НИТИ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ТОКА

*Др. Й. Мочари*

#### Резюме

В статье дается сравнение конструкций нити плавких предохранителей — ограничителей тока, особое внимание уделяется надежности срабатывания предохранителей в диапазоне сверхтоков и токов короткого замыкания. Выводы статьи имеют обобщающий характер. Определяется, что для выполнения требований, предъявляемых к современным плавким предохранителям — ограничителям тока, необходимо иметь такую конструкцию плавкого элемента, которая имеет постоянно изменяющееся сечение, обеспечивающее многократное прерывание тока.

### VERGLEICH DER SCHMELZLEITERKONSTRUKTIONEN STROMBEGRENZENDER SCHMELZSICHERUNGEN

*Dr. J. Mocsáry*

#### Zusammenfassung

Der Aufsatz gibt einen Vergleich zwischen den Schmelzleiterkonstruktionen von strombegrenzenden Schmelzsicherungen mit besonderer Hinsicht auf die sichere Funktion der Sicherungen im Bereich der Überströme sowie der Kurzschlussströme. Die Folgerungen sind von allgemeiner Gültigkeit. Der Autor stellt fest, dass den modernen strombegrenzenden Schmelzsicherungen gegenüber gestellten Anforderungen nur mit modifizierten Schmelzleiter-Konstruktionen erfüllt werden können, die mehrfache Unterbrechung gewährleisten.

# COMPARISON OF THE FUSE ELEMENT CONSTRUCTIONS OF CURRENT-LIMITING FUSES

Dr. J. Mocsáry

## Summary

In this study the author compares the different fuse element constructions of current-limiting fuses, with particular regard to the safe operation of the fuses in the over-current and short-circuit current ranges. The conclusions drawn in the paper are of general validity. The author states that the requirements for the up-to-date current limiting fuses can only be met with modified fuse elements with multiple breaks.

Mint ismeretes, az áramkorlátozó olvadóbiztosítók olvadóelemének kialakítása nagymértékben befolyásolja a biztosítók műszaki jellemzőit, nevezetesen a biztosítók kiolvadási (idő—áram) jelleggörbéjét, melegedési viszonyait, áramkorlátozó- és megszakítóképeségét és túlfeszültség-viszonyait. A különböző célra készülő olvadóbiztosítók olvadóelemének kialakítását a felhasználás körülményei határozzák meg.

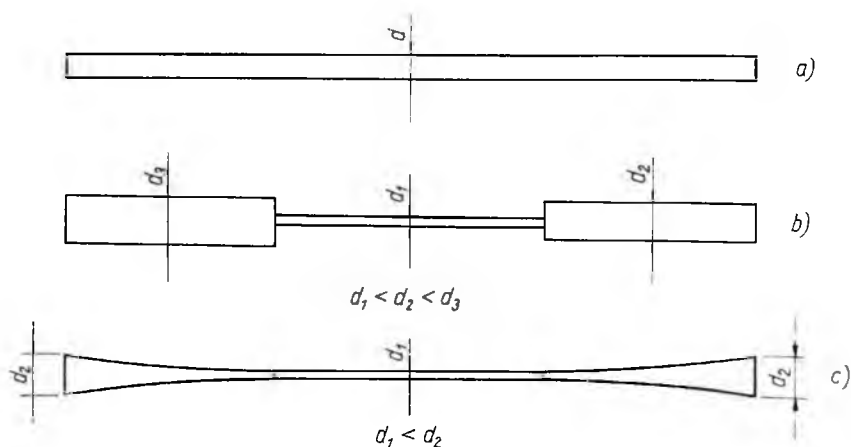
Jelen rövid összehasonlításban nem foglalkozunk részletesen a kiolvadási jelleggörbe kialakításának szempontjaival, de ismertetjük mindazokat a körülményeket, amelyek az áramkorlátozó biztosítóknak a túláramok és zárlati áramok tartományában való biztonságos működését befolyásolják.

A tanulmányban levont következtetések általános érvényűek, tehát mind a kis-, mind a nagyfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítókra érvényesek.

A különböző olvadószál-konstrukciókat az alábbiakban hasonlítjuk össze.

## 1. Egész hosszában változatlan keresztmetszetű olvadóelem

Az ilyen olvadóelemű (24-1a ábra) biztosítók olvadószála viszonylag hosszú. Ezt az egyszeres megszakítást eredményező szálkonstrukció folytán az ívöltási viszonyok követelik meg. Az ilyen olvadóelemekkel készült biztosítók a zárlati áramok tartományában általában megbízhatóan működnek; az olvadóelem teljes hosszában egyszerre olvad és gőzölög el, és ily módon már a megszakítási folyamat elején igen



24-1. ábra



nagy ellenállás iktatódik be az áramkörbe, az áramlevágás biztonságosan bekövetkezik, majd a folyamat az áram hirtelen csökkenésével folytatódik. A hirtelen áramlevágás, ill. áramváltozás nagy túlfeszültséget okoz, amely a védendő berendezések szigetelését veszélyezteti.

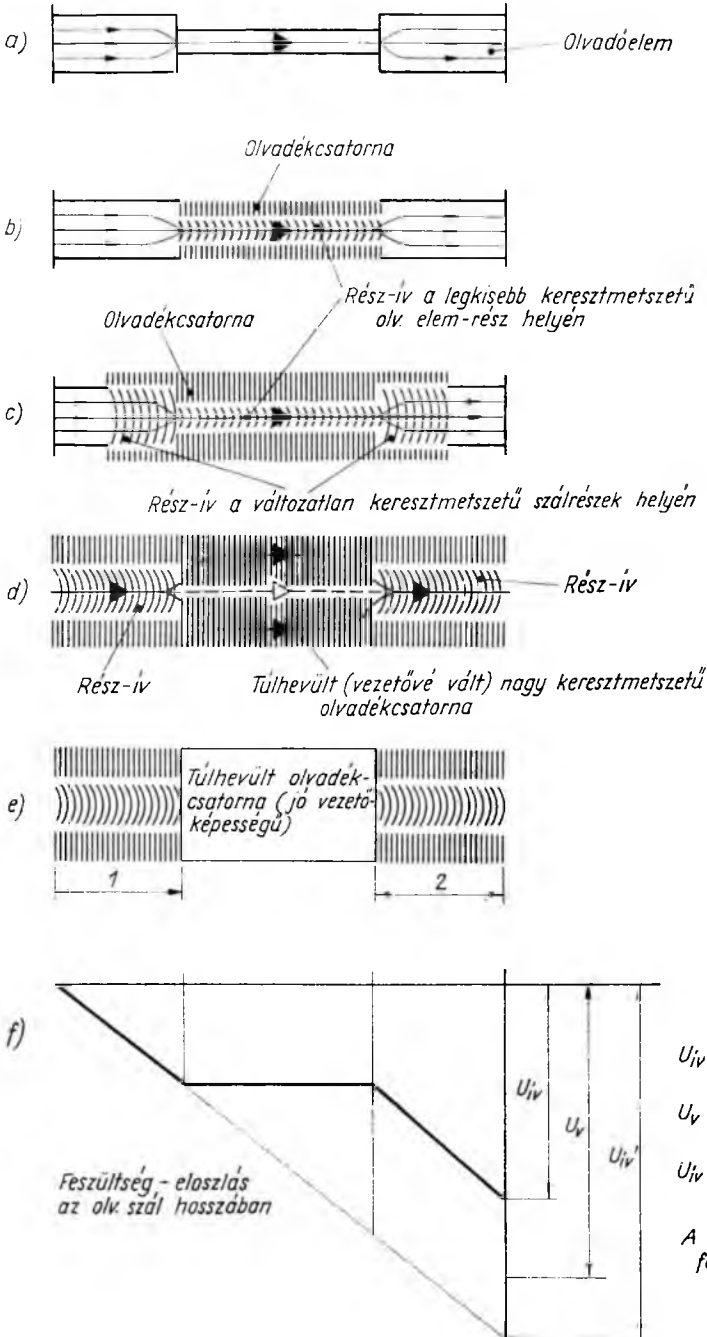
A túláramok tartományában a biztonságos működéshez lényegesen hosszabb olvadóelemre van szükség, mint a zárlati működéshez; ez viszont a zárlati áramok tartományában a megengedettnél nagyobb túlfeszültség keletkezését okozza. A túlfeszültség veszélytelen értéken tartása érdekében az olvadóelem hosszát kellene csökkenteni, ez azonban egyértelmű lenne azzal, hogy a biztosító a túláramok tartományában bizonytalanul működne, vagy az áramkört egyáltalán nem tudná megszakítani [1]. Az elmondottak alapján ma már ezt az olvadószál-konstrukciót nem nagyon használják, hanem az olvadóelemeket változó keresztmetszetűre képezik ki.

## **2. Hosszú változatlan és hosszú változó keresztmetszetű szakaszokkal készülő olvadóelemek**

Ezen olvadóelemek (24-1b és 24-1c ábra) csökkentett keresztmetszetű részének hossza általában a teljes hosszának viszonylag nagy százalékát teszi ki [1]...[4]. A megszakítási folyamat kezdetén viszonylag nagy, de az 1. pont alatt ismertetett olvadóelem-konstrukcióhoz képest lényegesen kisebb ellenállás iktatódik az áramkörbe. Az áramlevágás itt is bekövetkezik, de az áramnak a levágást követő változása nem olyan gyors, mint az 1. pont alatti esetben. A hirtelen áramváltozás itt is — a viszonylag hosszú, kis keresztmetszetű olvadóelem-szakasz miatt — nagy kapcsolási túlfeszültségeket okoz, de a kapcsolási túlfeszültségek értéke ennél az olvadóelem-konstrukciónál a megengedett értékre korlátozható. A 24-1b és 24-1c ábra szerinti olvadóelem-konstrukciónak nagy hátránya, hogy a kis túláramok tartományában történő működéskor hosszú az ívidő. A csökkentett keresztmetszetű szakaszok mellett elhelyezkedő hosszú, nagy keresztmetszetű olvadóelemrészek teljes megolvasztásához és elgőzölögtetéséhez hosszú idő szükséges. A hosszú ívidő folyamán a legkisebb keresztmetszetű szálrész helyén keletkezett viszonylag hosszú ív közvetlen környezetében, az ív igen magas hőmérséklete következtében, a kvarchomok szemcsék összeszinterelődnek, ill. összeolvadnak és ily módon jó vezetőképességű szinter-, ill. olvadécsatornát alkotnak. Ha az ívidő túl hosszú, a szinter-, ill. olvadécsatorna túlhevül, negatív ellenállás-hőmérséklet karakterisztikája következtében egyre jobban vezetővé válik és ily módon az elégtelen villamos szilárdság miatt a biztosító az áramkört nem tudja megszakítani és felrobban [1]...[6].

Az ilyen olvadóelemekkel készült áramkorlátozó olvadóbiztosító viszonylag nagy zárlati áramokat tud biztonságosan megszakítani, tehát megszakítóképesége viszonylag nagy, de — az előbbieken részletezett okok miatt — a túláramok tartományában és különösen a kis értékű túlterhelések esetén bizonytalanul működik, az áramkört nem tudja biztonságosan megszakítani. Ezek a biztosítók tehát lényegében csak a nagy túláramok és zárlati áramok megszakítására alkalmasak, tehát felhasználási területük is csak erre az áramtartományra korlátozható.

A biztosítók kis túláramok tartományában való működését, az ív- és olvadécsatorna kialakulását, továbbá az ívfeszültségnek az olvadóelem hossza mentén történő eloszlását a 24-2. ábra alapján magyarázzuk. A 24-2a ábra hosszú szakaszokkal rendelkező, lépcsősen változó keresztmetszetű olvadóelemet tüntet fel, míg a 24-2b...d ábrák az ív- és olvadécsatorna-képződés különböző fázisait szemléltetik. Az ábrákon a nyíllal jelölt vonalak az áram útját, ill. az árameloszlást mutatják.



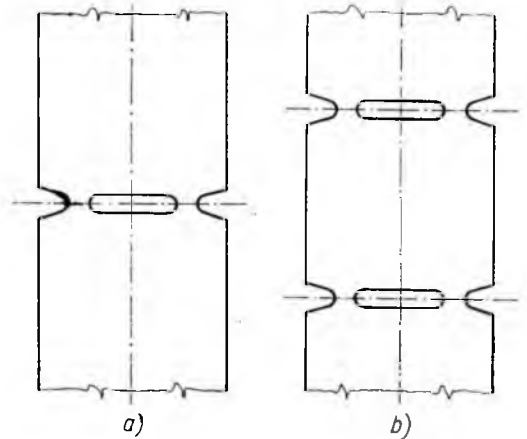
24-2. ábra

A 24-2d ábrán jól látható, hogy a középső szakaszon a szaggatott vonallal jelölt ívtől az áramvezetést a forró, igen kis ellenállású olvadékcatorna veszi át, amelyet a 24-2e egyszerűsített ábrán is érzékeltetni kívántunk. A 24-2f ábrából látható, hogy a középső olvadékcatorna-szakaszon fellépő feszültségésés, a túlhevülés következtében az 1 és 2 szakasz ívellenállásához képest elhanyagolhatóan kicsi, és így az ívellenállások összege kisebb, mint a hálózati feszültség. Ebben az esetben a hálózati feszültség korlátozás nélkül át tudja hajtani az áramot a biztosítón, amely a nagy ívenergiát nem képes felemészteni és a biztosító felrobban. Meg kell jegyezni, hogy az áramkorlátozás és a biztonságos működés feltétele, hogy a biztosítón bekövetkező feszültségésésnek, tehát lényegében az ívfeszültségnek, a megszakítási folyamat alatt nagyobbak kell lennie, mint a hálózati feszültség pillanat-értéke. Ez utóbbi feltétel csak olyan olvadóelem-konstrukcióval érhető el, amelynél az olvadékcatorna túlhevülése elkerülhető.

### 3. Rövid csökkentett keresztmetszetű szakasszal rendelkező olvadóelem

Ilyen olvadóelem-konstrukciókat (24-3. ábra) a nagy áramkorlátozó-képesség és igen gyors működés biztosítására alakítottak ki [7]...[11]. Az ilyen olvadóelemek előnye az előbbi pontokban ismertetett olvadóelemekkel szemben, hogy az igen rövid csökkentett keresztmetszetű szakasz és a hosszú, igen nagy keresztmetszetű szárlészál által biztosított kedvező hőelvezetési viszonyok következtében, igen nagy áramsűrűség érhető el a csökkentett keresztmetszetű olvadószál-szakaszban. Az áramsűrűség ez esetben az előbbi pontokban ismertetett olvadóbiztosítók olvadóelemében megengedett érték többszöröse, ezért az ilyen olvadóelemekkel készült biztosítók igen gyors kiolvadásúak, és igen nagy az áramkorlátozó-képességük.

A rövid, csökkentett keresztmetszetű szakasz következtében e biztosítók működésükkor kis túlfeszültséget okoznak. Hátrányuk az, hogy a rövid, csökkentett keresztmetszetű szakaszok helyén rövid, kis ellenállású ív iktatódik be az áramkörbe a megszakítási folyamat kezdetén, ezért a viszonylag alacsony áramértéknél történő áramlevágás után az áram további növekedése



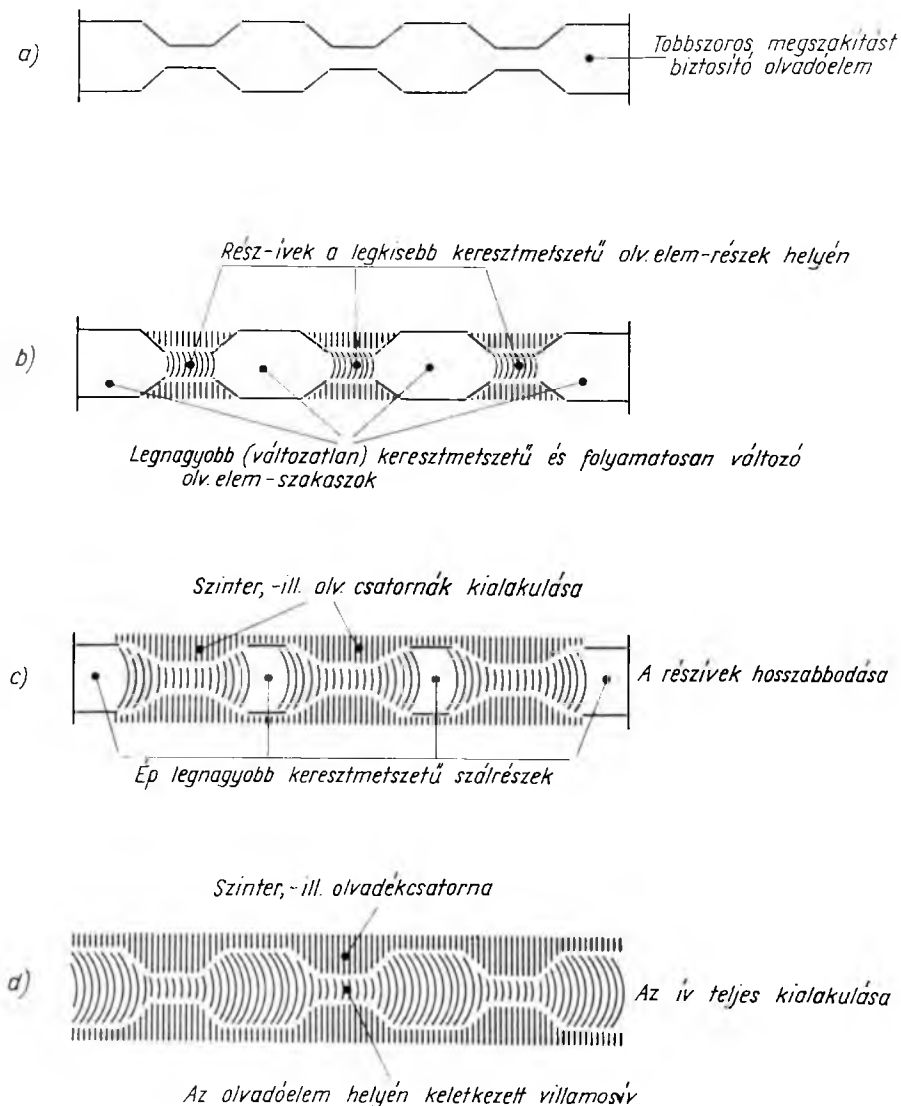
24-3. ábra

és a biztosító felrobbanása következne be, kis és nagy zárlati áramoknál egyaránt, ha nem gondoskodnánk megfelelő módon az ívöltási viszonyok megjavításáról. Ezen pl. úgy segítenek, hogy a csökkentett keresztmetszetű részt vagy részeket szervesetlen szigetelőanyagból készült rátélapok közé helyezik és a nyomáseffektus kihasználásával biztosítják a nagy ívfeszültséget és a fokozott ívöltó hatást [11]. Az így készülő, főképpen a drága félvezető egyenirányítókat védő, biztosítók gyártása meglehetősen költséges, a biztosítók ára a közönséges áramkorlátozó olvadóbiztosítók árának többszöröse, ezért e biztosítók csak kifejezetten a félvezető egyenirányítók védelmére kifizetődők.

#### 4. Többszörös megszakítást eredményező, sűrű osztásban változó keresztmetszetű olvadóelem

Az előbbieken ismertetett olvadóelemek felhasználásával készülő biztosítók általában csak a zárlati áramok tartományában működnek megbízhatóan és így módon csak a zárlatvédelem céljaira használhatók kellő biztonsággal.

A korszerű nagy megszakítóképeségű áramkorlátozó olvadóbiztosítókkal szemben támasztott egyre fokozódó követelmények olyan olvadózál-konstrukció kidolgozását és alkalmazását teszik szükségessé, amely kiküszöböli az eddigi szálonst-



24-4. ábra

rukciók hibáit és a teljes áramtartományban biztos működést eredményező ún. „általános-célú biztosító” létrehozását teszi lehetővé. Ezt a komplex feladatot, az egymásnak sokszor ellentmondó követelmények egyidejű kielégítését, csak kompromisszumos módon, az egyes tényezők optimális kihasználásával kialakított olvadószál-konstrukcióval lehet elérni. A feladatot a sűrű osztásban változó keresztmetszetű olvadóelemmel lehet megoldani. Ez a száلكonstrukció lehetővé teszi, hogy a biztosítóknak a túláramok tartományában történő biztonságos működését megakadályozó, az előbbiekben leírt, olvadécsatorna-túlhevülést elkerüljük, nagy áramkorlátozó- és megszakítóképeséget biztosítsunk és egyidejűleg a teljes áramtartományban veszélytelen kapcsolási túlfeszültséget érzünk el.

Az előbbiekben ismertetett szempontoknak megfelelően a nagy megszakítóképeséget és egyidejűleg nagy áramkorlátozó képeséget is szavatoló biztosító olvadóelemének hosszúnak kellene lennie, a túlfeszültségek csökkentése érdekében viszont ezzel ellentétben az olvadóelemnek a lehető legrövidebbnek kellene lennie. Ezt az ellentétes követelményt csak a sűrű osztású, *többszörös megszakítást* eredményező olvadóelem-konstrukcióval lehet biztosítani. Ez az olvadószál-szerkezet — a korábbi olvadószál konstrukciókkal szemben — lehetővé teszi az olvadóelemnek olyan mértékű lerövidítését, amely biztosítja a túlfeszültségnek a megengedett érték alatt maradását, ugyanakkor a többszörös megszakítás következtében, az ivóltási viszonyok nagymértékű megjavulása miatt, igen nagy megszakítóképeséget is biztosít. Az osztás sűrűségének, a csökkentett keresztmetszetű és változatlan olvadóelem-részek hosszának megfelelő kialakításával a túláramok tartományában is biztosítani tudjuk a rövid ividejű megszakítást, ami egyenértékű azzal, hogy a csökkentett keresztmetszetű részek helyén — a rövid ividő következtében — az olvadécsatorna túlhevülését megakadályozzuk [1, 3...6, 12].

A 24-4a ábra a többszörös megszakítást eredményező olvadóelem egy kiviteli alakját szemlélteti, a 24-4b...d ábrák pedig az ív- és szintercsatorna-képződés különböző fázisait mutatják. Túláramok megszakítása esetén is először a legkisebb keresztmetszetű szakaszok olvadnak és gőzölgnek el és helyükön részívek képződnek. Az ív hőhatására az olvadóelemnek a folyamatosan változó, majd változatlan keresztmetszetű részei gyorsan elolvadnak és elgőzölgnek, az ívrészek hosszabbodnak, míg végül a részívek egy ívvé folynak össze. A sűrű osztásnak megfelelően a nagyobb keresztmetszetű olvadóelemrészek elgőzölgése, ill. az ívrészek egy ívvé alakulása 1...2 félperiódus alatt megtörténik. Ez az idő olyan rövid, hogy ezalatt a legkisebb keresztmetszetű szálrészek környezetében kialakult szintercsatorna túlhevülése nem következhet be. Természetesen az ilyen olvadóelemekkel készült olvadóbiztosító szintercsatornájának a legkisebb keresztmetszetű szálrészek kör-



24-5. ábra

nyezetében elhelyezkedő részei — a vastagabb olvadóelemrészek környezetében kialakult szintercsatorna-részekhez képest — lényegesen vastagabbak, mivel ezen részek az ív teljes égési időtartama alatt ki vannak téve az ív hőhatásának. Az elmondottakat — a 24-4a ábra szerinti olvadóelemekkel készült 500 V feszültségű, 630 A névleges áramerősségű biztosítóra vonatkozóan — igen szemléletesen mutatja be a 24-5. ábra.

A többszörös megszakítást eredményező olvadóelemekkel készült áramkorlátozó olvadóbiztosítók túlárambiztossági vizsgálatai is egyértelműen igazolták ezen olvadóelem-konstrukció magasabbrendűségét az egyéb olvadószál-szerkezetekkel szemben.

### Irodalom

- [1] *Mocsáry J.*: Középfeszültségű, nagy megszakítóképességű áramkorlátozó olvadóbiztosítók elméleti és gyakorlati kérdései. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1961.
- [2] *Bitter, H.*: Hochspannungs-Hochleistungs-Sicherungen mit optimalem Schmelzleiter. Siemens Zeitschrift, H. 4 (1960. ápr.) p. 266—267.
- [3] *Dr. Mocsáry J.*: Középfeszültségű, nagy megszakítóképességű áramkorlátozó olvadóbiztosítók újfajta olvadószál-konstrukciói. Elektrotechnika, 57 (1964), 554—560. old.
- [4] *Dr. Mocsáry J.*: Medium-Voltage Current-Limiting Fuses of Extra-High-Rupturing-Capacity (realized by the application of New Fusing-Element Designs). Transelektro News, 3 (1965), p. 21—28.
- [5] *Dr. Mocsáry J.*: Schmelzleiterkonstruktionen strombegrenzender Sicherungen und ihr Verhalten bei Unterbrechung kleiner Ströme. Elektrie, 19 (1965), p. 310—312.
- [6] *Lohausen, K. A.*: Überstromunterbrechung mit strombegrenzenden Hochspannungssicherungen für Gleich- und Wechselstrom. Elektrie, 18 (1964), p. 24—29.
- [7] *Dr. Mocsáry J.*: Überflinke strombegrenzende NH-Sicherungen Typ NOGe und NOSi für Halbleitergleichrichter. Elektrie, 18 (1964), p. 208—209.
- [8] *Dr. Mocsáry J.*: Igen gyors kiolvadású áramkorlátozó olvadóbiztosítók félvezetőegyenirányítók védelmére. Elektrotechnika, 57 (1964), 455—460. old.
- [9] *Dr. Mocsáry J.*: Gyors működésű áramkorlátozó olvadóbiztosító c., 150.156. sz. magyar szabadalom.
- [10] *Dr. Mocsáry J.*: Ultrarapid High-Breaking-Capacity Current-Limiting-Fuses of Semiconductor-Rectifier Protection. Transelektro News, 5 (1966), p. 1—8.
- [11] *Dr. Mocsáry J.*: Kombinált ívoltási mód alkalmazása kisfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítóknál. Villamosipari Kutató Intézet Közleményei I (1966), 269—276. old.
- [12] *Dr. Mocsáry J.*: Neuere Untersuchungen an Hochspannungs-Hochleistungssicherungen mit sehr hohem Abschaltvermögen und niedrigen Schaltüberspannungen. Elektrie, 17 (1963), p. 305—307.

# 25.

## Кисфeszültségű szinkronkapcsoló készülék kidolgozása

DR. NÉVERI ISTVÁN

### ÖSSZEFOGLALÁS

A villamos készülékek vizsgálatára létesült nagy teljesítményű zárlati laboratóriumok egyik fontos feladata a feszültség különféle fázishelyzetében történő szinkron rákapsolás biztosítása. A cikk röviden ismerteti a megoldandó feladatokkal kapcsolatos műszaki nehézségeket. Megfelelő szinkronkapcsoló készülék birtokában nagymértékben könnyíthető egy nagy teljesítményű zárlati vizsgálat lefolytatása.

A Villamosipari Kutató Intézetben kidolgozott szinkronkapcsoló készülék egy vezérlő és egy mechanikus kapcsoló egységből áll. Az egyes egységekkel szemben támasztott műszaki követelmények és a megoldás ismertetése a cikk lényeges részét képezi. Egyik legnehezebb műszaki feladat az áramút megfelelő kialakítása és a pattogásmentes bekapcsolás biztosítása volt, a  $\pm 10^\circ$  villamos fokon belüli kapcsolási szórás megvalósítása mellett.

A vezérlőegység kialakítása olyan, hogy külön műszer nélkül is hitelesíteni lehet a készüléket az adott vizsgálóáramkörre.

A cikk részletesen ismerteti azokat a műszaki feladatokat, amelyre a kidolgozott kapcsolókészülékek alkalmazhatók a zárlati vizsgálatokon való felhasználáson túlmenően.

### РАЗРАБОТКА НИЗКОВОЛЬТНОГО СИНХРОННОГО ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯ

*Др. И. Невери*

#### Резюме

Одной из основных задач лабораторий коротких замыканий большой мощности, созданных для исследования электрической аппаратуры, является обеспечение синхронного включения в различных фазах напряжения. В статье дается краткое описание технических трудностей, связанных с разрешаемой задачей. Имея в распоряжении соответствующий синхронный переключатель, в значительной мере облегчается выполнение испытания короткого замыкания большой мощности.

Синхронный переключатель, разработанный Исследовательским Институтом Электрической промышленности, состоит из управляющего блока и блока механического переключения. Описание технических требований, предъявляемых к отдельным блокам и их исполнение занимает большую часть статьи. Одной из наиболее трудных технических задач является соответствующее создание пути тока и обеспечение безвибрационного переключения при разбросе переключения в пределах  $\pm 10$  электроградусов.

Блок управления может быть создан и без применения специального прибора для калибровки переключателя на данную испытательную цепь.

Статья дает подробное описание тех технических задач, для решения которых данный прибор может быть использован, наряду с применением его при испытании коротких замыканий.

## ENTWICKLUNG EINES NIEDERSpannungs-SYNCHRON DRAUFSCHALTER

*Dr. I. Néveri*

### Zusammenfassung

Eine der wichtigsten Aufgaben der zur Prüfung von Elektroapparaten und Geräten errichteten Hochleistungs-Kurzschlussstrom-Laboratorien ist die Sicherung des synchron erfolgenden Einschaltens bei verschiedenen Spannungsphasenstellungen. Die Abhandlung beschreibt kurz die mit den zu lösenden Aufgaben verbundenen technischen Schwierigkeiten. Mit einem entsprechenden Synchron-Draufschalter kann die Durchführung einer Hochleistungs-Kurzschluss-Prüfung weitgehend erleichtert werden.

Der im Forschungsinstitut der Elektroindustrie entwickelte Synchron-Draufschalter besteht aus einer Steuer- und einer mechanischen Schaltereinheit. Ein wesentlicher Teil des Beitrages beschäftigt sich mit den an die einzelnen Einheiten gestellten technischen Anforderungen sowie mit der Beschreibung der Lösung der Aufgabe. Zu den in technischer Hinsicht schwierigsten Aufgaben gehört die entsprechende Ausbildung des Stromweges und die Sicherung eines prellungsfreien Draufschaltens bei der Verwirklichung einer Einschaltzeit mit einer Streuung innerhalb  $\pm 10^\circ$  (electr. Grad).

Die Ausbildung der Steuereinheit verwirklicht die einfache Lösung verschiedener Eichproblemen.

Die Abhandlung beschreibt ausführlich die technischen Aufgaben, für welche die Draufschalter ausser den Kurzschlussprüfungen verwendet werden können.

## DEVELOPMENT OF A LOW-VOLTAGE MAKING-SWITCH

*Dr. I. Néveri*

### Summary

The provision for synchronous switching in different phase positions of the voltage is an important task of highpower short-circuit testing laboratories established for the testing of electrical devices and appliances. The author describes the technical difficulties connected with the duties to be fulfilled. High-power short-circuit tests can be facilitated considerably with a suitable synchronous making switch.

The making switch developed by the Research Institute of the Electrical Industry comprises a control and a mechanical switching unit. The technical requirements of each unit and the description of the solution form an essential part of the paper. One of the most difficult technical tasks was the suitable development of the current path and the provision of bounceless making, along with the realization of the spreading of switching within  $\pm 10$  electric degs.

Calibrating problems can be solved by the right construction of the control unit.

The author describes in detail the technical tasks which can be fulfilled with the making switches developed, in addition to their application to the short-circuit tests.

### 1. Bevezetés

A nagy- és kisméretű erőáramú készülékek zárlatbiztonságának vizsgálatára külön nagy teljesítményű zárlati vizsgáló laboratóriumok létesültek. Ezek elsősorban arra hivatottak, hogy a kapcsolókészülékek kapcsolóképességét meg lehessen határozni, ill. hogy igazolni lehessen az egyes készüléktípusokra vonatkozó adatok helyességét. A vizsgálóállomások fontos feladata az ún. passzív zárlati vizsgálatok elvégzése is, ami tulajdonképpen a zárlati áramoknak az egyes készülékfajtákra kifejtett termikus és dinamikus hatásait van hivatva ellenőrizni. Nagy jelentőségű



az olvadóbiztosítók zárlati vizsgálata is, amelyek során a megszakítóképeségén kívül meg kell határozni a biztosítók áramkorlátozó képességét is.

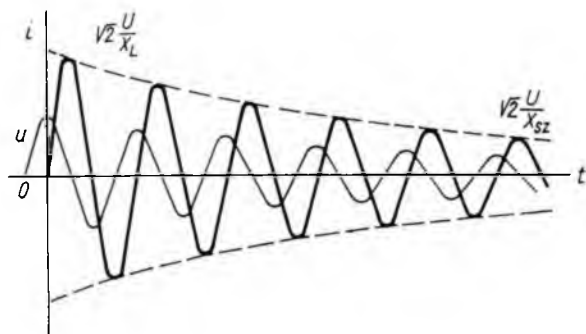
A zárlati vizsgálatok lebonyolításához elsősorban egy igen nagyértékű laboratórium szükséges, amely a szükséges energiát szolgáltatni tudja. Lényeges továbbá számos olyan különleges mérő- és regisztráló berendezés alkalmazása, amely a legtöbb esetben rövid időn belül lejátszódó tranzienst folyamatok érzékelésére alkalmas. Mindezek figyelembevételével egy-egy zárlati vizsgálat lebonyolítása az alkalmazott teljesítménytől függően, meglehetősen költséges. Nagy jelentősége van ezért minden olyan szerkezetnek, amely a vizsgálatok lebonyolítását meggyorsítja. Ebből a célból dolgoztunk ki Intézetünk Villamos Készülék Osztályán egy kisméretű szinkron kapcsolókészülék típusát, amellyel a szokásos zárlati vizsgálatok meggyorsításán túlmenően — a különféle készülékszabványokban előírt — különleges vizsgálatokat is igen egyszerűen el lehet végezni. Az utóbbi vizsgálatok a szinkron kapcsolókészülék nélkül úgyszólván megoldhatatlanok lennének.

## 2. A zárlati vizsgálatok igényei

A különféle készülékek termikus és dinamikus vizsgálataiban gyakran nehézséget jelent a kívánt maximális áramérték beállítása. A vizsgálatra beállított zárlati áramkörök teljesítménytényezője rendszerint igen kicsi ( $\cos \varphi = 0,2 \dots 0,4$ ). Ilyen áramkörökben lényeges a bekapcsolás pillanatának megállapítása, mivel az első áramhullám csúcserőssége attól függ, hogy az áramkört a hálózati feszültség milyen szög helyzetében kapcsoljuk be. Ha a bekapcsolás pillanatát tetszés szerint tudjuk beállítani, egy adott áramkörnél meglehetősen nagy határok között tudjuk változtatni az első áramhullám csúcserősségét. A 25-1. ábrán egy teljesen induktív kör szimmetrikus rövidzárlati áramának lefolyása látható. Az ábra szerint a zárlati áramkör bekapcsolásának pillanatában a feszültség pillanatértéke éppen maximális.

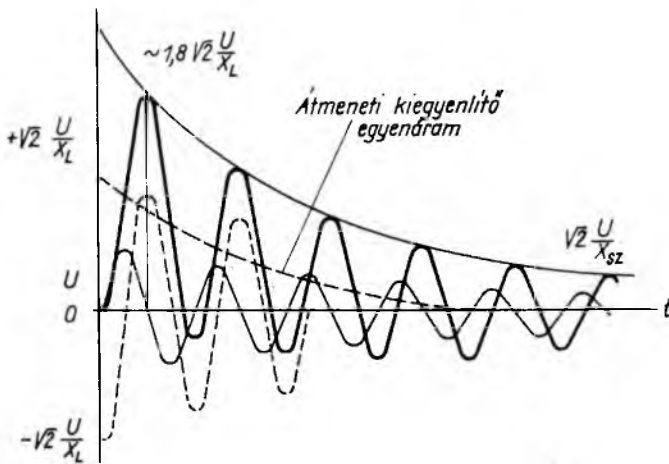
A 25-2. ábrán a rövidzárlati áram olyan lefolyása látható, amely a teljes aszimmetriára jellemző. Ebben az esetben, a zárlati áramkör bekapcsolásának pillanatában a feszültség pillanatértéke éppen zérus. A 25-1. és 2. ábra összehasonlításából megállapítható, hogy egyébként azonos áramkör esetén a bekapcsolás pillanatának megfelelő megválasztásával a maximális áramértéket 1...1,8-szoros értékek között tudjuk változtatni.

Egy olyan készülék birtokában tehát, amellyel a bekapcsolás pillanatát pontosan meg tudjuk határozni, a termikus és dinamikus vizsgálatok sok esetben összevonhatók. A készülékekre előírt termikus határáram beállítása mellett ugyanis mód van arra, hogy az aszimmetria megfelelő megválasztásával egyben a kívánt dinamikus áramértéket is biztosítani tudjuk. Ha a két vizsgálat összevonására nincs lehetőség, akár a gyártó vállalat különleges kívánságai miatt, akár azért, mert a ter-



25-1. ábra. Szimmetrikus rövidzárlati áram lefolyása

mikus és dinamikus áramértékek között 1,8-szeresnél nagyobb a különbség, az általunk kidolgozott készülék alkalmazásával még akkor is lényegesen egyszerűbbek a vizsgálatok. A dinamikus vizsgálatokhoz egy kapcsolással biztosan beállítható



25-2. ábra. Aszimmetrikus rövidzárlati áram lefolyása

a kívánt áramérték és így nem tesszük ki a vizsgálandó készüléket feleslegesen nagy igénybevételnek, és megelőzzük a vizsgálatok többszöri megismétlését. A termikus vizsgálatokhoz biztosítani lehet a szimmetrikus bekapcsolást és ismét elkerüljük a vizsgálandó készülék felesleges veszélyeztetettségét. Meg kell jegyeznünk, hogy ugyanilyen formában megvalósítható a vizsgálat szinkron kapcsolókészülék nélkül is, ha konduktív jellegű áramkörben végezzük a vizsgálatot, ilyenkor ugyanis a szimmetrikus bekapcsolás természetesen adódik. Ezen vizsgálatok során azonban az alkalmazandó — gyakorlatilag induktivitásmentes — ellenállások miatt a próbaállomás teljes kapacitása nem használható ki, és felesleges hibaforrásokot viszünk a vizsgáló áramkörbe.

Az áramkorlátozó olvadóbiztosítók vizsgálatára a szabványok előírják a feszültség különböző szöghelyzetében történő rákapcsolást. Szinkronkapcsoló készülék hiányában e vizsgálatok lebonyolítása igen hosszú időt vesz igénybe, és nagyon nagyszámú biztosítóra van szükség. Teljesen véletlenszerű, hogy hány bekapcsolás után tudjuk legalább megközelítően elérni a kívánt szöghelyzetet. Ha a próbaállomás szinkronkapcsoló készülékkel rendelkezik, egy ilyen vizsgálatosorozathoz csupán a szabványokban előírt szöghelyzetek számának megfelelő számú biztosítóbetéttel szükséges.

Nagymértékben egyszerűsíti a kutatást a szinkronkapcsoló készülék számos olyan különleges vizsgálat esetében, amely induktivitásokat tartalmazó áramkör viszonyait akarja tisztázni. Pl. fontos lehet annak meghatározása, hogy indukciós motorok, fojtótekercek, transzformátorok, vagy különféle elektromágnesek bekapcsolásakor a különböző időpontokban fellépő zárlati áramokban, vagy ún. indítási áramokban az aszimmetrikus bekapcsolás következtében milyen áramcsúcsok léphetnek fel. Működtetőmágnesek mozgási viszonyai pl. a bekapcsolási szöghelyzettől függően nagymértékben változnak, aminek ismerete pedig a felhasználás szempontjából egyáltalán nem közömbös (ez utóbbi követelmény azonban rendszerint csak kis névleges áramú szinkronkapcsoló készüléket igényel).

### 3. A szinkronkapcsoló készülékekkel szemben támasztott követelmények

A vizsgálati igények ismeretében, meghatároztuk azokat a főbb szempontokat, amelyeket egy jó szinkron kapcsoló kialakításánál figyelembe kell venni. Elsősorban az áramköri követelményeket tisztáztuk. Figyelembe véve Intézetünk kifizetésű zárlati laboratóriumának lehetőségeit, valamint az ipar igényeit, úgy találtuk, hogy 1000 V névleges feszültségig maximálisan 100 kA<sub>eff</sub> áramerősségre célszerű méretezni a készüléket. Így a szinkron kapcsoló dinamikus határárama 250 kA<sub>cs</sub>-ra adódott. A kapcsolási pontosság szempontjából  $\pm 10$  villamos fokot ( $\pm 0,55$  ms) írtunk elő, összhangban a biztosítósabványokkal.

A fenti műszaki követelmények biztosítása érdekében a készüléket úgy kellett kialakítanunk, hogy az érintkezők összeérése pillanatában ne fordulhasson elő visszapattantás, mert ez a készülék tönkremenetelét, vagy legalábbis az élettartam nagymértékű csökkenését okozná. A nagy teljesítményigények miatt nyilvánvaló volt, hogy csak mechanikus kapcsolószerkezetre gondolhatunk. Ehhez azonban olyan elektronikus berendezést kell készíteni, amely a feszültség fázishelyzetét érzékeli és a mechanikus kapcsolóegység igen gyors működtetését biztosítja. A készülékkel szemben támasztott további követelmény, hogy a névleges bekapcsolóképességének megfelelő 100 kA<sub>eff</sub> zárlati áramot legalább 5 periódusig tudja vezetni és a termikus vizsgálatok lebonyolításához 1 s-ig legalább 40 kA<sub>eff</sub> áram vezetésére legyen képes.

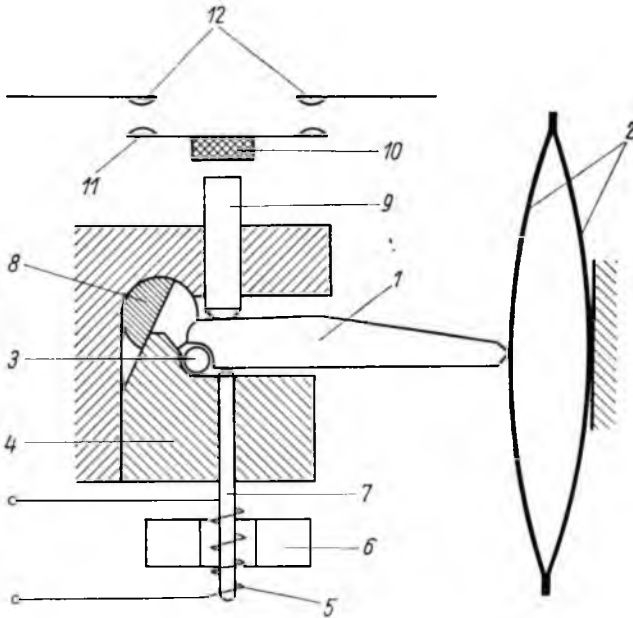
A kapcsolási pontosság szigorú betartása érdekében arra kellett törekednünk, hogy szinkronkapcsoló készülékünk minél gyorsabb működésű legyen, mert a kapcsoló önidejének szórása nyilvánvalóan annál kisebb, minél kisebb az önidő.

### 4. A készülék kialakítása és méretezése

A mechanikus rendszer kialakításából indultunk ki, mert mind az érintkezőrendszer, mind a működtetőszerkezet, csak ennek ismeretében alakítható ki célszerűen. Az volt a fő törekvésünk, hogy a gyors működés érdekében minél kisebb tömegű alkatrészekkel, az érintkezőnyomáshoz szükséges rugóerőt minél hatásosabban tudjuk biztosítani. Több kísérleti példány elkészítése után a 25-3. ábrán látható megoldás bizonyult a legmegfelelőbbnek.

A 25-3. ábrán a készüléket nyitott helyzetben ábrázoltuk. Ebben a helyzetben a mechanizmus reteszelt állapotban van. A reteszelt állapotot a 1 nyelv a 2 rugó támadáspontját magasabbra helyeztük, mint a 3 görgőnek a 4 pihenős lejtőn való felfekvési pontja. Így a kettős laprugó erejének jelentős része a reteszelt állapotot biztosítja. Azért alkalmaztunk laprugót, mert a számításaink szerint szükséges kb. 1000 kp érintkezőnyomás viszonylag kis méretek mellett, kis kapcsolási úton ezzel a megoldással biztosítható legegyszerűbben. A rugó támadáspontjának emelésével a reteszelőerő növelhető. A reteszelés feloldása, ill. a kapcsoló bekapcsolása úgy történik, hogy a 6 állandó mágnes terében levő 5 mágnesetekercs áramimpulzust kap, a tekerccs felfelé elmozdul, melynek hatására a mágnesetekercsrel együtt elmozduló 7 kiütőcsap a nyelvre üt, így a 3 görgő holtpontján átgördül, vagyis a pihenőhelyzetből kimozdul, majd a 45°-os lejtőre jut. A 2 rugó a nyelvet nagy erővel nyomja előre és a nyelv felső lapja a 9 tolórúd segítségével a 11 mozgóérintkező szigetelőanyagból készült 10 tárcsájára üt. A rugó a mozgóérintkezőt így a 12 állóérintkezőkhöz nyomja. A mozgóérintkező visszapattantását az gátolja meg, hogy a rugó a nyelvet a 45°-os lejtőnek kb. közepén levő görgő és a mozgóérintkezőt nyomó tolórúd közé feszíti.

A lejtőt azért készítettük 45°-osra, mert így a rugóerő teljes egészében átadódik az érintkezőkre és így biztosítjuk a szükséges érintkezőnyomást. Igen előnyös ebben az elrendezésben az is, hogy a működtetőmágnes a nyelvre olyan irányú impulzust ad, amely a nyelvet mindjárt a bekapcsolás irányába gyorsítja. Így a felszabaduló rugóerőnek, a már felgyorsított tömeget kell tovább vinnie és a bekapcsolási műveletet befejeznie.

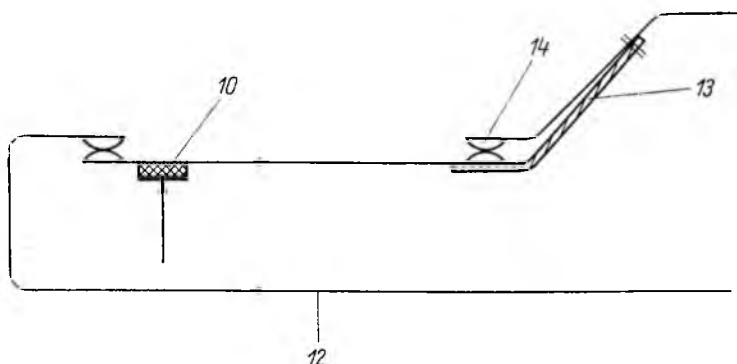


25-3. ábra. Szinkronkapcsoló készülék mechanikus részének vázlata

1 nyelv; 2 rugó; 3 görgő; 4 pihenős lejtő; 5 mágnesestekercs;  
6 állandó mágnes; 7 kiütőcsap; 8 féltengely; 9 tolórud;  
10 szigetelőanyag tárcsa; 11 mozgóérintkező; 12 állóérintkező

A készülék kikapcsolása, ill. felhúzása úgy történik, hogy a 8 működtető féltengelyt elfordítjuk. Ennek következtében az 1 nyelv orrára olyan nyomást fejtünk ki, amely egyrészt a laprugót visszanyomja felhúzott állapotába, másrészt a görgőt a 45°-os lejtőn legördítve és a pihenőbe juttatva, a kapcsoló visszakerül a 25-3. ábrán látható reteszelt állapotába. Közben, a mozgó érintkező súlyánál fogva, vagy a rajzon fel nem tüntetett nyitószervezet hatására leesik, és így a kapcsoló nyitott helyzetbe kerül. Ennél a készüléknél a nyitási művelet természetesen feszültségmentes állapotban kell hogy történjék.

A szinkronkapcsoló készülék érintkezőrendszerének vonalas vázlata a 25-4. ábrán látható. Miután a készülék nagy zárlati áramok bekapcsolására készült, nagy jelentősége van az érintkezési helyeken fellépő, ún. szűkületi áram dinamikus hatásának. Az érintkezési helyeken ugyanis leszűkül az áram számára rendelkezésre álló vezetőkeresztmetszet. A kisebb keresztmetszetű érintkezési pontnál nagymértékben megnő az áramsűrűség és az áram dinamikus hatása az érintkezőket nyitni igyekszik. Ennek az erőnek a nagysága számítással nem határozható meg pontosan, mivel a tényleges érintkezési helyek felülete és az érintkezési helyek száma is ismeretlen.

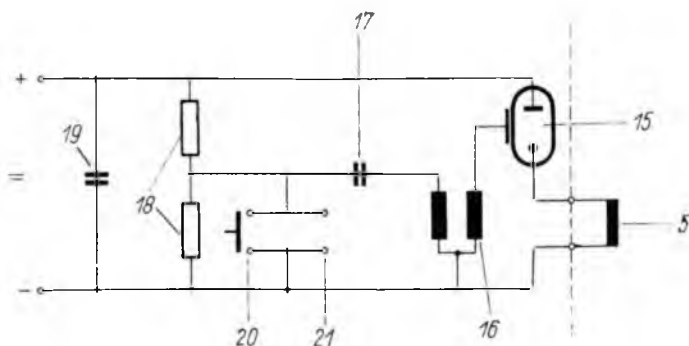


25-4. ábra. Szinkronkapcsoló készülék érintkezőrendszere  
13 hajlékony vezető; 14 segédérintkező

Ebben az esetben csak részben saját tapasztalatainkra, részben az irodalomban található gyakorlati adatokra szorítkozhattunk. Olyan megoldást kellett találnunk, amely lehetetlenné teszi, hogy az érintkezők a dinamikus hatás következtében szétváljanak, sőt megakadályozza az érintkezők átmeneti ellenállásának nagymértékű növekedését is. Az érintkezőket összenyomó erő csökkenése ugyanis helyi felmelegedéseket, esetleg az érintkezők hegedését is okozhatja. A szükséges érintkezőnyomás biztosítására — számításaink szerint —, a legnagyobb zárlati áramok hatásait is figyelembe véve, nem elégséges a kb. 1000 kp-os rugóerő, hanem kb. 8—9000 kp-ra lenne szükség. Erre a nagy nyomóerőre azonban csak az egészen nagy (80...100 kA<sub>zrl</sub>) zárlati áramoknál van szükségünk, ezért olyan megoldást kellett keresni, amely az áramerősség növekedésével valamilyen függvény szerint automatikusan növeli a nyomóerőt. Az igen nagy érintkezőnyomás kisebb áramtartományokban felesleges, és a mechanikai szerkezet élettartamát nagymértékben csökkenti. Ezért választottuk azt a megoldást, amely a 25-4. ábrán látható formában az áram dinamikus hatását használja fel a megfelelő érintkezőnyomás biztosítására. A párhuzamos és egymással ellentétes irányban folyó áram ugyanis az áramerősség négyzetével arányosan változtatja a nyomóerőt. A 12 vezetőrész, igen erősen megfogva, szerves részét képezi az egész készülék tartószerkezetének, természetesen megfelelően szigetelve. A 10 jelű mozgóérintkezőt úgy méreteztük, hogy a maximális igénybevétel esetén is kb. 8000 kp-os erőt biztosítson az érintkezési helyen. Az ábrán látható a mozgóérintkezőt működtető mechanizmus támadáspontja is, amelyet célszerűen az érintkezési helyhez minél közelebb igyekeztünk elhelyezni.

Az érintkezőrendszer kialakításában további nehézséget jelentett a mozgóérintkezőnek a csatlakozókapocshoz való csatlakoztatása. Korábban hajlékony (flexibilis) vezetővel próbálkoztunk. Tapasztalataink azonban azt mutatták, hogy az igen nagy áramok hatására ezek a hajlékony vezetők hamar tönkremennek és a működési időbe is komoly bizonytalanságot visznek. A nagy áramok hatására ugyanis a hajlékony vezetők megmerevedtek, ezáltal a működési idő nagymértékben megnövekedett, és a készülék pontatlanná vált. Több kísérlet után a 25-4. ábrán látható kivitel bizonyult a legjobbnak. Ebben az esetben a 13 hajlékony vezetőnek csak addig van szerepe, amíg a főérintkezők nem záródnak. Az áram megjelenésének pillanatában már a 14 jelű segédérintkezőn keresztül, a merev sínek vezetnek az áramot, tehát elkerültük a hajlékony vezetők merevedését és idő előtti tönkremenetelét. Úgy tűnik, hogy a hajlékony vezetőre tulajdonképpen nincs is szükség. Hogy

mégis megtartottuk, annak az az oka, hogy ezáltal a 14 segédérintkezőt nem kellett mindenképpen visszapattanás-mentesre készítenünk, mivel a bekapcsolás néhány ms-os időtartamában a hajlékony vezető még pattogás esetén is lehetetlenné teszi ív vagy meleg kifejlődését. A visszapattanás-mentességre csak a fő érintkezési helyen kellett nagy gondot fordítanunk.



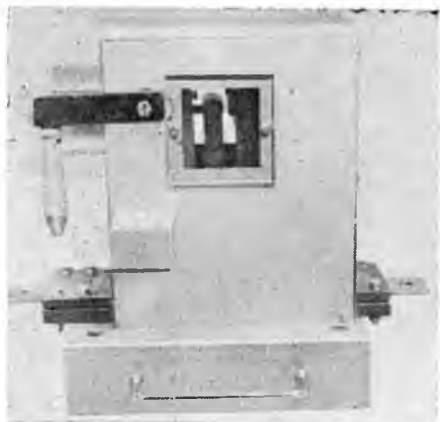
25-5. ábra. A 24-4. ábrán látható érintkezőrendszer működtetőszervezetének egyvonalas vázlata

15 hidegkatódos cső; 16 gyújtótranszformátor; 17 kondenzátor,  $C=500 \mu\text{F}$ ;  
18 feszültségosztó; 19 kondenzátor; 20 nyomógomb; 21 kapsok

A kapcsolókészülék a 25-3. ábrán feltüntetett 5 mágnesetekercsel működtethető. A működtetőtekercs a 25-5. ábrán látható egyvonalas séma szerint kialakított áramkörből kapja a működtetőimpulzust. Az üzembiztos működés és a nagy kapcsolási élettartam biztosítása érdekében, az áramkört úgy alakítottuk ki, hogy egy egyenáramú áramforrásból 500 V-ra feltöltött kondenzátort a 15 hidegkatódos csövön és az 5 mágnesetekercsen keresztül sütjük ki. Így biztosítható az a nagy áramimpulzus, amely az állandó mágneses térben levő tekercs elmozdításához és a kapcsolókészülék mechanizmusának működtetéséhez szükséges. Az igen gyors működés érdekében 500  $\mu\text{F}$ -os kondenzátortelepet alkalmaztunk és a működtetőtekercs közel száz menetből áll. A hidegkatódos cső gyújtására a 16 gyújtótranszformátor szolgál, amelyet ugyancsak az egyenáramú áramforráshoz kötött 18 feszültségosztóról táplált 17 kondenzátornak a kisütésével indítunk. Az indításra a 20 nyomógomb vagy a 21 jelű kapsokra csatlakozó bármilyen programkapcsoló vagy távolról kezelt kapcsoló alkalmas.

A működtetőszervezethez egy külön vezérlőegységet alakítottunk ki, amely arra szolgál, hogy a hálózati feszültség nullaátmenetétől 360°-ig bármilyen szög helyzetben a szinkron rákapcsolás végrehajtható legyen. Ez a vezérlőegység egy fázistoló segítségével oldja meg a feladatot. Csak azt kell figyelembe vennünk, hogy a kapcsolókészülék önidejének ismeretében, a vezérlőegység annyival hamarabb adja ki a bekapcsolási parancsot.

Az Intézetünkben kidolgozott kapcsolókészülék végleges kialakítása a 25-6. ábrán látható. A homloklapra felszerelt kis ablakon keresztül az érintkezők állapota könnyen ellenőrizhető anélkül, hogy azokat szennyeződésnek kitennénk. A készülék nagyon érzékeny arra, hogy az érintkező felületek teljesen tisztán maradjanak. Az érintkezők közé bekerülő vezető szennyeződés ugyanis bekapcsolás közben előívelést okozhat, ami esetleg hegedéshez vezet. Az érintkezők felületének a bekapcsolások hatására sem szabad roncsolódnia. Az ábrán látható a kézifogantyú is, amellyel



25-6. ábra. Szinkronkapcsoló készülék



25-7. ábra. Elektronikus működtető

az automatikus bekapcsolás után a készülék nyitható. A felhúzókar mögött helyezkedik el a működtetőmágnes, ehhez kell csatlakoztatni az elektronikus működtető-szerkezetet. A főáramkört a készülék két oldalán elhelyezett csatlakozókapcsokhoz kötjük, amelyeket a kívánt névleges áramerősségtől függően kisebb vagy nagyobb méretűre cserélünk. Tapasztalataink szerint a maximális áramerősség környezetében végzett 1000 bekapcsolás után célszerű az érintkezőket cserélni, ami viszonylag egyszerűen lebonyolítható.

A 25-7. ábrán az elektronikus működtető-szerkezet látható. A kívánt kapcsolási szöghelyzetet a homloklapon levő mutatós tárcsán lehet beállítani. A feszültségmérő a kondenzátortelep töltési állapotát mutatja. A fázisszög-indikátor a működtetőegységben van elhelyezve és a főáramkör feszültségétől függően hét fokozatban kapcsolható 135 V, ill. 1100 V mérési határok között.

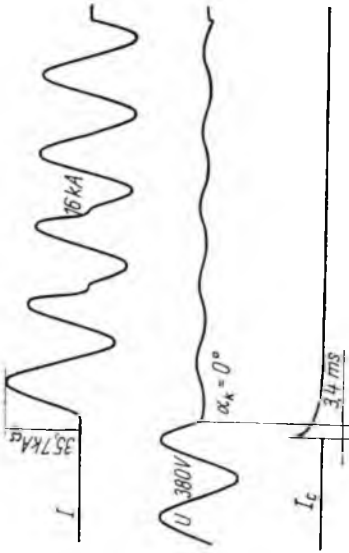
A szinkron rákapcsolókészülék elsősorban nagy teljesítményű zárlati próba-állomások számára készült, ezért a működtetőegység alkalmas arra, hogy közvetlenül a vizsgálóállomás programkapcsolójára csatlakoztassuk.

## 5. Vizsgálati eredmények

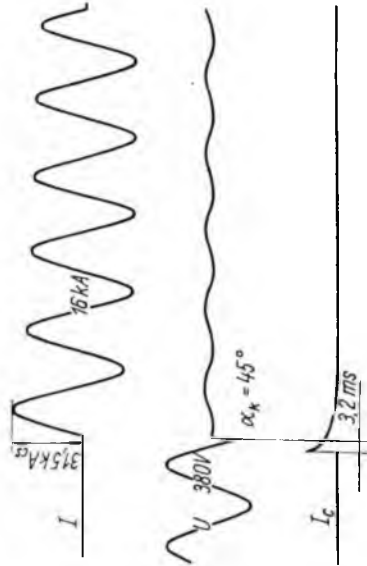
Eddig három készüléket alakítottunk ki és azokkal igen nagyszámú vizsgálatot végeztünk. Méréseink három főfeladatra irányultak. Vizsgáltuk elsősorban a készülékek működési idejét és többszáz kapcsolásból határoztuk meg a kapcsolási önidő szórását. A vizsgálati eredmények kiértékelése után azt tapasztaltuk, hogy a 3,5 ms-os önidőre méretezett készülékek általában bőven a megkívánt  $\pm 0,55$  ms-os szórási időértéken belül dolgoztak. A legkisebb mért önidő 3,2 ms volt, a legnagyobb pedig 4 ms. Beigazolódott tehát, hogy a készülék működési időértékeit tekintve alkalmas a szabványos vizsgálati követelmények kielégítésére.

A másik főfeladatunknak tekintettük a készülék visszapattanás-mentességének igazolását. A vizsgálatokat hurkos oszcillográffal végeztük olyan formában, hogy a legérzékenyebb hurkokat alkalmazva, egyenáramú áramkört kapcsolunk be, amelyeket filmfelvételekről értékeltünk. Eleinte a készülékek néhány visszapattanást mutattak, ami az álló érintkezőknél használt szigetelőanyagok rugalmasságára volt

01729 sz.

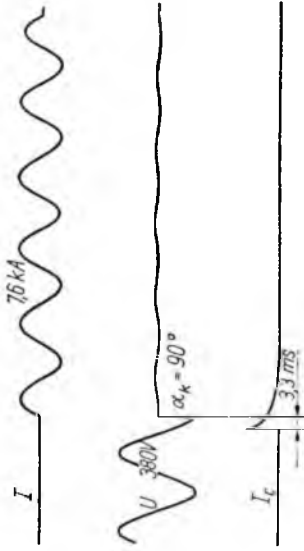


01730 sz.

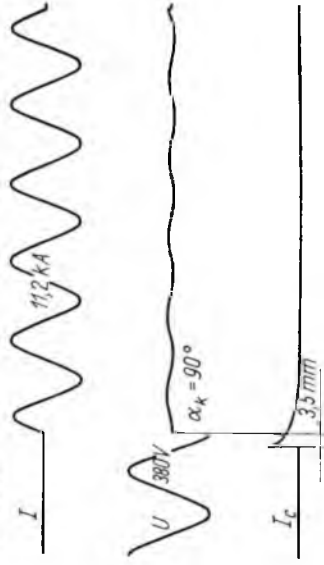


25-8. ábra. Zárleti vizsgálat oszcillogramja  
 $0^\circ$  és  $45^\circ$ -os bekapcsolási szöghezlyzet

01725 sz.



01726 sz.



25-9. ábra. Zárleti vizsgálat oszcillogramja  
 $90^\circ$ -os bekapcsolási szöghezlyzet



visszavezethető. A mechanikus szerkezetnél sohasem tapasztaltunk pattogást, a 25-3. ábrával kapcsolatban ismertetett megoldás erre nem is ad lehetőséget. A visszapattanások megszüntetésére a mozgóérintkező alá csillapítószerkezetet szereltünk, amely lehetővé tette, hogy a mozgóérintkező kövesse az állóérintkező igen kicsi mértékű pattogását. Így sikerült a visszapattanást teljesen megszüntetni, sőt a  $10^{-6} \Omega$  nagyságrendű átmeneti ellenállás értékében sem tapasztaltunk semmiféle változást a kapcsolások közben. Egyéb kutatási feladataink során, a kisfeszültségű kapcsolókészülékek vizsgálataihoz szükségessé vált egy igen érzékeny elektronikus pattogás-számláló műszer kialakítása. A szinkron kapcsolókészülék pattogását a továbbiakban ezzel a különleges vizsgálókészülékkel is ellenőriztük és így sem tapasztaltunk visszapattanást.

A fenti vizsgálatok után bocsátottuk a készüléket zárlati vizsgálatra. A 25-8. és 25-9. ábrán példaképpen bemutatunk négy oscillogramot, amelyek a zárlati vizsgálatok eredményeit tükrözik. Az oscillogramok legalsó görbéje, a működtető-mágnesre kiadott áramimpulzust mutatja. A középső görbékben a hálózati feszültség, a legfelsőn pedig a bekapcsolt zárlati áram alakulása látható. Az oscillogramok is igazolják korábbi megállapításunkat, miszerint a készülék működtetésétől számítva, a zárlati áram megjelenéséig, 3,2...3,5 ms-os önidő látható. A kívánt  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  és  $90^\circ$ -os kapcsolási szögeket igen pontosan be tudtuk tartani. Többi vizsgálatunk során bármilyen kívánt szöghelyzetben jól működött a készülék. Az oscillogramok is igazolják, hogy a kapcsolások visszapattanás-mentesek voltak. Minden egyes rákapcsolás után megtekintettük az érintkezők felületét, rajtuk ívnyomok nem jelentek.

Mivel a szinkron rákapcsolókészüléket 1000 V feszültségen végrehajtható 100 kA<sub>eff</sub> áram bekapcsolására méreteztük, további feladat, a maximális igénybevételek hatásának vizsgálata. Ilyen teljesítményeket azonban Intézetünk zárlati próbaállomásán jelenleg nem tudunk biztosítani, ezért a közeljövőben külföldi próbaállomáson fogjuk vizsgálatainkat folytatni.

## 6. A készülék felhasználása

Az előzőekben elmondottak szerint rendelkezésre áll egy olyan kapcsolókészülék, amely kisfeszültségű, nagy teljesítményű zárlati vizsgálatoknál jól alkalmazható ún. szinkron kapcsolások végrehajtására. Mint mondtunk, induktivitásokat tartalmazó áramkörökre a készülékkel viszonylag egyszerűen tisztázhatók a bekapcsoláskor fellépő átmeneti jelenségek hatásai, a feszültség különféle szöghelyzete esetében. Háromfázisú megszakítók vizsgálatához három szinkron kapcsolókészülékkel az egyes pólusok aszimmetriája kívánság szerint beállítható. Amennyiben a zárlati áramkört a megszakító után nem földelik, az előbbi feladat, két szinkron kapcsolóval megoldható.

Korábban sok helyen alkalmaztak nagyobb egyenáramú berendezésekben a diódák védelmére ún. gyorsrövidrezáró készüléket. A leírt szinkronkapcsolókészülék erre a feladatra is alkalmas. Ilyenkor az a cél, hogy a nagyszámú párhuzamosan kapcsolt egyenirányító diódát megvédjük a tönkremeneteltől. Egy vagy néhány dióda meghibásodása esetén, igen rövid idő alatt kell ugyanis a többi diódát a hálózatról leválasztani, mielőtt még az átterhelődés következtében a többi dióda is tönkremenne. Sok esetben nem áll rendelkezésre elég gyorsan működő kikapcsoló. Ilyenkor választják azt a megoldást, hogy a diódák túlterhelését érzékelő berendezés egy gyorsrövidrezárót működtet, amely a tápláló váltakozóáramú hálózatot néhány ms alatt

rövidrezárja és így tehermentesíti az egyenirányító-egységet. A rövidrezáróval létrehozott zárlatot azután a váltakozóáramú oldalon levő megszakító tisztázza. Miután ez a módszer zárlatbiztos transzformátorokat igényel, újabbán más módon igyekeznek a diódák védelmét biztosítani. Lehetséges, hogy zárlatbiztos transzformátorok birtokában ez a megoldás ismét előtérbe kerül.

Befejezésül szeretnénk megemlíteni, hogy az általunk kidolgozott készülék szükségességét mutatja az a nagy érdeklődés, amely készülékünk iránt külföldi vállalatok és vizsgálóállomások részéről már eddig is megnyilvánult. A tapasztalat fogja eldönteni, hogy vajon a befutott megrendelésekre leszállított készülékek, az általunk remélt kedvező eredményeket mutatják-e.

### Irodalom

- [1] *Bányai B.—Mocsáry J.—Néveri I.*: Gyorskapcsoló áramkörök rövidrezárására. OTH szabadelom. 1968. júl. 31.
- [2] *Schwetcke, R.*: Verwendung von detonierenden Sprengmitteln in der Starkstromschalttechnik. ETZ-A, Bd. 76. H. 5 (1955).
- [3] *Duffing, P.*: Der Sperrmagnet ETZ-A, Bd. 74. H. 11 (1953).
- [4] *Plenc, M.*: Kurzschluss zum Schutz von Germanium — und Siliziumgleichrichtern. Elektrie, Berlin. Bd. 14. H. 5 (1960)

## Zárlati vizsgálatok egyenárammal

CSÁTHY KÁROLY—DR. SELMECZI VILMOS

### ÖSSZEFOGLALÁS

Egyenáramú zárlati vizsgálatok céljaira áramforrásként, legcélszerűbbnek tartjuk a félvezetős egyenirányító berendezést. Ismertetjük a transzformátor és diódák kiválasztásának és védelmének szempontjait, a nagyszámú párhuzamosan kapcsolt dióda egyenletes árameloszlására, valamint az elkerülhetetlen kapcsolási túlfeszültségek helyes értékelésére és csökkentésére kidolgozott eljárásokat. Egy mérési sorozat kapcsán foglalkozunk az egyenáramú zárlati áramkör szabályozási kérdéseivel, kimutatjuk, hogy az időállandó értelmezése bizonyos esetekben kiegészítésre szorul. A rákapcsolásból eredő kezdeti áramcsúcs (túllengés) kialakulására a primer és szekunder oldali reaktanciák viszonya lényeges befolyással van. A túllengések okait a tanulmány részletesen magyarázza.

### ИСПЫТАНИЕ НА КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

*К. Чати—Др. В. Шелмеци*

#### Резюме

При испытании на короткое замыкание в качестве источника тока наиболее целесообразно использовать полупроводниковое выпрямительное устройство. В статье рассматриваются точки зрения выбора и защиты трансформатора и диодов, а также разработанные методы правильной оценки и уменьшения неизбежного при включении перенапряжения и равномерного распределения тока при большом количестве параллельно включенных диодов. Рассматривая серию измерений, статья занимается вопросом регулирования короткозамкнутой цепи постоянного тока, при этом излагает, что понимание постоянной времени в некоторых случаях требует некоторого дополнения. На формирование начального токового выброса-пика оказывает значительное влияние соотношение реактанций первичной и вторичной обмоток. В статье дается подробное изложение причин выбросов.

### KURZSCHLUSSPRÜFUNGEN MIT GLEICHSTROM

*K. Csáthy—Dr. V. Selmeczi*

#### Zusammenfassung

Für Gleichstrom-Kurzschlussprüfungen halten wir die Verwendung von Halbleiter Gleichrichter als Stromquellen für die zweckmässigste. Nachstehend werden die Gesichtspunkte zur Auswahl und zum Schutz des Transformators und der Dioden sowie die für die gleichmässige Stromverteilung zwischen den zahlreichen parallel geschalteten Dioden und die zur richtigen Bewertung und Verminderung der unvermeidbaren Schaltüberspannungen ausgearbeiteten Verfahren beschrieben. Anhand einer Versuchsreihe beschäftigen sich die Autoren mit den Fragen der Regelung von Gleichstrom-Kurzschlusschaltungen und weisen nach, dass die Auslegung der Zeitkonstante in gewissen Fällen einer Ergänzung bedarf. Auf den Verlauf der von der Einschaltung herrührenden Anfangsstromspitzen ist das Verhältnis der primär- und sekundärseitigen Reaktanzen von wesentlichem Einfluss. Die Abhandlung erörtert eingehend die Ursachen dieser Überschwingungen.

## D. C. SHORT CIRCUIT TESTING

*K. Csáthy and Dr. V. Selmeczi*

### Summary

The application of the semiconductor rectifier equipment is considered by the authors to be the most expedient current source for d. c. short circuit tests. The paper includes the aspects for the selection and protection of the transformer and of the diodes, and further also the processes worked out for the proper evaluation and reduction of the unavoidable switching surge voltages and for the uniform distribution of the current toward the parallel-connected diodes used in high numbers. In connection with a series of measurement, the author discuss the control problems of the d. c. shortcircuit; it is demonstrated that the interpretation of the time constant requires, in certain cases, completion. The ratio between the primary and secondary reactances has a significant effect on the development of the initial peak current (overshot). The reasons of the overshots are explained in detail in the study.

### 1. Zárleti vizsgálatokhoz alkalmas egyenáramú áramforrás kialakításának szempontjai

Egyenáramú vizsgálatok elvégzésére megfelelő zárleti áramforrásról kell gondoskodni. Erre a célra dinamó, higanykatódos egyenirányító és félvezetős egyenirányító berendezés elvileg egyaránt alkalmas. A berendezés kiválasztása tehát műszaki szempontból a zárleti áramforrás iránt támasztott követelmények és az alkalmazni kívánt egyenirányító berendezés különféle tulajdonságai összevetésével lehetséges (26-1. táblázat). A különféle zárleti áramforrásokat 1-től 3-as számmal értékeltük (legkedvezőbb: 3. pont). Legkedvezőbb összpontszámot a félvezetős berendezés érte el. Ha létesítési költségek szempontjából vizsgáljuk a kérdést, a helyi lehetőségeket figyelembe véve a félvezetős berendezés bizonyult a leggazdaságosabbnak, mert a meglévő kifesztültségű zárleti laboratóriumunk [1] egyes részeit, pl. a fő zárleti transzformátorát fel tudjuk használni, ezért újat nem kell beszerezni. A félvezetős berendezés legnagyobb előnyének a fokozatos bővítést lehetővé tevő építőkockaszerű kialakításán kívül az azonnali üzemkészséget tartjuk.

### 2. A félvezetős egyenáramú berendezés méretezési és védelmi kérdései

A fentiek szerint választott félvezetős berendezés méretezéséhez felhasználtuk a szakirodalomban fellelhető adatokat [5, 6, 10, 11, 14], valamint saját számítási és mérési eredményeinket. A következőkben ismertetjük azokat a szempontokat, amelyek az egyenirányítókra vonatkozó általános számítási formulákon túlmenően a zárleti egyenirányító berendezés iránt támasztott különleges követelményekből adódtak.

#### 2.1. Zárleti transzformátor

A félvezetős berendezés transzformátortípusa megegyezik a Ganz Villamossági Művek által kifejlesztett váltakozóáramú zárleti transzformátorral, tehát gyakori zárleti áramlökések elviselésére képes. Másik nagy előnye, hogy három egymástól független tekercsrendszert tartalmaz, így mindegyik tekercsrendszerhez csatlakoztatott egyenirányító külön egységet képez. Ezen egységek sorba-, ill. párhuzamos kapcsolásával a megengedhető áram- és feszültségértékek könnyen és gyorsan be-

26-1. táblázat

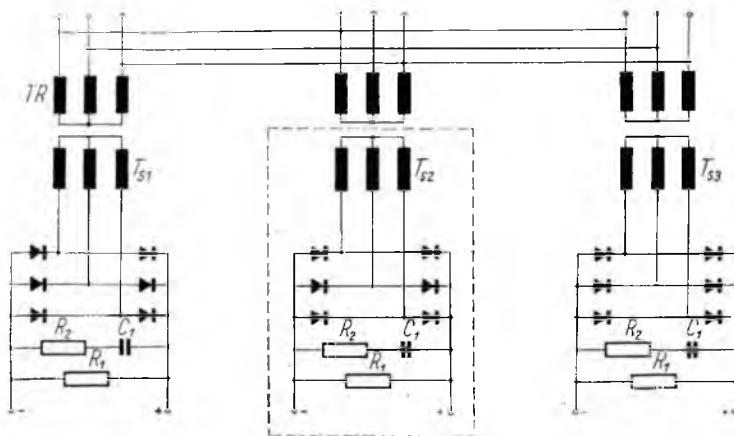
Egyenáramú zárlati vizsgálóberendezések  
összehasonlítása

Jellemző tulajdonságok	Egyenáramú zárlati áramforrás		
	Dinamó	Higany katódos	Félvezetős
Üzembiztonság	1	1	3
Élettartam	1	2	3
Feszültségszabályozás	3	2	2
Túlterhelhetőség	3	3	1
Térfogat, súly	1	1	3
Üzemkészség	2	1	3
Karbantartás, alkatrész-cserélhetőség	1	2	3
Segédüzemek	2	1	3
Üzemszerű viszonyokat legjobban megközelíti	1	3	3
	15	16	24

állíthatók (26-1. ábra). Egy egység 1 s-ig 4000 A-rel terhelhető, max. 500 V egyenfeszültségnél. (Az ábrán szaggatott vonallal határolva.) Az egységek számát addig lehet növelni, amíg a beépített egyenirányítók összteljesítménye el nem éri a transzformátor teljesítményét.

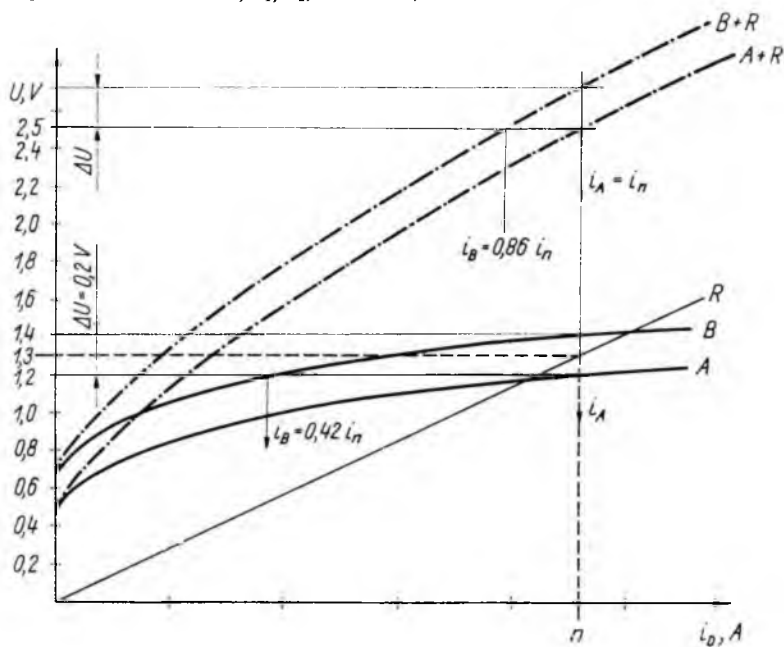
2.2 Szilíciumdiódák és túláram-védelem

Az egyenirányító-egységet alkotó szilíciumdiódákat kellő óvatossággal kell megválasztani. Tekintettel a gyakori zárlati kapcsolásokból eredő túlfeszültségekre, áganként 3 db  $U_n = 400$  V-os, 150 A-es dióda van sorbakapcsolva, és megfelelő osztótagok biztosítják a soros diódákon az egyenletes feszültségeloszlást. A kommutációs túlfeszültségek csökkentésére az ismert  $R - C$  tagokat építettük be. A diódák túlterhelhetőségét pontosan ellenőriztük, hogy vajon a túlterhelési jelleggörbének



26-1. ábra. Zárlati egyenirányító berendezés kapcsolási vázlat

TR zárlati transzformátor;  $T_{s1}$ ,  $T_{s2}$ ,  $T_{s3}$  három, egymástól független szekunder tekercsrendszer;  $R_1$ ,  $R_2$ , ellenállások;  $C_1$  kondenzátor



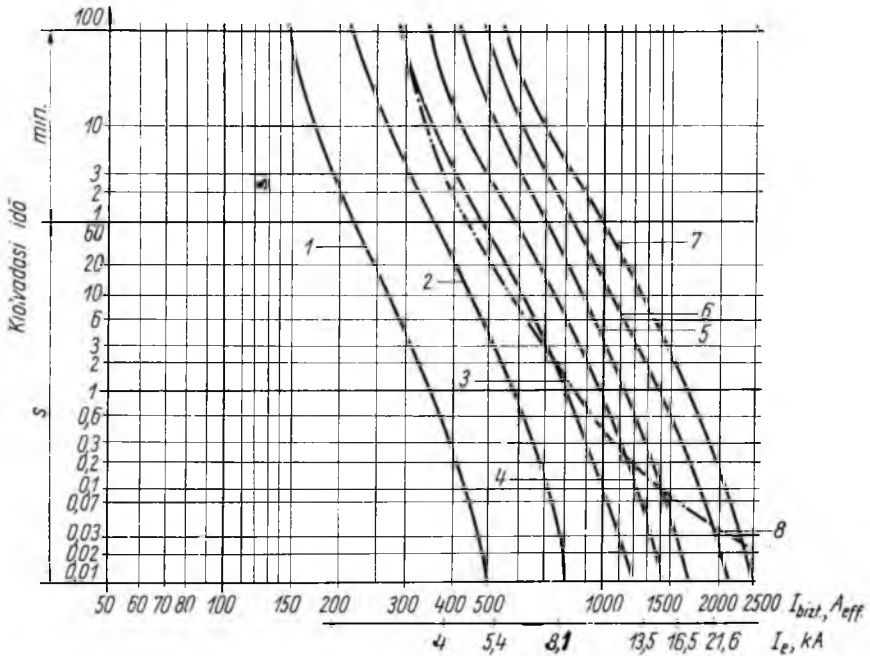
26-2. ábra. Párhuzamosan kapcsolt diódák árameloszlása

$I_D$  diódaáram;  $I_n$  névleges áram;  $I_A$ ,  $I_B$  az A, ill. B dióda árama; A, B az A, ill. B dióda nyitóirányú jelleggörbéje; R az ellenállás jelleggörbéje; A+R, B+R az R-rel sorbakapcsolt A, ill. B dióda jelleggörbéje; U nyitóirányú feszültségesés;  $\Delta U$  nyitóirányú feszültségesés-különbség

megfelel-e. A rövid ideig tartó áramterhelés miatt hűtőtököket nem alkalmaztunk, és a diódák munkapontjait a túlterhelési tartományban állapítottuk meg.

A párhuzamos járás biztosítására a diódák nyitóirányú feszültségesése egymáshoz közeleső érték legyen. Ezenfelül minden diódaággal sorbakapcsolt ellenállás a pár-

huzamos járás további elősegítését jelenti, olyannyira, hogy még 1,2 és 1,4 V nyitóirányú feszültségeséssel rendelkező diódák is párhuzamosan kapcsolhatók. (26-2. ábra) *A* és *B* jelleggörbéjű diódákat párhuzamosan kapcsolva, az *A* diódán a névleges áram ( $i_n$ ) folyik, míg a *B* diódán a  $\Delta U = 0,2$  V feszültségekülönbség hatására ennek csak kb. 42%-a ( $i_B = 0,42i_n$ ). Soros ellenállás hatására ez a különbség lényegesen csökken, ( $i_n$  és  $0,86i_n$ ). A sorbakapcsolt ellenálláson mérhető feszültségesés az egyes diódaágak áramával arányos és jól mérhető, így az egyenletes árameloszlás könnyen ellenőrizhető. Az egyenirányító egységek párhuzamos járását a transzformátorrészek egyforma dropja és a sínezések szimmetrikus szerelése biztosítja.



26-3. ábra. Biztosító és dióda jelleggörbéi a túláram-tartományban  
 $I_{bizt}$  a biztosító árama;  $I_e$  az egyenirányító-egység árama. A választott elrendezésben  
 $I_{bizt} = \frac{I_e 0,815}{\sqrt{2} \cdot 6}$  NOSi biztosítók: 1 100 A; 2 150 A; 3 200 A; 4 250 A; 5 300 A; 6 350 A;  
 7 400 A; 8 150 SA 4 dióda.

Túláram-védelemre gyorsbiztosítókat alkalmazunk. A diódákhoz a gyorsbiztosítót illeszteni kell, ami eltérő jelleggörbéjük miatt nem egyszerű feladat. A 26-3. ábra azonos léptékben egy SA 150 szilíciumdióda túlterhelési görbéjét (meghatározott hűtőszervezettel) és különféle NOSi típusú diódavédő biztosítók kiolvadási jelleggörbéit mutatja. A választott biztosítók kiolvadási görbéinek a munkapont közelében mindig alatta kell járni a dióda túlterhelési görbéinek, mert azt kívánjuk, hogy a biztosítók ne csak átütés esetén védjenek, hanem túláram ellen is. A kivehető maximális zárlati áramot tehát a biztosító szabja meg, és kiolvadási jelleggörbéinek szórása azt érzékenyen befolyásolja.

A kiolvadást jelző „jelzőszál” sok párhuzamos ágba kapcsolt biztosítónál felesleges, sőt hátrányos. A jelzőszál ui. addig nem olvad ki, míg a párhuzamos ágban az utolsó biztosító is ki nem olvadt, akkor viszont a kiolvadást az egyenfeszültség alakján is észre lehet venni. Ha pedig csak egy-két biztosító olvadt ki éppen maradt jelzőszállal, a hibakeresés nehezebb, mert a biztosító két vége között a villamos vezetés változatlanul fennáll.

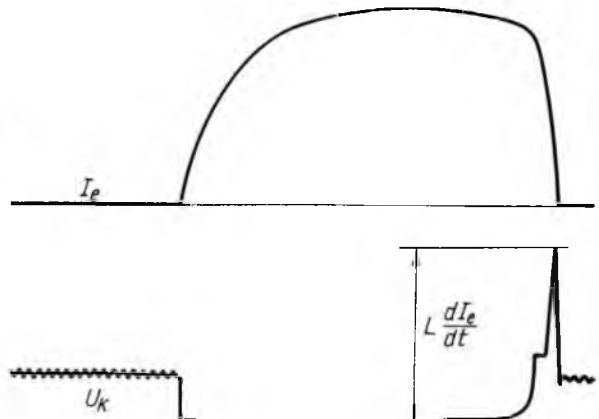
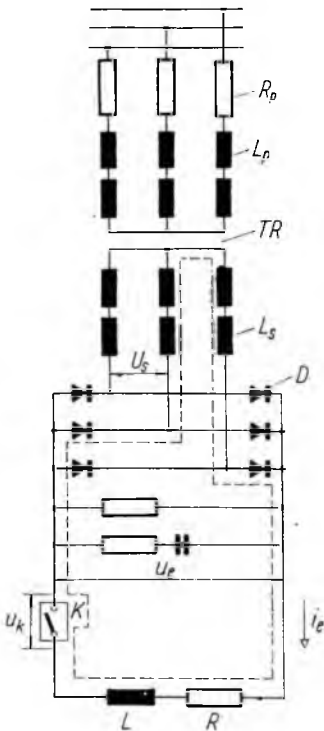
### 2.3. Túlfeszültségek

A diódák közismerten érzékenyek a túlfeszültségre, ezért ennek keletkezését mindenképpen meg kell akadályozni. Egyenirányító berendezésekben felléphetnek:

- külső túlfeszültségek,
- kommutációs túlfeszültségek,
- kapcsolási túlfeszültségek.

Külső túlfeszültségek itt nem jönnek számításba. Kommutációs túlfeszültségek

ellen a szokásos  $RC$  tagokkal védekezünk. Mivel berendezésünkkel üzemszerűen nagy egyenáramokat szakítunk meg, az ebből eredő kapcsolási túlfeszültségekkel számolni kell. Szakítsuk meg a 26-4. ábra szerinti áramkört a  $K$  megszakítóval. A megszakításakor az áram- és feszültségviszonyokat a 26-5. ábra mutatja. A  $K$  megszakító az  $I_e$  egyenáramot megszakítja. Az egész pálya mentén sorbakötött induktivitáson az áram hirtelen csökkenése miatt  $L \frac{dI_e}{dt}$  feszültség keletkezik. Az áram meredeksége legnagyobb az ív kialakulásának pillanatában. Az  $L$  fojtótekerccsen ébredő  $L \frac{dI_e}{dt}$  feszültség a megszakító elváló érintkezőin jelenik



26-4. ábra  
Egyenáramú zárlati áramkör

$D$  diódák;  $TR$  egyenirányító transzformátor;  $L_s$  szekunder oldali induktivitás;  $L_p$  primer oldali induktivitás;  $R_p$  primer oldali induktív ellenállás;  $I_e$  egyenáram;  $L$  induktivitás az egyenáramú körben;  $R$  induktív ellenállás az egyenáramú körben;  $K$  egyenáramú megszakító; a megszakításkor kialakult árampálya;  $U_k$  feszültség a  $K$  megszakító sarkain;  $L_\Sigma$  az árampálya mentén figyelembe vett összes induktivitás

26-5. ábra  
Egyenáramú kör megszakításának oszcillogramja  
 $I_e$  egyenáram;  $U_k$  feszültség a  $K$  megszakító sarkain



meg, de nem az egyenirányító kapcsain! Így ez a fojtótekercestől eredő feszültség, amely a berendezés nyugalmi feszültségeinek többszöröse is lehet, a diódákat nem veszélyezteti. Erre azért hívjuk fel a figyelmet, mert felületes szemlélő szerint nagy induktivitásokat tartalmazó egyenáramú áramkör gyakori megszakítása a kört tápláló szilíciumdiódás egyenirányítóra veszélyes. A diódákat záróirányba igénybe vevő, a megszakításkor fellépő legnagyobb feszültség:

$$U_v = U_s + 2L_s \frac{dI_e}{dt}.$$

A  $K$  megszakító elváló érintkezői között fellépő feszültség:

$$U_K = U_e + 2L_s \frac{dI_e}{dt} + L \frac{dI_e}{dt}.$$

Az  $U_v$  kisebbítésére a belső feszültségeket  $L_s \frac{dI_e}{dt}$  különféle csillapító elemekkel

tovább lehet csökkenteni. Az  $L \frac{dI_e}{dt}$ -nél ezt nem szabad megtenni, mert ezáltal a fellépő feszültségviszonyok eltorzulnak és a próbaberendezés az üzemi viszonyoktól lényegesen eltérő helyzetet teremt. Több szerző taglalja, hogy az  $L$  fojtóval párhuzamosan kapcsolt ellenállás mennyire megváltoztatja az eredeti feszültség viszonyokat [4], [9].

Más a helyzet, ha a transzformátort üresjárásban kikapcsoljuk. A kikapcsolandó transzformátor mágneses energiáját valamilyen formában fel kell emészteni, különben káros túlfeszültségként jelenik meg és közvetlenül a diódákat veszi igénybe. Terhelésváltozásokból eredő feszültséglökés (a 26-4. ábrából)

$$2L_s \frac{dI_e}{dt} \quad V,$$

ahol  $L_s$  értékére csak a transzformátortekercs szórt fluxusát kell számításba venni. A transzformátor üresjárási lekapcsolásakor keletkező túlfeszültség:

$$U_1 = L_0 \frac{dI_0}{dt} \quad V,$$

ahol  $L_0$  a tekercs teljes önindukcióját jelenti és jóval nagyobb  $L_s$ -nél (26-6. ábra).

A  $\frac{dI_0}{dt}$  áramváltozás különösen légnymásos megszakítók esetében szintén lényegesen nagyobb a  $\frac{dI_e}{dt}$ -nél. Az üresen járó transzformátor lekapcsolása tehát mivel

általában  $L_s \ll L_0$  az egyéb okból származó túlfeszültségeknél lényegesen nagyobb túlfeszültséget okoz és mivel közvetlenül a diódákat veszi igénybe, a legveszélyesebb is.

Üresjárási lekapcsoláskor (26-6. ábra,  $R_1 = 0$  és  $C = 0$ ,  $K3$  állás) a transzformátor vasmagjában felhalmozott energia az  $L_0 C_0$  rezgőkörben

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$$

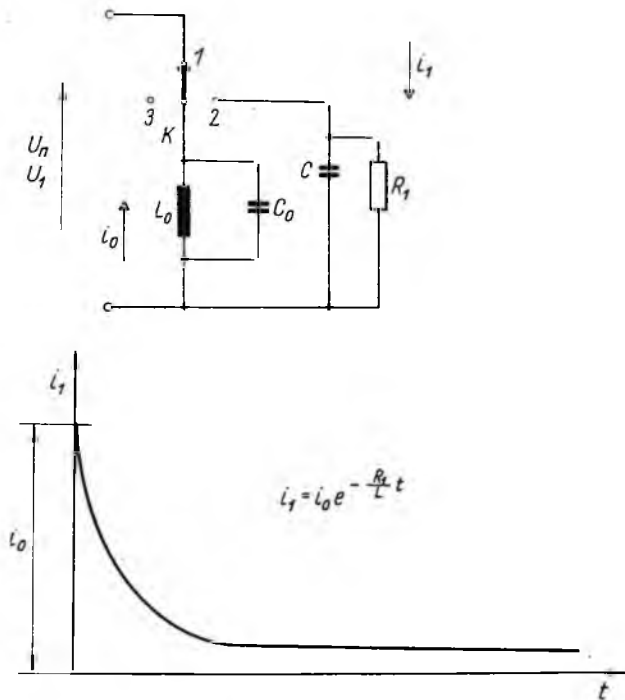
frekvenciájú lengéseket okoz. A mágneses és kapacitív energiák egyenlőségéből a kikapcsolási túlfeszültség legnagyobb lehetséges értéke meghatározható.

$$W = \frac{1}{2} L_0 i_0^2 = \frac{1}{2} C_0 U_1^2,$$

ahonnan

$$U_1 = i_0 \sqrt{\frac{L_0}{C_0}},$$

$i_0$  helyébe itt az üresjárási áram legnagyobb csúcserőke helyettesítendő. Ha a megszakítás nem az  $i_0$  legnagyobb csúcserőkénel történt, akkor  $U_1$  kiszámítása az induktivitás és permeabilitás változása, valamint az esetleg visszamaradó mágnesség miatt



26-6. ábra. Üresen járó transzformátor közelítő helyettesítő kapcsolási vázlata

$i$  üresjárási áram;  $i_1$  az  $R_1$ -en átfolyó áram;  $L_0$  a transzformátortekercs teljes önindukciója;  $C_0$  a transzformátortekercs kapacitása;  $C$ ,  $R_1$  terhelő elemek;  $K$  átkapcsoló;  $U_n$  névleges feszültség;  $U_1$  feszültség a kikapcsolódás pillanatában

gyakorlatilag nem lehetséges. További bizonytalanságot jelent a transzformátor önkapacitásának mérése [15]. Elmélettel és gyakorlattal alátámasztott tény azonban az, hogy a kondenzátor ( $C_0 + C$ ) növelésével az  $U_1$  csökkenthető. Az  $R_1$  ellenállás a lengések gyors csillapodását, a mágneses energia felemésztését eredményezi.

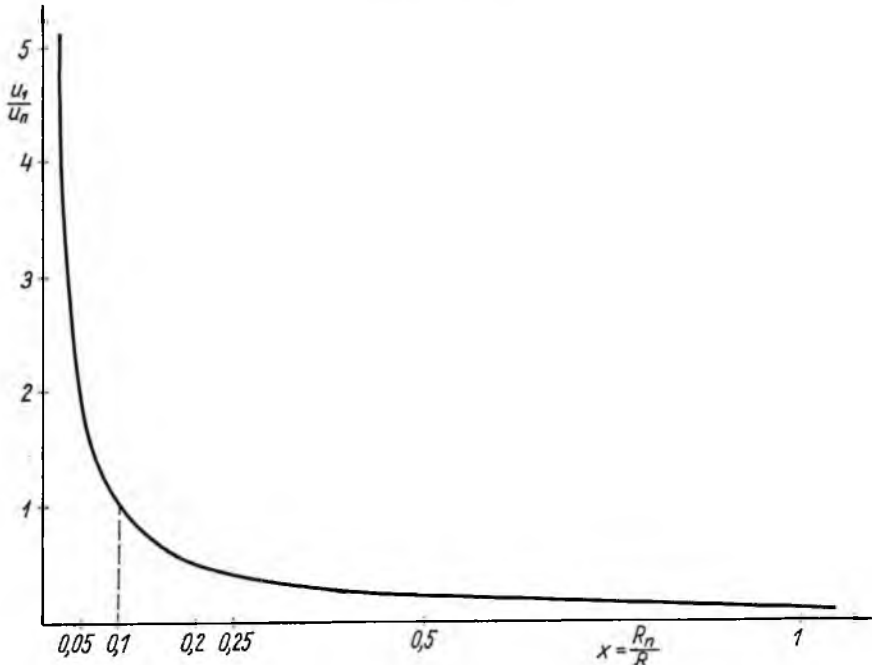
## 2.4 Módszerek kapcsolási túlfeszültségek csökkentésére

Rövidzársban vagy nagy terheléssel járó transzformátor kikapcsolása nem okoz túlfeszültséget. Üresen járó transzformátor kikapcsolása viszont annál inkább. Felmerült az a gondolat, hogy a kikapcsolással járó túlfeszültségek elkerülésére nem üresjárásban, hanem egy bizonyos terhelésnél kapcsolunk ki. Ezért vizsgáljuk meg, hogy üresjárástól a névleges terhelésig terjedő tartományban hogyan alakulnak a kikapcsolási túlfeszültségek. Számos egyszerűsítéssel  $C_0 = C = 0$  az alábbi gondolatmenet követhető (l. a 26-6. ábrát): A  $K$  kapcsoló nyitásakor ( $I$ -ből a  $2$  állásba) a kör induktivitása a megszakítás pillanatában fennálló  $i_0$  áramot továbbra is fenntartani igyekszik. A transzformátor szekunder tekerces árama tehát az első pillanatban  $i_1 = i_0$  és ez az áram az  $R_1$  ellenálláson keresztül tud csak folyni, miközben  $U_1 = i_1 R_1$  feszültséget okoz. Ez a feszültség a lekapcsolás miatt keletkező legnagyobb feszültség.

Ha  $i_n$  névleges áramot  $R_n$  terhelő ellenállás eredményez és  $U_n/R_n = i_n$ , akkor az  $i_1 = x i_n$  terhelő áramot  $R_n/x$  terhelő ellenállás határozza meg. Becsüljük az üresjárási áramot 10%-ra ( $i_0 = 0,1 i_n$ ). Vizsgáljuk most az  $U_1/U_n$  hányadost az  $x$  (tehát a névlegeshez viszonyított terhelés) függvényében:

$$U_1 = i_0 \frac{R_n}{x} = \frac{0,1 i_n R_n}{x} = \frac{U_n}{x} 0,1,$$

$$\frac{U_1}{U_n} = \frac{0,1}{x}.$$



26-7. ábra. Lekapcsolási feszültség a terhelés függvényében (viszonylagos értékek)

$U_n$  transzformátor névleges feszültsége;  $R_n$  transzformátor áramát meghatározó ellenállás;  
 $U_1$  kikapcsoláskor fellépő túlfeszültség, ha a transzformátor  $R$  ellenállással van terhelve;  $x = R_n/R$  tényező

Ez az összefüggés azt mondja, hogy kb. 1/10 terhelésnél ( $i_t = 0,1i_n$ ;  $R_t = 10R_n$ ) történt lekapcsolás még nem okoz túlfeszültséget. A helyzet a valóságban sokkal bonyolultabb és éppen a bonyolultsága miatt a lekapcsoláskor keletkező feszültség pontosan nem számítható. A hiperbolikus összefüggés azonban még ilyen egyszerűsítést figyelembe véve is élesen mutatja azt a tendenciát, hogy a névleges áram néhány %-át meghatározó, tehát aránylag nagy ellenállás is már megakadályozza káros kapcsolási túlfeszültségek kialakulását, de annál nagyobb ellenállás alkalmazása esetén a korlátozó hatás rohamosan csökken (26-7. ábra).

A fenti elméleti megfontolásokkal támasztható alá az a gyakorlatban hasznosnak bizonyult módszer, hogy a transzformátort a kikapcsolási túlfeszültség csökkentése céljából minél nagyobb kondenzátorral és minél kisebb induktív ellenállásokkal terhelt állapotában kapcsoljuk ki. Ennek megvalósítása a transzformátorhoz tartozó egyenirányító egyenáramú oldalán is lehetséges (26-1. ábra,  $R_2C_1$ ), ahol ugyanezt a csillapító hatást 1/3 mennyiségű kondenzátorral, ill. ellenállással elérhetjük. Nemlineáris ellenállás és szikraköz kombinációjából álló túlfeszültség-levezetők beépítését a kapcsolások gyakorisága miatt nem tartjuk elég megbízhatónak. Jó megoldást biztosít még (ahol erre lehetőség van) az ellenállásos megszakító alkalmazása [12].

### 3. A zárlati áramkör jellemzői

#### 3.1. A zárlati áram és az időállandó beállítása

A vizsgálo áramkör jellemzőinek beállítására szolgálnak:

a) a hálózati oldalon elhelyezett egyrészt tisztán induktív ellenállás-elemekből álló, másrészt gyakorlatilag csupán induktív ellenállást tartalmazó fojtótekercekből álló áramszabályozási egységek. (Ezek legnagyobb értéke  $R = 100 \Omega$  és  $X = 100 \Omega$ ).

b) A szekunder oldalon az egyenáramú áramkörbe bekapcsolható induktív és induktív ellenállások.

Annak megállapítására, hogy milyen mértékű szabályozásra adnak lehetőséget a berendezésbe beépített korlátozó ellenállások, vizsgálatot végeztünk a 26-2. táblázatban összefoglalt hatféle változatban.

A transzformátor feszültsége a primer oldalon 10,5 kV, a szekunder oldalon 173 V. Az 1 vizsgálat alkalmával az áramot az egyenáramú oldalon beépített  $R$  ellenállás és a síncsatlakozás ellenállása korlátozta, gyakorlatilag indukciómentes áramkörben. A primer oldali  $Z = R_1 + X_1$  elhanyagolható.

A 2 vizsgálatnál a primer oldali  $Z$  impedancia ismét elhanyagolhatóan kicsi, azonban az egyenáramú körbe beépített 0,75 mH értékű induktivitás következtében az áram kezdeti meredeksége lényegesen kisebb.

A továbbiakban a kísérleti mérésekből megállapítható, hogy az állandósult árambeállítás végezhető egyenáramú körbe iktatott különböző nagyságú induktív ellenállással ( $R$ ) vagy primer oldali impedanciákkal ( $Z$ ). Az árambeállítás szempontjából a kétfajta megoldás egyenértékű, de a zárlat alatt a primer oldali impedanciák használatakor az egyenfeszültség teljesen letörik. Ugyanakkor az így beállított áram kezdeti meredeksége — tehát az időállandója is — az egyenáramú oldalon elhelyezett (simító) fojtótekercestől függ, a váltakozóáramú fojtótekercestől nem. Ha az  $L \gg 0$ , akkor a zárlati egyenáram az ismert exponenciális képlet szerint

$$I_e = I_0(1 - e^{-\frac{t}{T}})$$

éri el állandósult értékét. Az egyenáramú zárlati próbák szabványaiban a zárlati áramkör időállandóját ( $T=L/R$ ) általában előírják [16]. Annak értelmezése az előbbi exponenciális összefüggéssel egyértelműen meg van határozva, azonban ha az egyenáramú oldalon az  $L \rightarrow 0$ , az egyenáramú zárlati áram nem az exponenciális összefüggés szerint fog kialakulni; a beálló lengések miatt a kezdeti áramcsúcs az állandósult értéket is meghaladhatja. (L. 26-2. táblázat 5A, 5B, 5C kísérlethez tartozó oszcillogramjait.) Ilyen esetekben az előbbi értelemben időállandóról nem beszélhetünk, és a zárlati áramkör paramétereiként az időállandó helyett célszerű az áram meredekségét bevezetni.

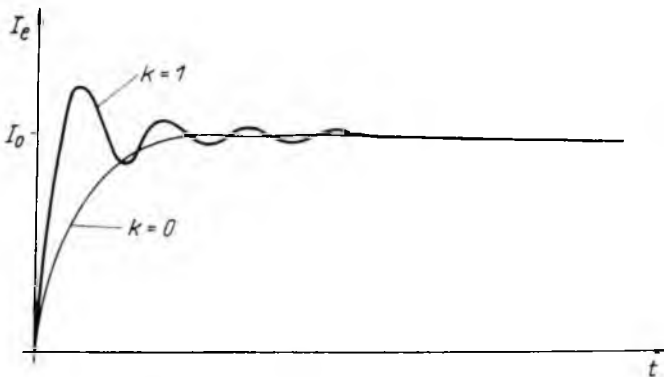
### 3.2 A rákapcsolási áramcsúcs és a zárlati áram kialakulása

Az áramirányítók egyenáramú körében fellépő zárlati áram lefolyása az egyenirányító transzformátor primer és szekunder oldalán szétosztott reaktanciáktól függ. Jelöljük  $L_p = \omega X_p$ -vel a transzformátor primer, és  $L_s = \omega X_s$ -sel a transzformátor szekunder oldali reaktanciáit (l. a 26-4. ábrát). Így az

$$\frac{X_p}{X_p + X_s} = k$$

tényezőt vezethetjük be, amelynek értéke szerint a szekunder oldali, ill. az egyenáramú körben fellépő  $I_e$  zárlati áram kifejlődése különböző lesz. ( $k$  maximális értéke = 1, ha a szekunder oldalon nincs fojtótekercs) [2].

A zárlat bekövetkezte után a zárlati áram annál később éri el állandósult értékét, minél nagyobb fojtótekercs (simító fojtó) van az egyenáramú körben. Igen nagy fojtótekercs beépítésével az áram lefolyása olyan lesz, mint amikor valamely egyenáramú áramforrásra, pl. akkumulátorra nagy induktivitású áramkört kapcsolunk. Ha azonban az egyenáramú oldalon nincs fojtótekercs, akkor a zárlati áram rögtön kifejlődhet és olyan maximális értéket ér el, amely az állandósult zárlati áram értékét tetemesen túllépi és csak a lengések csillapítása után állandósul (26-8. ábra). Ha az

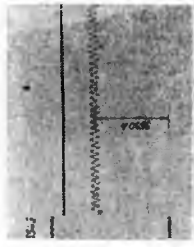
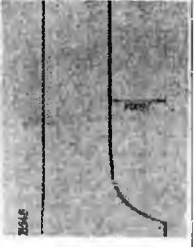
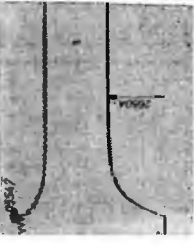
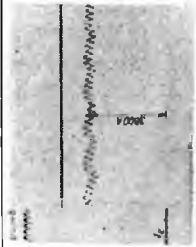


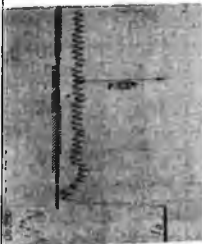
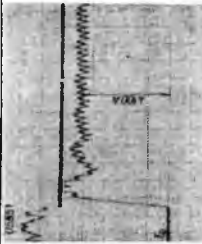
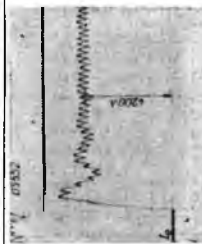

26-8. ábra. Zárlati egyenáram kialakulása

$I_e$  zárlati egyenáram;  $I_0$  zárlati egyenáram állandósult értéke;

idő;  $k = \frac{X_p}{X_p + X_s}$ ;  $X_p$ ,  $X_s$  primer, ill. szekunder oldali reaktanciák

26-2. táblázat

Vizsgáló- latok száma	Oscillogram	Korlátozó ellenállások						Oscillogramból kiértékelve			$T$ időállandó ms
		primer oldali (10 kV)		egyenáramú oldali (230 V)		$I_p$ (állandósult)	Kézdeti meredekség	$A$	$A$ /ms		
		$R_1$	$X_1$	$R$	$L$						
$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	mH						
1		0,6	0,8	0,05	—	3550	3550	3550	0,2		
2		0,6	0,8	0,05	0,75	2600	2600	240	10		
3		100	—	—	0,75	2650	2650	185	12		
4		100	0,6	—	—	3600	3600	3000	0,2		

5A		1,6	100	—	—	4000	1000	nem értékelhető
5B		1,6	100	—	—	4100	810	nem értékelhető
5C		1,6	100	—	—	4200	1000	nem értékelhető
6		1,6	100	—	0,75	3250	170	14

egyenáramú körben növeljük az induktivitás értékét, úgy a  $k$  tényező értéke csökken, az áram túllendülése is eltűnik, amint azt a 26-2. táblázatban foglalt vizsgálatok oszcillogramjai is mutatták.

A zárlati egyenáram ( $I_e$ ) megállapítható a kör jellemzőit tartalmazó differenciálegyenletről (l. a 26-4. ábrát).

$$L_\delta \frac{dI_e}{dt} + RI_e = U_s \sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi).$$

Az egyenlet megoldásából általánosságban nyerjük az alábbi összefüggést, amely lényegében a transzformátor zárlati áramát adja meg. Egy áramvezetési szakaszra az egyenáram:

$$I_e = \frac{U_s \sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L_\delta^2}} \sin(t + \varphi - \psi) - \sin(\varphi - \psi) e^{-\frac{t}{T}},$$

ahol az időállandó  $T = \frac{L_\delta}{R}$ ,

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{L_\delta}{R} = \omega T,$$

$\varphi$  a rákapcsolási szög. A teljes egyenáram  $I_e$  az egyes áramvezetési szakaszok összegeként adódik ( $I_e = \sum I_e'$ ).

Kiindulva a zárlat kezdetének pillanatától és figyelembe véve a zárlati áram vezetésében részt vevő szelepeket, az egyes szeleppáramok összegezéséből kapjuk a zárlati egyenáramot, tehát a fenti egyenlettel pontonként meghatározható a zárlati áram lefolyása [7, 8, 13].

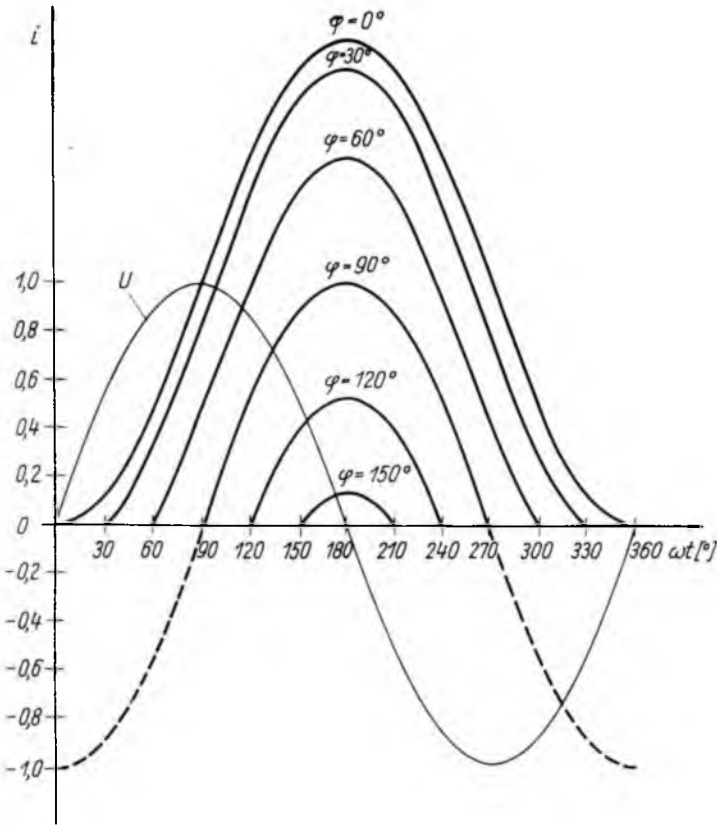
Zárlati berendezésünkben alkalmazott háromfázisú hídkapcsolású egyenirányítónál a terhelés növelésével, az áramerősségnek a zárlati áramig történő növelése közben három működési területet különböztethetünk meg aszerint, hogy a fedési szögek növekedése következtében az egyes szelepcsoportok áramai egymást befolyásolják-e, vagy sem [6]. Az első működési területen a reaktanciák eloszlása olyan, hogy a  $k$  tényező értéke aránylag kicsi és a szelepcsoportok áramai nem befolyásolják egymást. A fedési szög legnagyobb értéke  $60^\circ$ . A második működési területen, amelyet a  $k$  tényező értékének növekedése jellemez, a hálózati oldali reaktanciák következtében a kommutálásnál feszültségeselek lépnek fel. A gyújtás később következik be; egy-egy szelep áramvezetése csak akkor kezdődhet, ha ugyanahhoz a fázishoz tartozó ellenkező irányú szelep áramvezetése befejeződött, az egyes szeleppáramok egymást egyre jobban befolyásolják. Növekvő egyenárammal tehát a gyújtási pont késik anélkül, hogy a fedés, ill. a vezetés ideje hosszabbodna. Az áramerősség további növekedésével elérjük a harmadik működési területet, amely a teljes rövidzárásig tart. Itt a  $k$  értéke közeledik 1-hez. Az egyes szelepek áramvezetési ideje tovább növekszik, négy szelep egyszerre vezet áramot és kettő-kettő egymással egyidejűleg kommutál, tehát már kettős kommutálás lép fel.

### 3.3. Jellegzetes példa a kezdeti áramcsúcs kialakulására

A kezdeti túllengés kialakulását a  $k = 1$  érték közelében egy példán kívánjuk bemutatni. Itt a jobb áttekinthetőség miatt a háromfázisú hídkapcsolás helyett a háromfázisú egyutas kapcsolást választottuk. A zárlati rákapcsolás időpontja szerint



a szelepáramok fázisban eltolódva indulnak. A 26-10. ábrán a zárlat kezdete  $t_1$  időpontban van. Általánosságban a vezetés kezdete, vagyis a gyújtási pont a feszültség nullaátmenete után  $30^\circ$ -kal történik. A  $t_1$  pontban a zárlat ezzel összeesik, ezért, mivel az 1 és 2 jelű feszültséghez tartozó szelepáramok itt kommutálnak, ezért mind-

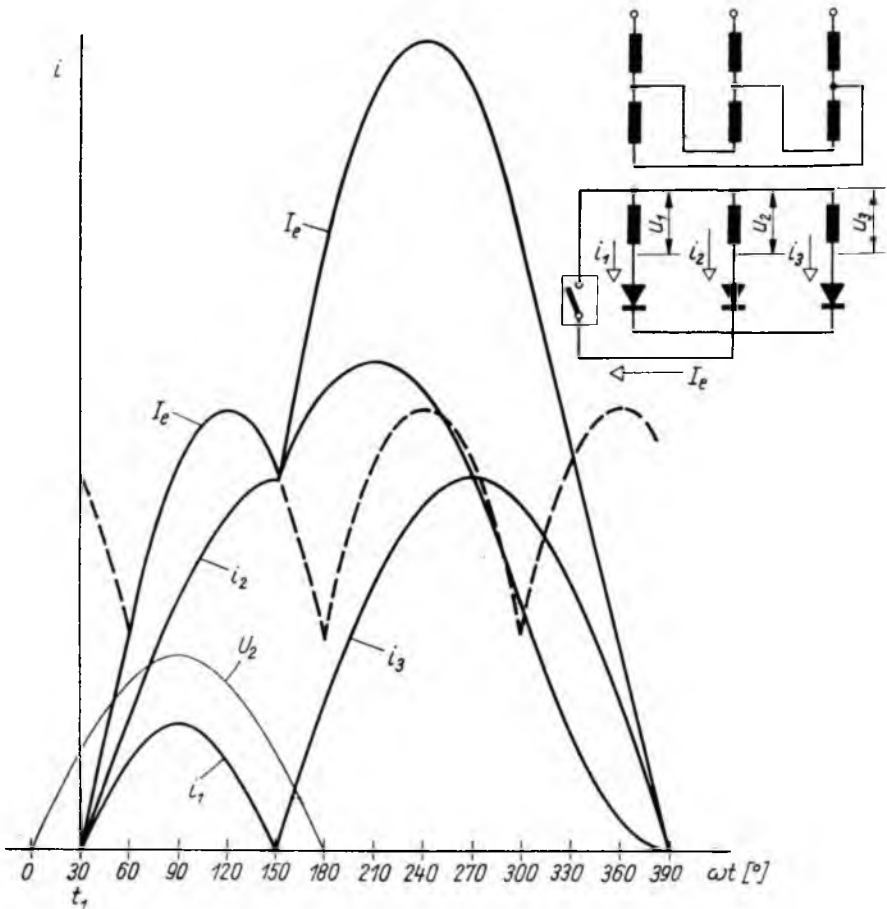


26-9. ábra. Különböző rákapcsolási időpontokban fellépő transziens áramok

$U$  fázisfeszültség;  $i$  transziens áram;  $\varphi$  rákapcsolási szög;  $t$  idő ( $\omega t = 360^\circ$ )

két szelep áramot vezet és így alakul ki az  $i_1$  és  $i_2$  áram. Az  $i_2$  áram megfelel a feszültség nullaátmenete utáni  $30^\circ$ -nál induló transziens zárlati áramnak, az  $i_1$  áram pedig a  $150^\circ$ -kal a feszültség nulla pontja után kezdődő transziens áramnak felel meg. A felvett példában a primer oldali impedanciák következményeként a zárlatot indító feszültség fázishelyzete a fenti általános esethez viszonyítva megváltozik, és az induló zárlati szelepáram ennek a megváltozott helyzetű feszültségnek a következménye lesz. Az  $i_1$  áram a feszültség nullaátmenete után  $120^\circ$ -kal kezdődő transziens áramnak felel meg, az  $i_2$  pedig a  $60^\circ$ -nak. A 26-9. ábrában összegyűjtve adjuk a különböző időpillanatokban induló transziens áramok lefolyását (ideális áramköröket feltételezve) és a 26-10. ábrában az egyes áramok lefolyását a 26-9. ábra segítségével szerkesztettük meg. Az  $i_3$  lefolyása teljesen megegyezik az  $i_2$ -ével, csupán a kezdeti fázisszög  $120^\circ$ . Az  $I_e$  áram, mint az egyes szelepáramok összege, mutatja

az első nagy áramcsúcsot. Ideális viszonyok mellett  $2\pi$  időszak után az  $I_e$  áramgörbe megismétlődne, azonban a körben levő konduktív ellenállások miatt a lengések csökkennek, és végül is az állandósult zárlati áram a szaggatottan rajzolt görbe alakot veszi fel [3].



26-10. ábra. Zárlati egyenáram kialakulása háromfázisú egyutas egyenirányítóban  
 $I_e$  zárlati egyenáram;  $i_1, i_2, i_3$  szelepáramok;  $t_1$  rákapcsolási időpont;  $t$  idő ( $\omega t = 360^\circ$ );  $U_2$  fázisfeszültség

Meg kell még említeni, hogy hídkapcsolásnál a rövidzárási áram kialakulása lényegesen nehezebben követhető, mint a bemutatott háromfázisú példánál, mert a kettős kommutáció miatt az összefüggések még bonyolultabbak.

#### 4. Összefoglalás

Egyenáramú zárlati vizsgálatok céljaira — mint áramforrást — legcélszerűbbnek tartjuk a félvezetős egyenirányító berendezés alkalmazását. Ismertetjük a transzformátor és a diódák kiválasztásának és védelmének szempontjait, a nagyszámú pár-

huzamosan kapcsolt dióda egyenletes árameloszlására, valamint az elkerülhetetlen kapcsolási túlfeszültségek helyes értékelésére és csökkentésére kidolgozott eljárásokat. Foglalkozunk az egyenáramú zárlati áramkör szabályozási kérdéseivel. Egy mérőszorozat eredményeképpen kimutatjuk, hogy egyenirányító berendezésünkben a zárlati áramot a kívánt értékre primer oldali, ill. egyenáramú oldalon elhelyezett fojtótekerccsekkel, ill. ellenállásokkal egyformán lehet beszabályozni, az időállórára viszont a primer oldali fojtótekerccsek nincsenek befolyással. Az időállóráról általánosan elfogadott értelmezés szerint csak akkor beszélhetünk, ha a zárlati egyenáram az ismert exponenciális függvény szerint közelíti meg állandósult értékét. Sok esetben ez nem így van. A primer és szekunder oldali reaktanciák viszonyától függően a zárlati áram első csúcsa nagyobb mint az állandósult érték. Ilyen esetben az időálló helyett a kezdeti áram meredekségét célszerű megadni. Foglalkozunk a zárlati áram kialakulásával és általánosan használt háromfázisú hídkapcsolás helyett egy egyszerűbb kapcsolású egyenirányító példáján közvetlenül bemutatjuk a rákapcsoláskor fellépő túllengést.

### Irodalom

- [1] Csáthy K.: Villamoskészülékek nagy teljesítményű vizsgálatai az Intézet zárlati laboratóriumában. VKI Közlemények 2 1967.
- [2] Kloeppe, F. N.—Fiedler, H.: Kurzschluss in elektrischen Anlagen und Netzen. VEB Verlag Technik, Berlin, 1965.
- [3] Schilling, W.: Der Stosskurzschlussstrom in Gleichrichteranlagen. E und M. Heft 23/24. (1940).
- [4] Friedrich, H.—Mayer, H.: Die wiederkehrende Spannung beim Abschalten von Prüfstromkreisen mit Luftschützen. ETZ/A. H 19. (1961).
- [5] Wasserrab: Schaltungslehre der Stromrichtertechnik Springer-Verlag, Berlin, 1962.
- [6] Hoelters, F.: Current and Voltage Conditions from No-Load to Short Circuit in threephase Bridge Circuits. Direct Current. 1961. March.
- [7] Herskind—Kallog: Rectifier Fault Currents, Transaction AIEE. (1945) p. 145.
- [8] Herskind—Schmidt—Retting: Rectifier Fault Currents II. Transactions AIEE. 1949. p. 245.
- [9] Dr. Kanabé J.: Aszinkron motorokat helyettesítő áramkör motorkapcsolók megszakítóképeségének vizsgálatára. Elektrotechnika 11—12 (1963).
- [10] Lehmann, G.: Schutz von Halbleitergleichrichteranlagen. AEG Mitteilungen H 5/6 (1961).
- [11] Bichara, R.: Einschwingvorgänge in Stromrichteranlagen und ihre Bedämpfung. ETZ-A. 81. 26. p. 937—944. (1960).
- [12] Néveri I.: Ellenállásos megszakítás. Kandidátusi értekezés.
- [13] Beck, G. R.: Kurzschlussberechnung in Stromrichteranlagen. Elektrie. 1965.
- [14] Böstering, W.: Freilaufdioden zum Schutz von Halbleiter-Gleichrichtern oder Schaltkontakten gegen Überspannung. ETZ-A. Bd. 87 Heft 4.
- [15] Csikós B.: Transzformátorok. Pattantyús Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve. 7. köt. E) fejelet.
- [16] Low-voltage distribution switchgear. IEC Publication. 157-1 1964.



# 27.

## Ívöltási viszonyok váltakozóáramú kontaktorokban

POLGÁR TIBOR

### ÖSSZEFOGLALÁS

A váltakozóáramú kontaktorokban leginkább alkalmazott deionlemezis oltókamrák helyes méretezéséhez fontos szempont a szabványos kikapcsolóképeség-vizsgálatnál előírt áram megszakításakor keletkező ívenergia nagysága. Egyes oltókamra-típusoknál ilyen nagy áramok megszakításakor lineáris ívfeszültség növekedés figyelhető meg. A cikk ilyen esetre ismerteti mérési eredményekkel alátámasztott egyszerű számítási módszert az ívöltási idő és az ívenergia meghatározására. A mért és számított értékek közötti eltérés 20%-on belül van, ami a gyakorlati igényeknek megfelelő.

### УСЛОВИЯ ГАШЕНИЯ ДУГИ В КОНТАКТОРАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

*T. Polgár*

#### Резюме

Для правильного расчета камер гашения с деионизированными пластинами, применяемыми в большинстве случаев в контакторах переменного тока, важным параметром является величина энергии дуги, возникающей при прерывании тока в ходе испытаний стандартной способности выключения. При применении отдельных типов камер, при прерывании токов большой мощности наблюдается линейный рост напряжения дуги. В статье приводится простой способ расчета времени гашения дуги и энергии дуги, обоснованный результатами испытаний такого случая. Отклонение между расчетными и измеренными значениями находится в пределах 20%, что удовлетворяет требованиям практических запросов.

### ÜBER DAS VERHALTEN DER LICHTBOGENLÖSCHUNG IN WECHSELSTROMSCHÜTZEN

*T. Polgár*

#### Zusammenfassung

Ein wichtiger Gesichtspunkt bei der richtigen Bemessung der in Wechselstromschützen am häufigsten verwendeten Deion-Löschblechkammern ist die Grösse der bei der Unterbrechung des zur genormten Ausschaltfähigkeitsprüfung vorgeschriebenen Stromes entstehenden Lichtbogenenergie. Bei einzelnen Typen der Deion-Löschblechkammern kann bei der Unterbrechung von so grossen Strömen ein linearer Anstieg der Lichtbogenenergie beobachtet werden. Die Abhandlung gibt für solche Fälle ein mit Messergebnissen bestätigtes einfaches Berechnungssystem zur Bestimmung der Lichtbogenlöschzeit und der Lichtbogenenergie. Die Abweichung zwischen den gemessenen und den berechneten Werten liegt innerhalb von 20%, welche den praktischen Anforderungen entspricht.

## ARC QUENCHING CONDITIONS IN A. C. CONTACTORS

*T. Polgár*

### Summary

The magnitude of the arc power appearing when the current specified for the standard breaking capacity in disconnected is an important aspect of the proper designing of arc-control device with deion sheets more frequently used in a. c. contactors. In certain types of arc-control device with deion sheets linear increase of the arc voltage can be observed when such high currents are broken. The author describes a simple calculation method supported by measuring results for such cases, for the determination of the arc quenching time and of the arc power. The difference between the measured and calculated values is within 20 per cent, which satisfies practical requirements.

### 1. Bevezetés

A váltakozóáramú kontaktorok ívöltő szerkezetének fontos — és közismert előnyei miatt igen gyakran alkalmazott — része a deionlemez oltókamra. Az ilyen oltókamrák helyes méretezésénél számos — itt nem részletezett — szempontot kell figyelembe venni. Az egyik ilyen szempont, amellyel most bővebben kívánunk foglalkozni, annak meghatározása, hogy az ívöltő lemezek az ív megszakítása folyamán milyen maximális termikus igénybevételnek lehetnek kitéve. Ennek ismerete azért fontos, mert az oltókamrában az ív által termelt hőenergia legnagyobb részét a deion-lemezeknek kell felemészteni, ami más szóval azt jelenti, hogy a kikapcsoláskor keletkező ívenergia a deionlemezek hőtartalmát megnöveli. A kérdést megfordítva, ebből következik, hogy az ív sikeres megszakításának egyik szükséges feltétele az, hogy az alkalmazott deionlemezek hőkapacitása elegendő legyen az ívenergia által termelt hő elvezetésére anélkül, hogy maguk a deionlemezek maradandó károsodást szenvednének. Mivel a tapasztalat szerint az íváltalppontok hőmérséklete általában jóval magasabb, mint a deionlemez anyagának olvadáspontja, az íváltalppontokon mindig olvadásképződés marad vissza. Az a tény azonban, hogy az íváltalppontok a deionlemez anyagát megolvasztják, elősegíti az ívöltést, mivel a deionlemez anyagának megolvadásához szükséges olvadási hő az íváltalppont környezetének hőmérsékletét csökkenti, tehát az ív hűtését elősegíti. Így az ívöltő szerkezet működése szempontjából nem tekinthető károsnak, ha a deionlemez egy vékony felületi rétegben megolvad. Feltétlenül törekedni kell azonban arra, hogy az ívenergia által termelt hő a lemezeket teljes keresztmetszetükben megolvasztani ne tudja, mivel ez az ívöltő szerkezet működését már károsan befolyásolná.

Ha ismerjük tehát azt a maximális hőigénybevételt, amely az oltókamra üzemszerű működése közben még felléphet, akkor egy lehetséges kiindulási pontot nyerünk a deionlemez méreteinek meghatározására.

### 2. Az ívöltő szerkezet mértékadó termikus igénybevétele

A kisfeszültségű váltakozóáramú kontaktorok ívöltő szerkezetének legnagyobb, tehát a méretezés szempontjából mértékadó termikus igénybevételének meghatározásakor legcélszerűbb az ilyen készülékekre vonatkozó szabványelőírásokból kiindulni. Ez azért lehetséges, mert a kisfeszültségű kontaktorok számára — éppen széleskörű felhasználásuk miatt — igen részletes és pontosan körülhatárolt előírás-

sokat dolgoztak ki nemzetközi [1] és országos [2, 3] vonatkozásban egyaránt, mind a követelmények, mind a vizsgálati módszerek tekintetében. Amikor tehát adott követelményeket kielégítő kontaktort kell tervezni, az idézett szabványok alapján sok esetben el lehet dönteni, hogy melyik az a legnagyobb előírt igénybevétel, amelyet a készülék egy adott szerkezeti részének meghibásodás nélkül ki kell bírnia.

A következőkben megvizsgáljuk tehát, hogy a deionlemezek mértékadó termikus igénybevételére nézve milyen útmutatásokat adnak a szabványelőírások. A [3] szerinti leggyakrabban alkalmazott AC<sub>3</sub> üzemmódot szem előtt tartva, mindenképp előt kell eldöntenünk, hogy a szóbajövő két működési mód közül — a legszigorúbb előírásokat tekintve — melyik jelent nagyobb igénybevételt a deionlemezek számára:

a) szokásos üzemmódban óránként 1200 kapcsolási gyakoriság,

b) a kikapcsolóképeség vizsgálatánál előírt feltételek (1,1 U, cos φ = 0,35, 8 I<sub>e</sub>, ill. 6 I<sub>e</sub> mellett 5 s-onként 20 megszakítás).

Korábbi vizsgálati eredményeink lehetővé teszik a 160 A, és ennél kisebb névleges áramerősségű kontaktorok esetében e kérdés egyértelmű eldöntését. [4]-ben ui. számos, igen eltérő felépítésű deionlemezes ívöltő szerkezet ívöltési viszonyait vizsgáltuk. Az áram-megszakításokról készített színes, nagysebességű filmfelvételek alapján megállapítottuk, hogy a deionlemezek csak a névleges áram többszörösénél vesznek tevékenyen részt az ívöltésben. A névleges áram környékén ui. az áram-hozzávezetések és a vas deionlemezek okozta erőhatás még nem elég nagy ahhoz, hogy az ívet a deionlemezek közé kényszerítse. Ebből következik, hogy az a) alatti működési mód elsősorban az érintkezők mértékadó igénybevételét határozza meg, míg a deionlemezek méretezésekor a kikapcsolóképeség-vizsgálatra előírt feltételeket kell figyelembe venni.

### 3. Az ívenergia meghatározásának kérdései

A követelmények rögzítése azonban önmagában nem elegendő a termikus igénybevétel nagyságának ismeretéhez. Ehhez az szükséges, hogy valamilyen módon meghatározzuk a kikapcsolóképeség-vizsgálat feltételei mellett fellépő ívenergia nagyságát. E feladat megoldását két körülmény nagymértékben megnehezíti.

Az egyik nehézség a villamos ív nemlineáris jellegéből következik. Ha ui. a kikapcsolóképeség-vizsgálat elvégzéséhez szolgáló áramkörre érvényes

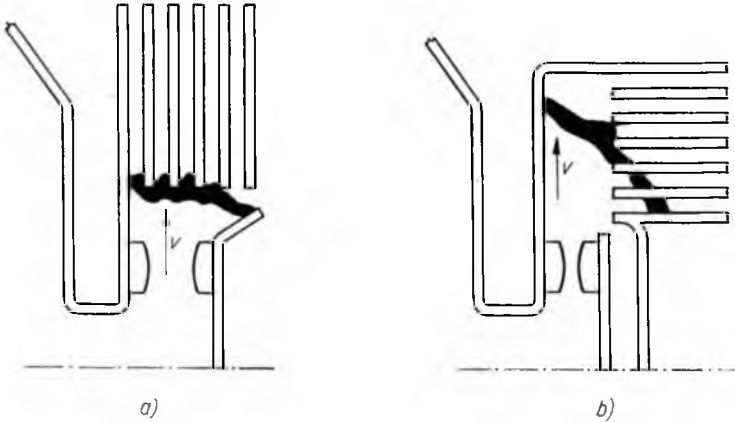
$$L \frac{di}{dt} + Ri + u_{iv} = u_m \sin(\omega t + \psi) \quad (1)$$

differenciálegyenletet, továbbá az ívenergia meghatározására szolgáló

$$W_{iv} = \int_0^{t_k} u_{iv} i dt \quad (2)$$

kifejezést szemügyre vesszük (a jelölések értelmezésére vonatkozóan l. a 27-2. ábrát), kitévnik, hogy a kikapcsolási áram, a megszakítási idő és ívenergia meghatározásához egyaránt szükséges az ívfeszültség időbeni alakulásának és az áramtól való függésének ismerete. Ezt a nehézséget gyakran úgy kerülük meg, hogy a váltakozóáramú ívnél is az ismert Ayrton-féle összefüggéssel számolnak [5], ami pedig tudvalevően csak 10 A-nél kisebb áramerősségű, stabilizált egyenáramú ívre érvényes, vagy a nehézkes grafikus módszert ajánlják [6] az említett jellemzők meghatározására.

Az ívenergia meghatározását még tovább nehezíti az a körülmény, hogy az ívfeszültség alakulásának jellege nagymértékben függ a konstrukció kialakítástól is. A 27-1. ábrán a váltakozóáramú kontaktorokban leggyakrabban alkalmazott két-fajta deionlemez elrendezést mutatjuk be. A 27-1a ábrán látható elrendezésben a deionlemezek merőlegesek a szétváló érintkezők között keletkező villamos ív tengelyére. Az áramutak és a deionlemezek okozta erők hatására az érintkezők között keletkező ív mindkét talppontja  $v$  sebességgel mozog a deionlemezek felé, és az ívhúzó szarv hatására megnyúlt ívoszlop teljes hosszúságában közel azonos időben éri el a deionlemezeket. A kialakuló soros részívek száma és hosszúsága, valamint a rajtuk átfolyó áram meghatározza az ívfeszültség nagyságát, amely oszcillogram-felvételek tanúsága szerint közel állandó nagyságú [4]. Ilyen esetben

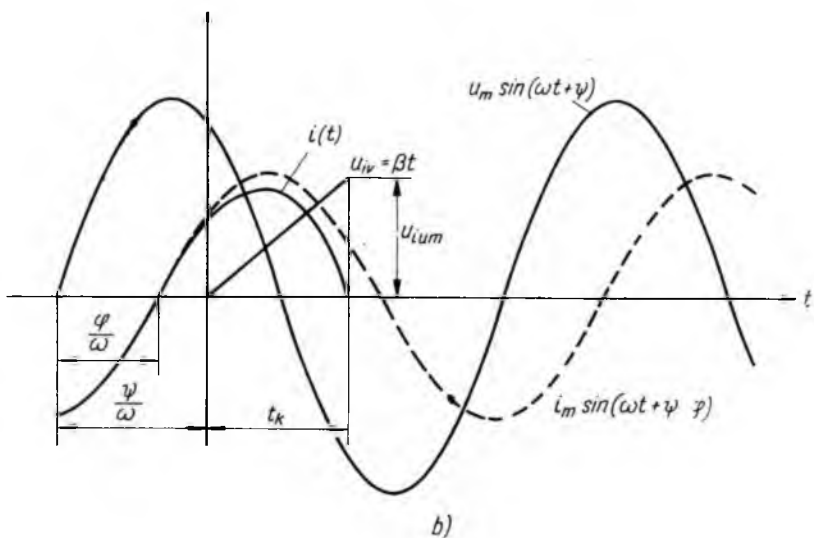
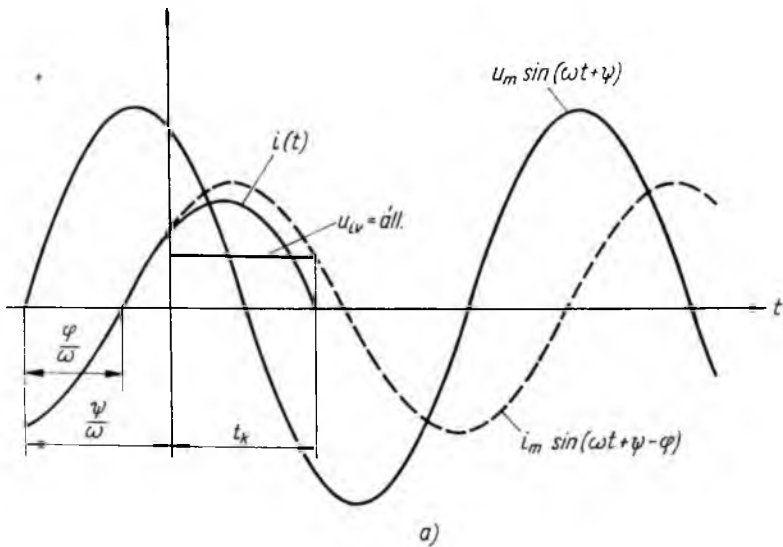


27-1. ábra. Az ív behatolása a deionlemezek közé  
a) ívre merőleges és b) ívvel párhuzamos lemezek esetén

tehát az ívaram és ívfeszültség alakulását vázlatosan a 27-2a ábrán látható módon rajzolhatjuk meg, feltéve, hogy az ív az áram első nullaátmenete után kialszik. Az ábrán az állandósult áram értékét szaggatott vonallal tüntettük fel, bejelöltük továbbá az áram és feszültség közötti  $\varphi$  fázisszöveget, a megszakítás kezdetekor fellépő  $\psi$  feszültség fázisszöveget, valamint a  $t_k$  ívoldási időt is. Állandó ívfeszültség esetére az (1) és (2) egyenletek megoldása különösebb nehézségbe nem ütközik és többek között [7]-ben is megtalálható.

Ettől eltérő jellegű ívfeszültségek alakulnak ki olyan ívoldó szerkezetekben, amelyeket a 27-1b ábrának megfelelő deionlemez-elrendezéssel készítenek. Az ábrán vázolt megoldásban az érintkezők szétválása után a mozgóérintkezőn keletkező ívtalppont igen rövid idő alatt átugrik a hozzá legközelebb eső deionlemezre. Az állóérintkezőn elhelyezkedő ívtalppont az áramút fúvóhatása következtében  $v$  sebességgel mozog a szélső deionlemez felé, miközben az ívoszlop egyre több soros részívre szakad a közbenső deionlemezek között. E sematikus kép alapján arra lehet következtetni, hogy ilyenkor az ívfeszültség nem ugrásszerűen növekedik meg, hanem fokozatosan emelkedik az összes deionlemez működésbe léptéig. A növekedési sebesség nyilvánvalóan az ívtalppont  $v$  haladási sebességétől és a deionlemezek távolságától függ. A 27-1b ábrán vázolthoz hasonló ívoldó szerkezettel rendelkező Siemens K 915 típusú, 200 A névleges áramerősségű kontaktorral végzett megszakí-





27-2. ábra. Az ívfeszültség és az áram sematikus ábrázolása időben állandó ívfeszültség (a) és időben lineárisan növekvő ívfeszültség (b) esetén

tási kísérletek során készített ívfeszültség-oszcillogramok igazolták ezt a feltevést. Számos felvételnél  $u_i$ -t tapasztaltuk, hogy az ívfeszültség közel lineárisan növekedett az idő függvényében. Ilyen esetben a megszakítási folyamat jellemzői (áram, ívfeszültség) a 27-2b ábra szerint vázolhatók. (A jelölések megegyeznek a 27-2a ábrával.)

#### 4. Az ívenergia és az ívöltási idő meghatározása lineárisan növekedő ívfeszültség esetén

A lineáris ívfeszültség-növekedés esetén fellépő kikapcsolási ívenergia számításának kérdésével korábban [7]-ben foglalkoztak. Idézett közlemény azonban csak  $\cos \varphi = 0$  esetet tárgyalja, és a közölt eredmények nincsenek kísérletekkel alátámasztva. Bár e tárgyalási mód a jelenség lefolyásáról jó minőségi tájékoztatást szolgáltat, a gyakorlati méretezési mód számára szükségesnek tartottuk a szabványos vizsgálatokban előírt viszonyokra nézve a jelenségek részletes tisztázását.

A következőkben tehát megvizsgáljuk, hogy a kikapcsolóképesség-vizsgálatra előírt  $\cos \varphi = 0,35$  fázistényező esetén hogyan alakul az ívöltási idő és az ívenergia nagysága, ha az ívfeszültség

$$u_{iv} = \beta t \quad (3)$$

módon, lineárisan növekszik az idő függvényében. Feltételezzük, hogy az ív az áram első nullaátmeneténél kialszik. Ez a feltételezés a 27-1b ábra szerint felépített és jól méretezett oltókamrák esetén a kikapcsolóképesség-vizsgálatra előírt áramoknál — méréseink szerint — csaknem mindig helytálló.

Ebben az esetben a kikapcsolóképesség-vizsgálat elvégzéséhez előírt áramkörre a következő differenciálegyenlet írható fel:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \beta t = u_m \sin(\omega t + \psi). \quad (6)$$

Ennek megoldása megadja az áram időbeli lefolyását:

$$i = \frac{u_m}{R} \cos \varphi \sin(\omega t + \psi - \varphi) - \frac{\beta}{R} t + \frac{\beta}{R} T \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right], \quad (5)$$

ahol  $T = L/R = \text{tg } \varphi / \omega$  a kör időállandója és  $\varphi$  az áram és feszültség közti fázisszög. Az (5) kifejezésből kiszámíthatjuk a kialvási idő értékét, ha meghatározzuk az áram első nullaátmenetéig eltelt időt, ami egyenértékű azzal, hogy a kifejezés bal oldalára nullát írunk. Ebben az esetben azonban az (5) kifejezésbe  $t$  helyébe a  $t_k$  kialvási idő értékét helyettesítjük. Bevezetve az

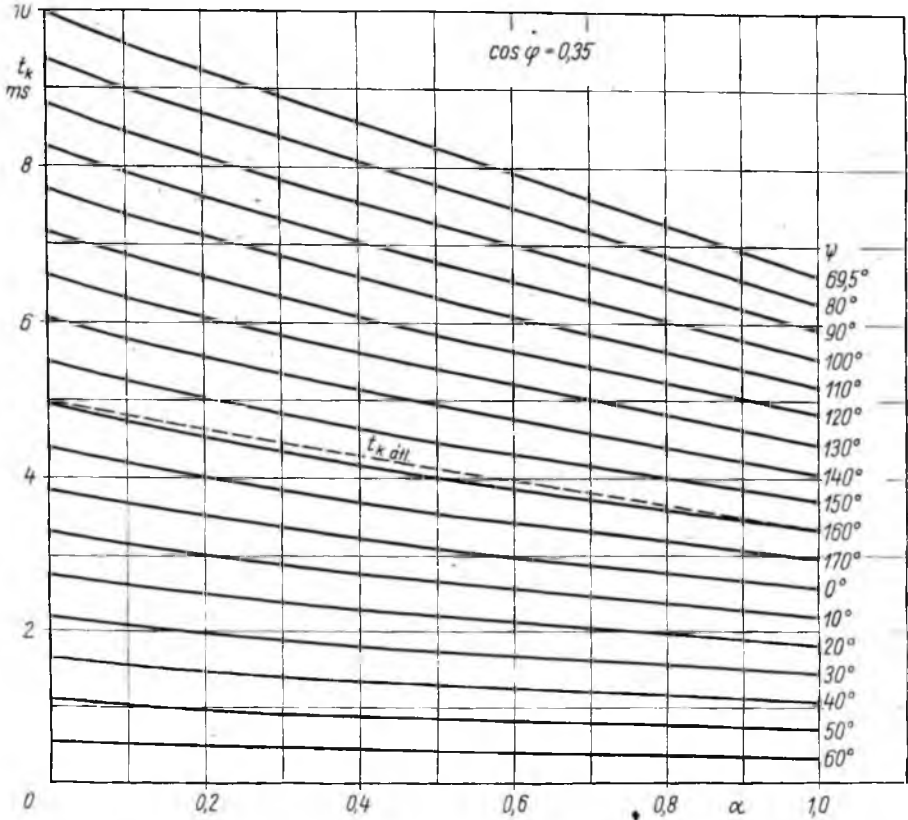
$$\alpha = \frac{\beta}{u_m} t_k = \frac{u_{ivm}}{u_m} \quad (6)$$

dimenzió nélküli viszonyszámot, amely azt mutatja meg, hogy a kialvás pillanatában az ívfeszültség hányadrésze a hálózati feszültségnek, a kialvási idő értékére a következő összefüggést kapjuk:

$$\alpha = \frac{\cos \varphi \sin(\omega t_k + \psi - \varphi)}{1 - \frac{T}{t_k} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_k}{T}\right) \right]}. \quad (7)$$

Ezt a  $t_k$ -ra nézve transzcendens egyenletet digitális számítógéppel oldottuk meg, figyelembe véve, hogy  $t_k$  alatt az áram első nullaátmenetéig eltelt időt értjük, továbbá, hogy esetünkben  $\cos \varphi = 0,35$ , és ennek megfelelően  $T = 8,519$  ms.

A számítás során kapott eredményeket a 27-3. ábrán mutatjuk be. A diagramban szaggatott vonallal feltüntetett átlagos kikapcsolási időt annak feltételezésével számítottuk ki, hogy nagyszámú kikapcsolás során a különféle  $\psi$  feszültség-kikapcsolási szögek azonos valószínűséggel fordulnak elő. Látható, hogy az időök  $\alpha$  növekedésekor a kikapcsolási szög értékétől függetlenül monoton csökkennek. A maximális kikapcsolási időket  $\psi = \varphi = 69,5^\circ$  esetén kapjuk, az átlagos időök értéke pedig megközelíti a  $\psi = 160^\circ$ -nál érvényes görbét.



27-3. ábra. Az áram első nullaátmenetéig eltelt kialszási idő az ívfeszültséggel arányos  $\alpha$  tényezőnek és a  $\psi$  feszültség kikapcsolási fázisszögnek a függvényében  $\cos \varphi = 0,35$  esetén, ha az ívfeszültség az időben lineárisan növekszik. Szaggatott vonallal a kialszási idő átlagértékét tüntettük fel

Ezek után a (2), (3) és (7) kifejezések segítségével meghatározhatjuk az ívenergia nagyságát, ha feltételezzük, hogy az ív az áram első nullaátmenete után nem gyullad újra. A részletes számítást mellőzve, a végeredményt a következő igen könnyen kezelhető formában írhatjuk fel:

$$W_{iv} = \kappa T u_m i_m \quad (8)$$

ahol

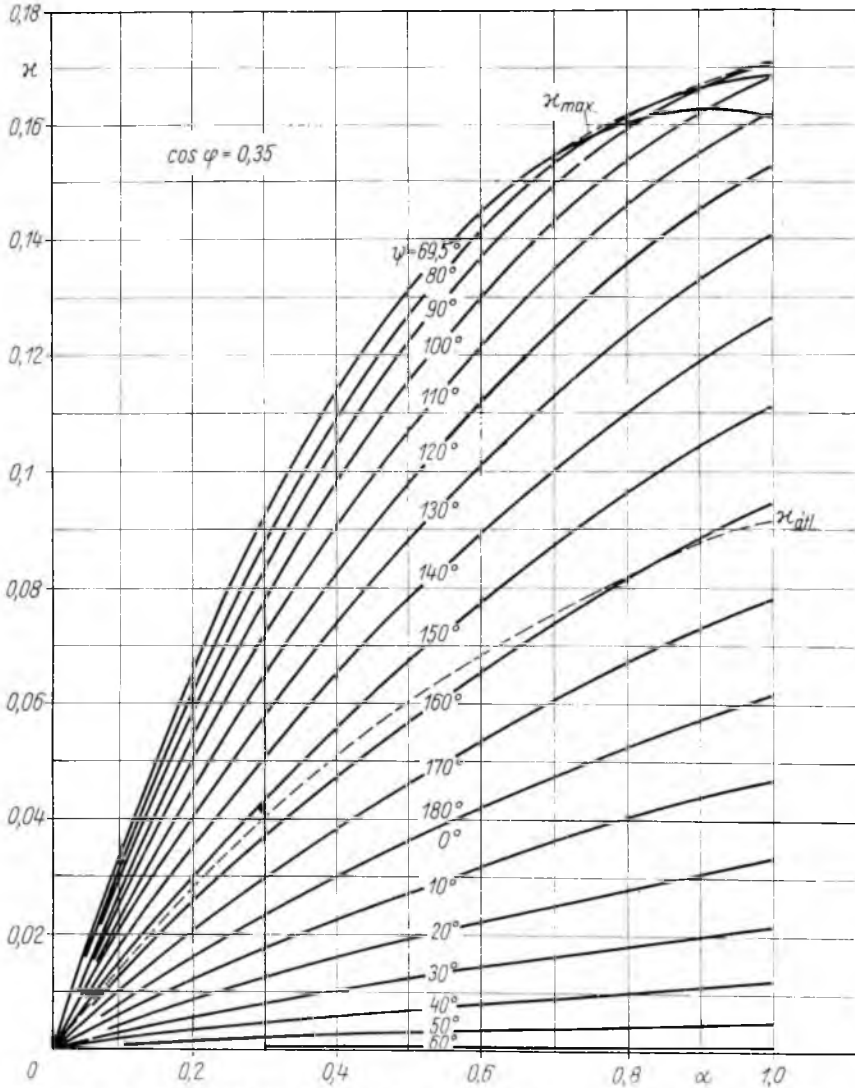
$u_m$  a hálózati feszültség maximális értéke;

$i_m$  a megszakítás kezdete előtti állandósult áram csúcserkéke;

$T$  a vizsgálati áramkör időállandója, amelynek értéke  $\cos \varphi = 0,35$  esetén 8,519 ms;

$\kappa$  az ivenergiával arányos dimenzió nélküli tényező, amelynek értéke a  $\psi$  kikapcsolási szögtől és az ívfeszültség növekedési sebességétől függ adott hálózati frekvencia és időállandó esetén.

A  $\kappa$  arányossági tényező értékeit  $\cos \varphi = 0,35$ -re  $\alpha$  és  $\psi$  függvényében ugyancsak digitális számítógéppel határoztuk meg. Az eredményeket a 27-4. ábra görbeserege



27-4. ábra. Az ivenergiával arányos  $\kappa$  tényező változása az ívfeszültséggel arányos tényező és a  $\alpha$  feszültség kikapcsolási fázisszög függvényében  $\cos \varphi = 0,35$  esetén, ha az ívfeszültség az időben lineárisan növekszik.  $\kappa$  átlagos és maximális értékét szaggatott vonallal jelöljük.

mutatja. A diagramban szaggatott vonallal tüntettük fel a  $\kappa$  arányossági tényező átlagértékét, amelynek meghatározásánál tekintetbe vettük, hogy nagyszámú ívmegszakítás esetén az egyes kikapcsolási szögek azonos valószínűséggel fordulnak elő, továbbá a  $\kappa$  maximális értékét szolgáló burkológörbét.

A 27-4. ábrán feltüntetett görbesereg adott hálózati feszültség, áram és idő-állandó esetén egyúttal az ívenergia alakulásának jellegét is megmutatja. Látható, hogy a különböző  $\psi$  értékekhez tartozó görbék  $\alpha$  függvényében egyideig monoton növekednek, majd egy maximális érték elérése után csökkennek. A maximális érték helye  $\psi$  nagyságától függ, a  $0 < \alpha < 1$  intervallumban — amely a kisfeszültségű kontaktorok szempontjából érdekes — egyedül  $\psi = \varphi$  esetben adódik szélsőérték.

A 27-3. és 27-4. ábra összehasonlításából levonhatjuk azt az igen érdekes következtetést, hogy lineárisan növekedő ívfeszültség esetén az áram első nullaátmenetéig fellépő ívenergia nagysága, valamint az ív égési ideje ellentétesen változik  $\alpha$  függvényében. Ez azt jelenti, hogy minél kisebb ívfeszültség mellett szakít meg az ívöltő szerkezet, annál kisebb lesz a benne keletkező ívenergia, ugyanakkor azonban az ív égési ideje valamelyest megnövekszik. Amikor tehát az ívöltő szerkezet termikus igénybevételét vizsgáljuk, nem elegendő az ív égési idejének alakulását önmagában ismerni, mivel esetleg téves következtetésekre jutunk.

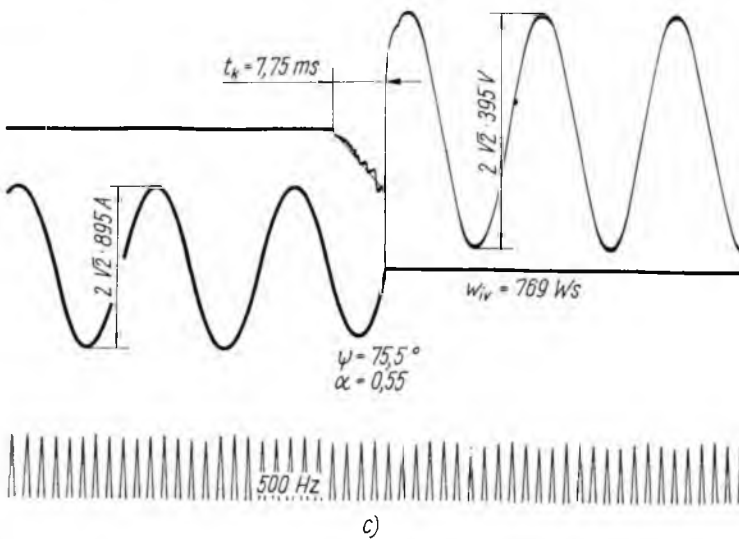
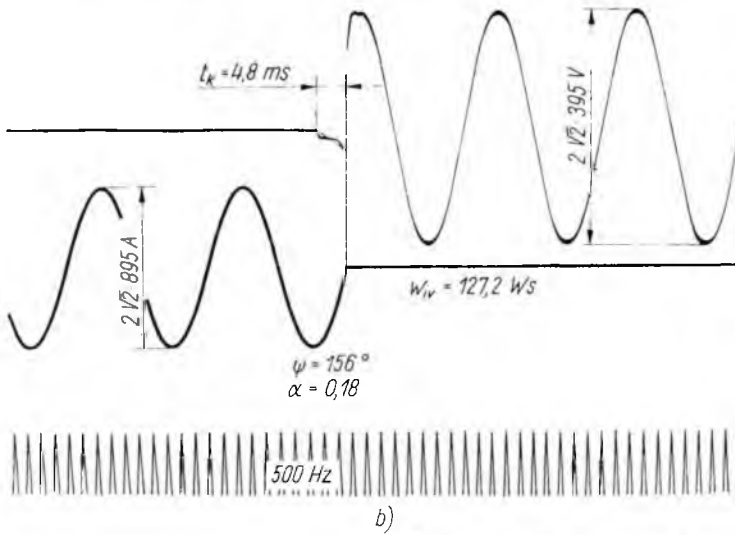
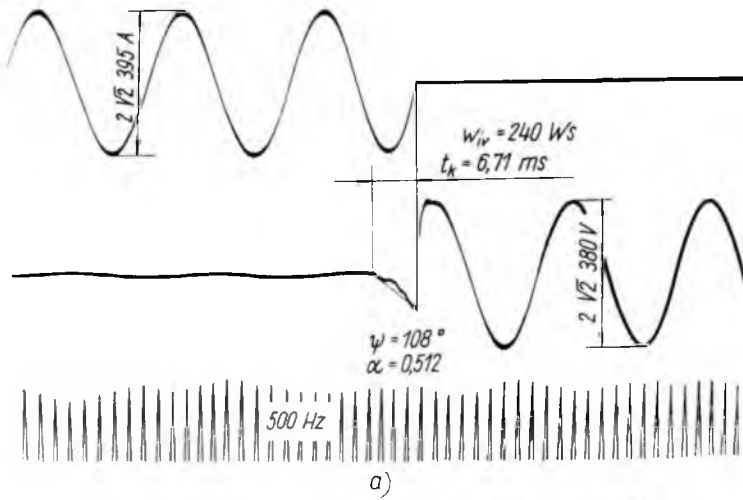
A 27-5. ábrán példaként három oszcillogram-felvételt mutatunk be, amelyeket egy Siemens K 915 típusú, 200 A névleges áramerősségű kontaktor egyik fázisában elvégzett áram-megszakítások során készítettünk. A mérésekhez szabványos,  $\cos \varphi = 0,35$  fázistényezőjű áramkört alkalmaztunk. Az oszcillogramokon feltüntettük mindazokat a hálózati és megszakítási jellemzőket, amelyek a kialvási idő és az ívenergia meghatározásához szükségesek. A készülék ívöltő szerkezete a 27-1b ábrán bemutatott elrendezéshez hasonló módon van felépítve, és mint korábban mondtuk, ilyenkor az ívfeszültség közel lineárisan növekszik. Ez a jelleg a bemutatott oszcillogramokon is jól látható. A 27-5. ábra oszcillogramjain feltüntettük a mért ívöltési idők és ívenergiák értékeit is, az utóbbiakat grafikus integrálással határoztuk meg.

Ezután az ismertetett módszerrel számítással is meghatároztuk az ívöltési idők és ívenergiák nagyságát a 27-3. és 27-4. ábra diagramjai, valamint a (8) egyenlet felhasználásával. A számított és mért értékeket a 27-1. táblázatban tüntettük fel. Az adatok összehasonlításából kitűnik, hogy a vizsgált esetekben az ívöltési idők számításának pontossága 5%-on belül, míg az ívenergiák számításának pontossága 20%-on belül van. Tehát lineáris ívfeszültség-növekedés feltételezése mellett a mondott esetekben a gyakorlati méretezési munka számára kielégítő pontosságú számításokat végezhetünk a deionlemez ívöltő szerkezetek termikus igénybevételének meghatározása céljából.

27-1. táblázat

Mért és számított ívöltési idők és ívenergiák összehasonlítása

Ábraszám	$t_{km}$ , ms		$\frac{t_{ksz} - t_{km}}{t_{km}} \cdot 100$ %	$W_{iv}$ , $W_s$		$\frac{W_{ivsz} - W_{ivm}}{W_{ivm}} \cdot 100$ %
	számított	mért		számított	mért	
27-5a	6,38	6,71	-4,91	284	240	+18,3
27-5b	4,8	4,8	$\pm 0,00$	147	127	+15,7
27-5c	7,8	7,75	+0,65	817	769	+6,25



27-5. ábra.  
 Siemens K 915  
 típusú, 200 A  
 névleges  
 áramerősségű  
 kontaktor egyik  
 fázisában  
 készített  
 kikapcsolási  
 oszcillogram-  
 felvételek

## 5. Néhány megjegyzés az ívenergia-viszonyok alakulásáról

Az ívenergia számításáról eddig elmondottakkal kapcsolatban több jogos kérdés merülhet fel. Itt csak a két legfontosabbal kívánunk röviden foglalkozni.

Az első az ív áram-nullaátmenet utáni újragyulladásának kérdése. Ezzel kapcsolatban korábbi vizsgálataink eredményeiből [4] néhány értékes következtetést vonhatunk le. A lineárishoz hasonló jellegű ívfeszültség-növekedést biztosító deionlemez ívöltő szerkezetek kikapcsolóképesség-vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy az ív újragyulladása valóban elkerülhető a deionlemezek számának kellő megválasztásával. Itt arról van szó, hogy az elektródköz visszatérő villamos szilárdságának növekedési sebessége felülmúlja a visszaszökő feszültség növekedési sebességét. A gyakorlat azonban azt mutatja, hogy az ilyen értelemben helyesen méretezett ívöltő szerkezetekben sok esetben csak a második áram-nullaátmenet után alszik ki az ív. E jelenség szoros összefüggésben van a kikapcsolás kezdetekor uralkodó feszültség-fázishelyzettel. Számos mérési eredmény arra utal, hogy nagy valószínűséggel újragyulladás következik be, ha a feszültség kezdeti fázisszöge  $0^\circ$  és  $60^\circ$  között van. E jelenség azzal magyarázható, hogy ilyenkor az áram első nullaátmenetéig rendelkezésre álló idő (esetünkben l. a 27-3. ábrát) még túlságosan rövid ahhoz, hogy a határos deionozáshoz elegendő soros részív alakuljon ki, tehát a visszatérő villamos szilárdság növekedési sebessége még nem éri el az újragyulladás elkerüléséhez szükséges nagyságot. A mondottakat jól alátámasztják a háromfázisú kikapcsolóképesség-vizsgálatokból kapott eredmények, amelyekből kitűnik, hogy csaknem minden esetben legalább az egyik fázisban újragyulladás következik be. Ugyanis nagy a valószínűsége annak, hogy  $\psi$  értéke legalább az egyik fázisban az említett határok között legyen.

Az ilyen módon bekövetkező ívenergia-növekedés azonban — lineáris ívfeszültség-növekedést feltételezve —, nem túlságosan nagy. Ezt a 27-4. ábrából közvetlenül beláthatjuk, ha figyelembe vesszük, hogy az ívfeszültség ilyenkor az első áram-nullaátmenetig még nem tud túlságosan megnövekedni, és  $\alpha$  értéke általában nem haladja meg a 0,2-t. Az ehhez az intervallumhoz tartozó  $\kappa$  érték pedig csak néhány százaléka  $\kappa$  maximális értékének.

A másik kérdés, amelyre röviden utalni kívánunk, az ún. közbenső áramok megszakításának kérdése. A kapcsolókészülékeknek ui. nemcsak a névleges áramnál és a kikapcsolóképesség-vizsgálatban előírt áramnál, hanem ez utóbbi felső határ alatti bármilyen áramértéknél is helyesen kell működniök. Az ívenergia nagysága szempontjából ez a közbenső áramtartomány akkor lehet kritikus, ha az ív nem alszik ki az áram első nullaátmenete után, és egy vagy több újragyulladás következik be. Ez esetleg nagyobb ívenergia-igénybevételt jelent az oltókamra számára, mint ami a kikapcsolóképesség-vizsgálati áramnál lép fel. Az ívöltő szerkezet méretezésekor ezért ügyelni kell arra, hogy a közbenső áramok kapcsolásakor se léphessen fel nagyobb ívenergia-igénybevétel, mint ami a kikapcsolóképesség-vizsgálati áramnál keletkezik. Bár kétségtelen, hogy erre vonatkozóan az egyébként igen részletes szabványelőírások nem intézkednek, a kontaktorok gyakorlati használhatósága szempontjából szükséges, hogy a készülékek e közbenső áramokat is kifogástalanul meg tudják szakítani. A készülék tervezésekor ezt a szempontot úgy vehetjük figyelembe, hogy konstrukciós intézkedésekkel megakadályozzuk az ívenergia meg nem engedett növekedését a közbenső áramokra nézve. Ha ismerjük azt a legnagyobb ívenergiát, amely mellett az ívöltő szerkezet adott áramköri viszonyok között még helyesen működik, akkor a közbenső áramokra nézve előre meghatározhatjuk, hogy legfel-

jebb hány újragyulladás engedhető meg a szerkezet tönkremenetele nélkül. Ez kiinduló pontot ad a deionlemezek olyan elrendezésére, amely biztosítja az ívöltő szerkezet teljes áramtartományban való helyes működését.

## 6. Összefoglalás

A deionlemezek mértékadó termikus igénybevételét a kikapcsolóképesség-vizsgálatban előírt áram-megszakításakor fellépő ívenergia határozza meg. Az ívöltő szerkezet helyes konstrukciós kialakításával törekedni kell arra, hogy ezt az ívenergia-nagyságot a közbenső áramok megszakításánál se lépjük túl.

Mérési tapasztalataink szerint vannak olyan deionlemezes ívöltő kamrák, amelyekben az áram megszakítása folyamán az ívfeszültség az időben közel lineárisan növekedik. A cikk ilyen esetre ismertet mérésekkel is alátámasztott ívenergia-számítási módszert, amelynek alkalmazásával adott esetben lehetőség nyílik a deionlemezek maximális ívenergia-igénybevételének meghatározására.

## Irodalom

- [1] Low-voltage contactors. IEC Publ. 158-1.
- [2] Kapcsolókészülékek MSZ 4835 T (68. II.)
- [3] Kisfeszültségű kontaktorok, KGSZ 420 063.
- [4] Ívöltő szerkezetek. Zárójelentés (témafelelős: Polgár Tibor) VKI Budapest, 1967.
- [5] *Berndt, H.*: Über die Löschung des Wechselstromlichtbogens bei kleinen Trenngeschwindigkeiten der Kontaktstücke. *Elektrie*, H 4 (1961) p. 124—128.
- [6] *Babikov, M. A.*: Villamos készülékek. Nehézipari Könyvkiadó, Bp. 1953.
- [7] *Molnár F.*: Ívöltés kisfeszültségű, váltakozóáramú kapcsolókészülékekben. *Elektrotechnika*, 54. évf. 3. (1961) p. 128—143.
- [8] *Polgár T.*: Vas deionlemezek váltakozóáramú villamos ívre gyakorolt erőhatásának vizsgálata VKI Közlemények 2, Bp. 1968.



## Érintkezők visszapattanása

*BÓDAY OTTÓ*

### ÖSSZEFOGLALÁS

Az érintkezők bekapcsolásakor fellépő visszapattanás vizsgálata, különösen két vagy több érintkezősi helyvel rendelkező érintkezőrendszerek esetében nagyon bonyolult és szerteágazó feladat. A visszapattanásoknál  $10^{-1} \dots 10^{-2}$  mm nagyságrendű elmozdulások és  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  s nagyságrendű időértékek fordulnak elő. Ezen igen kis mennyiségek mérésének méréstechnikai nehézségei és hibái miatt az egyes mérési módszerek eredményei és a visszapattanásmentességi kritériumok között nagy eltérések mutatkoznak. Az érintkezők bekapcsolásánál lejátszódó tranziens mechanikai jelenségek egyikét, a visszapattanást, illetve az azt befolyásoló tényezőket egyszerűsített mechanikai modellen (egy vagy több szabadságfokú lengőrendszeren) vagy valóságos érintkezőrendszereken lehet tanulmányozni.

A modellvizsgálatokkal az alapvető fizikai és mechanikai kérdéseket lehet meghatározni. A valóságos érintkezők vizsgálata hosszadalmas kísérleti munkát és nagyszámú mérést igényel, a mérési eredmények nagy szórással adódnak, de a gyakorlati konstrukciós munkához jobban felhasználható eredményeket adnak, mint a modellmérések eredményei. A valóságos érintkezőrendszerek vizsgálatánál az egyes, a visszapattanást előre láthatóan befolyásoló tényezőket külön-külön kell vizsgálat tárgyává tenni, majd a legkedvezőbb paraméterekkel megvalósított érintkezőrendszerekkel ellenőrző méréseket kell végezni. A két érintkezősi helyvel rendelkező érintkezőrendszerek visszapattanását befolyásoló legfontosabb tényezők: ütközési sebesség, a kontaktusrugó kezdeti nyomása és merevedéke, az ütköző tömegek nagysága, a mozgó és állóérintkező méretei, az érintkezőkön átfolyó áram dinamikus és termikus hatása.

### ВИБРАЦИЯ КОНТАКТОВ

*О. Бодау*

#### Резюме

Испытание явления вибрации контактов при включении, особенно в случае контактных систем с двумя или несколькими контактными точками, является исключительно сложной и разносторонней задачей. При вибрации следует считать с перемещением порядка  $10^{-1} \dots 10^{-2}$  мм и временными значениями порядка  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  сек. В результате трудности и погрешности техники измерения этих малых величин между результатами различных методов измерения и критериями безвибрационного переключения контактов наблюдаются большие расхождения. Имеется возможность изучения транзитного механического явления, наблюдаемого при включении контактов, явления вибрации и, соответственно, факторов, оказывающих влияние на данное явление, на упрощенной механической модели (маятниковая система с одной или несколькими степенями свободы) или же на действующих контактных системах.

Путем проведения испытания на моделях имеется возможность разрешения основных физических и механических проблем. Проведение испытаний на действующих контактных системах требует длительных экспериментов и большого количества измерений, причем результаты измерений имеют большой разброс, но с точки зрения практической конструкторской работы дают лучшие результаты, чем измерения на моделях. При проведении испытаний действующи-

щих контактных систем факторы, могущие повлиять на вибрацию контактов, следует рассматривать по отдельности, а затем проводить контрольные измерения контактных систем, имеющих наиболее благоприятные параметры. Основные факторы, оказывающие влияние на вибрацию контактов систем с двумя контактными точками: скорость соприкосновения, начальное давление и крутизна контактной пружины, величина соприкасающейся массы, размеры неподвижного и подвижного частей контакта, динамическое и термическое влияние тока, протекающего через контакт.

## PRELLUNG DER KONTAKTE

*O. Bóday*

### Zusammenfassung

Die Untersuchung der bei dem Einschalten von Kontakten auftretenden Prellungserscheinungen ist besonders bei Kontaktsystemen mit zwei oder mehreren Kontaktstellen eine ausserordentlich komplizierte und sich weit verzweigende Aufgabe. Bei den Prellungen kommen Bewegungen der Grössenordnungen von  $10^{-1}$ ... $10^{-2}$  mm und Zeitwerte von  $10^{-3}$ ... $10^{-4}$  sec vor. Infolge der messtechnischen Schwierigkeiten und Fehler bei der Messung von derartig geringen Grössen zeigen sich zwischen den Ergebnissen der einzelnen Messmethoden und den Kriterien der Prellungsfreiheit grosse Abweichungen. Eine der beim Einschalten sich abspielenden transienten mechanischen Erscheinungen, die Prellung, bzw. die diese beeinflussenden Faktoren können an einem vereinfachten mechanischen Modell (einem Schwinger mit einem oder mehreren Freiheitsgraden) oder an tatsächlichen Kontaktsystemen untersucht werden.

Durch Modellprüfungen bzw. Untersuchungen können die grundlegenden physikalischen und mechanischen Fragen bestimmt werden. Die Untersuchung der tatsächlichen (realen) Kontakte erfordert eine langwierige experimentelle Arbeit und zahlreiche Messungen. Die Messergebnisse sind zwar mit grossen Streuungswerten behaftet, liefern jedoch besser verwendbare Ergebnisse für die praktische Konstruktionsarbeit als die Ergebnisse der Modellmessungen. Bei der Untersuchung der tatsächlichen (realen) Kontaktsysteme sind die einzelnen, die Prellung voraussichtlich beeinflussenden, Faktoren einzeln, getrennt der Prüfung zu unterziehen. Dann sind mit den Kontaktsystemen Kontrollmessungen vorzunehmen, die den günstigsten Parameter verwirklichen. Die wichtigsten Faktoren, die die Prellung bei Kontaktsystemen mit zwei Kontaktstellen beeinflussen sind die Prellungsgeschwindigkeit, der Anfangsdruck und die Steilheit der Kontaktfeder, die Grösse der aneinander prellenden Massen, die Masse der beweglichen und der festen Kontakte sowie die dynamische und die thermische Wirkung des über die Kontakte fliessenden Stromes.

## THE BOUNCE OF THE CONTACTS

*O. Bóday*

### Summary

The examination of the bounce occurring when the contacts make the circuit is a highly involved and far-flung task, particularly in the case of contact systems having two or more contacting places. Displacements in the magnitudes of  $10^{-1}$  to  $10^{-2}$  mm and time values magnitudes of  $10^{-3}$  to  $10^{-4}$  sec occur by the bounces. The technical difficulties and the errors of the measurement of such very small quantities result in considerable deviations between the results of certain measuring methods and the criteria of freeness of bounce. One of the mechanical transient phenomena appearing on the making of the contacts, the bounce, resp. the factors affecting the bounce can be studied in a simplified mechanical model (an oscillating system of one or more degrees of freedom) or in real contact systems.

Fundamental physical and mechanical facts can be defined by the model examinations. The study of real contacts calls for lengthy experimental work and a considerable number of measurements; the measuring results thus obtained are subject

to considerable scatter but these results can be used more advantageously in practical designing work than the data obtained in model measurement. When real contact systems are examined, the factors which presumably may influence the bounce are to be studied individually and subsequently, check measurements should be carried out on the contact systems realized with the most advantageous parameters. The main factors influencing the bounce of contact systems having two contact places are as follows: velocity of impact, initial pressure and spring constant of the contact spring, magnitude of the colliding masses, sizes of the moving and fixed contacts, dynamic and thermal effects of the current flowing through the contacts.

## 1. Bevezetés

Váltakozóáramú induktív körök bekapcsolásakor az állandósult áram kétszerese, aszinkron motoroknál a névleges áram 8...10-szerese alakulhat ki kedvezőtlen körülmények között. A bekapcsolást végrehajtó berendezés — mágneskapcsoló — érintkezőit, amelyek a készülék névleges áramának állandó, üzemszerű vezetésére vannak méretezve, a tranziens áram lecsengésének időpontjáig a névlegesnél nagyobb terhelés veszi igénybe. Aszinkron gépek indításakor a mágneskapcsoló érintkezőinek igénybevételét a rajtuk átfolyó indítási áram értéke határozza meg. A hazai gyártmányú KGST—IEC motorsorozat bekapcsolási áramlökésének értékei:  $4 < I_1/I_n < 10$ . A motorkapcsolók legnagyobb igénybevétele a forgó motor átkapcsolásakor adódik [10].

A kapcsolókészülékekben bekapcsoláskor a nagy sebességgel ütköző érintkezők sorozatosan hosszabb-rövidebb időre elválnak egymástól, amíg az állandósult érintkezés létre nem jön. Ennek a tranziens mechanikai folyamatnak a mágneskapcsoló üzeme szempontjából kétféle következménye lehet. Az elválási időkből az érintkezők között ív keletkezik, ami az érintkezők anyagának fokozott hőigénybevételét jelenti és többlet-anyagfogyást okoz. A szétválások okozta ív és az áram-sűrűség egyenetlen eloszlása miatt az érintkezőanyag képlékennyé válik vagy megolvad, ami az érintkezők tapadásához, peremhegedéshez vagy nagyszilárdságú hegedéshez vezet.

A bekapcsoláskor lejátszódó mechanikai tranziens folyamatnak két különböző jellegű mozgásformája különböztethető meg:

- a) az első érintkezés után az érintkezők többször egymás után, hosszabb-rövidebb időre elválnak egymástól;
- b) az első érintkezés után az érintkezők nem válnak el egymástól, de az állandósult érintkezőnyomás kialakulásáig az érintkezőket összeszorító erő periódikusan vagy aperiódikusan változik.

Jelen cikk alapját képező mérési sorozatoknál, szabványos definíció hiányában, a mozgó alkatrészek (érintkezők) visszapattanásán azt a periódikus vagy aperiódikus mozgást értettük, amelyek során a bekapcsolási tranziens folyamat ideje alatt az ütköző alkatrészek egymástól elválnak.

## 2. Az érintkezők visszapattanásának jellege

Mágneskapcsolóknál a legelterjedtebb érintkezőrendszer a két vagy több érintkezési (megszakítási) hellyel rendelkező megoldás. Az ilyen érintkezőrendszerek mechanikailag többszabadságfokú lengőrendszernek tekinthetők. Már a két érintkezési hellyel rendelkező érintkezők ütközésekor is három fő visszapattanási jelleget, vagy ezekből összetevődő visszapattanási formákat különböztethetünk meg.

a) Az érintkezőhídnak az érintkezési helyeket összekötő egyenessel párhuzamos visszapattanása. Ha az egyes érintkezési helyek azonos időpontban ütköznek és az érintkező anyagok saját és kölcsönös rugóállandója azonos, valamint ha a mozgó érintkezőhíd szimmetrikus, akkor alakulhat ki párhuzamos visszapattanás.

b) A mozgó érintkezőhíd geometriai hossz tengelyére merőleges tengely körül elfordulva, „hintázva” pattan vissza. Ez a visszapattanási jelleg akkor alakul ki, ha a két érintkezési hely nem azonos időpontban ütközik, vagy ha a rendszer nagyon aszimmetrikus.

c) A mozgó érintkezőhíd a geometriai hossz tengelye körül elfordulva, „billegve” pattan vissza. Ez a visszapattanási jelleg akkor alakul ki, ha az érintkezés nem a hossz tengely mentén jön létre.

Az a) és c), valamint a b) és c) pontok alatt leírt visszapattanási jelleg a gyakorlati esetek többségében együttesen fordul elő. Az ilyen összetett mozgások matematikai analízise nagyon bonyolult feladat, általában csak többváltozós parciális differenciálegyenletek megoldásával lehetséges. A hosszadalmas munkát igénylő matematikai elemzés, a visszapattanást befolyásoló tényezők nagy száma és különböző értékei, és a feltétlenül szükséges elhanyagolások miatt a gyakorlat számára alig használható eredményeket ad.

Fejlesztési feladatok megoldásánál célravezetőbb kísérleti úton meghatározni adott nagyságrendű mágneskapcsoló érintkezőrendszerének visszapattanását befolyásoló tényezőket és azok megszüntetésének lehetőségeit. A vizsgálatokhoz használt modell vagy egyszerűsített érintkezőrendszer megválasztásakor figyelembe kell venni a várható visszapattanási jellegét.

### 3. Mérési módszerek

A 100 és 160 A névleges áramerősségű mágneskapcsolók érintkezői visszapattanáskor  $10^{-1} \dots 10^{-2}$  mm-re távolodnak el egymástól. Az érintkezők teljes visszapattanási ideje, az első érintkezés pillanatától az állandósult érintkezésig eltelt idő,  $10^{-3}$  s, egy-egy visszapattanás ideje pedig  $10^{-4}$  s nagyságrendű. A visszapattanások frekvenciája 5...10 kHz tartományba esik. A villamosan terhelt érintkezőknél (380 V, AC<sub>3</sub>) a kapocsfeszültség és a visszapattanáskor létrejövő ív feszültsége között nagyságrendi különbség van [5]. Az ellentétes követelményeket támasztó paraméterek pontos mérése nehéz feladatot jelent a mérés technikusok számára.

Az érintkezők visszapattanását négy különböző elven felépíthető mérőberendezéssel lehet regisztrálni:

a) foto-elektromos mérőberendezéssel (a berendezés fényjelet villamos jellel alakít át), az érintkezők visszapattanás alatti mozgását, ill. elmozdulását lehet regisztrálni.

b) Oszcillográffal vagy oszcilloszkóppal (a berendezés villamos jelet fényjellel alakít át) végzett mérések az érintkezők visszapattanásának időviszonyairól adnak felvilágosítást.

c) Elektronikus számlálóberendezéssel csak a bekapcsoláskor keletkező visszapattanások számát lehet meghatározni.

d) Gyorsfilm-felvételek esetében mind az elmozdulás, mind az időértékek kiértékelhetők, és meghatározható a visszapattanások száma is.

A nemzetközi szinten végzett kiterjedt kutatási munka és a nagyszámú mérési adat ellenére sem alakult ki egységes álláspont a visszapattanás mértékének jellemzésére. A témával foglalkozó irodalmi termékek szerzői a „nagyon prellező”, „ke-

vésbé prellező”, „prell-szegény bekapcsolás” kifejezéseket használják, ami lehetlenné teszi az egyes készülékek összehasonlítását, ill. teljesen szubjektív alapra helyezi a mágneskapcsolók visszapattanás szempontjából való megítélését. A visszapattanás egységes, nemzetközileg elfogadott meghatározásának hiánya miatt a nemzetközi és nemzeti szabványok vagy nem tartalmaznak előírásokat a jelenség mérésére (pl. VDE 0660), vagy csak a „prell idő”, ill. „prell nyitási idő” meghatározására szorítkoznak (pl. TGL 19 471 Blatt. 1 S8).

Műszaki, mérés technikai és gazdasági megfontolások alapján a fejlesztés-kutatói munkák mérésénél, így jelen munkában is, a legcélravezetőbb az érintkezők időviszonyait vizsgálni és a bekapcsoláskor létrejövő visszapattanások számát meghatározni. A fenti szempontokat figyelembe véve a visszapattanások vizsgálatához az oszcillografikus regisztrálási módszert alkalmaztuk. A mérések végrehajtásakor, ennél az egyszerű módszernél is, számos egymással ellentétes hatású követelményt kellett kielégíteni úgy, hogy a kapott eredmény a legtöbb adatot szolgáltatssa.

Az oszcillografikus mérésekkel az érintkezők érintkezésének és elválásának a tényét, ill. időtartamát határozzuk meg. A mérhető visszapattanási frekvenciatartomány felső határát az oszcillográf-hurok sajátfrekvenciája határozza meg. A hurok frekvenciaérzékenysége viszont fordítottan arányos a hurok fényerejével (tükörméretével). A  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  s nagyságrendű időtartamok pontos kiértékeléséhez nagy regisztrálópapír-sebességre kell törekedni. A papír sebességét felvételkor a hurok kis fényereje miatt az alkalmazott papír fényérzékenysége limitálja.

#### 4. Visszapattanás-mentességi kritériumok

Különböző szerzők szerint a visszapattanás-mentességhez szükséges érintkező-rászorító erő, ill. a kritikus zárási sebesség a következőképpen számítható:

$$\text{Kesserling [3]:} \quad F \cong 45 r^{0,2} \left( \frac{mv^2}{2} \right)^{0,6},$$

$$\text{Medek B [9]:} \quad v_{\text{krit}} \approx \frac{F}{r} \sqrt{\frac{1}{cm}},$$

$$\text{Egyetemi Zárójelentés [4]:} \quad F \cong 2,78v_0.$$

Mindhárom kritérium egyérintkezőhelyes, pont-(gömb—sík) érintkezési módra vonatkozik. Minőségi szempontból a fenti egyenletek hasonlóak. A visszapattanás elkerüléséhez szükséges rászorítóerő mindhárom egyenletben az egyes paraméterektől hasonlóan függ. Kvantitatív vizsgálat esetén, azonos kiindulási adatok mellett a fenti összefüggésekből nagyságrendben különböző rászorítóerők számíthatók. Példaképpen kiszámítottuk egy  $r = 25$  mm sugárral legömbölyített,  $m = 5,1 \cdot 10^{-4}$  kp s<sup>2</sup>/m tömegű, vörösréz-ből készült mozgóérintkező és egy síkfelületű vörösréz állóérintkező visszapattanás-mentes bekapcsolásához szükséges rászorítóerőt,  $v_0 = 0,22$  m/s ütközési sebesség esetén. A számításokban az ütköző alkatrészek közös rugóállandóját  $c = 13,8 \cdot 10^4$  kp/m értékkel vettük figyelembe. Az egyenletek felsorolási sorrendjében a kapott eredmények:

$$F \cong 0,0244 \text{ kp,}$$

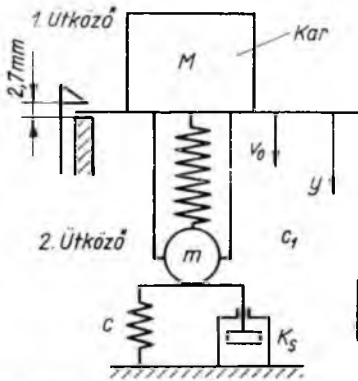
$$F \cong 0,3330 \text{ kp,}$$

$$F \cong 0,6100 \text{ kp.}$$

A BME Nagyszültségű Technika és Készülékek Tanszéke zárójelentésében számításának eredményeit mérésekkel is igazolta. Az eltérő eredmények alapján megállapítható, hogy ha nem ismeretes a használni kívánt egyenlet levezetésénél tett összes elhanyagolás, ill. az értékelte mérések körülményei, akkor a visszapattnás-mentességre kapott kritériumok csak kellő kritikával alkalmazhatók, az eredmények pedig tájékoztató jellegűnek tekintendők.

### 5. A mechanikai modellen, ill. a valóságos érintkezőrendszereken végzett vizsgálatok összehasonlítása

Bonyolult mechanikai elrendezések esetén, ill. összetett mozgásoknál lejátszóó jelenségek vizsgálatakor az alapvető fizikai és mechanikai összefüggéseket modell-méréssel lehet meghatározni. Az ilyen modellek tervezésekor és felhasználása során számos elhanyagolást kell tenni, hogy a lehetséges és a valóságban előforduló zavaró tényezőket kiküszöböljük. A visszapattnás tanulmányozására a valóságot egyszerűségében legjobban megközelítő mechanikai modell vázlatát a 28-1. ábra mutatja. A mozgóérintkezőt az  $m$  tömegű golyó, az álló- és mozgóérintkező ütközésekor keletkező deformáció „rugóállandóját” a  $c$  rugó, a sebességgel arányos csillapítást a  $K_s$  csillapítótag helyettesíti. A mozgóérintkező rugójának rugóállandója:  $c_1$ . Az ütköző golyó mozgására felírható differenciálegyenlet eredményeként a visszapattnás-mentesség kritériumára a



28-1. ábra

$$\frac{v_0}{F} < \frac{\beta}{c} \sqrt{\frac{K_s}{e^m} tm} - 1$$

és

$$t_m = \frac{\arctg \frac{F}{v_0} \frac{\beta}{c} + \frac{3}{2} \pi}{\beta}$$

egyenleteket kapjuk, ahol  $\beta$  a visszapattnási rezgés sajátfrekvenciája:

$$\beta = \sqrt{\frac{c}{m} - \left(\frac{K_s}{2m}\right)^2}$$

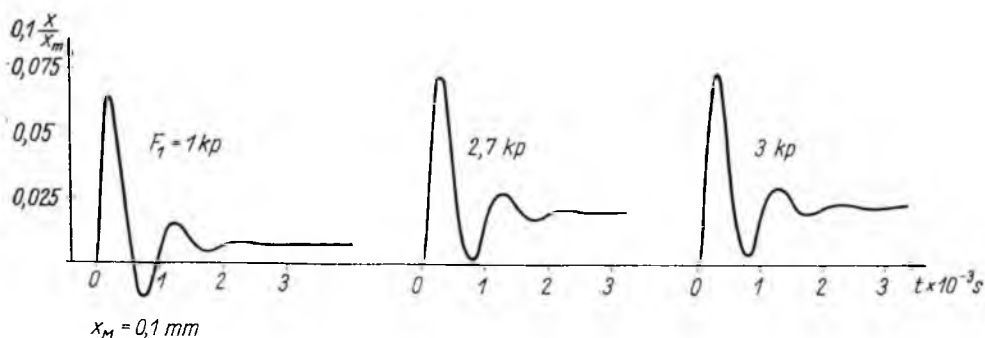
Mérési sorozatokból  $c$ ,  $\beta$  és  $K_s$  értékei közvetett úton kiértékelhetők. A fenti egyenletek alapján és a mérési sorozatokból kiértékelhető adatok segítségével különböző anyagok, érintkezőméretek és érintkezési módokhoz meghatározhatók a visszapattnásmentesség feltételei.

A differenciálegyenlet analóg számítógéppel is megoldható. A számítógép által szolgáltatott megoldás a 28-2. ábrán látható. A megoldás a következő kiindulási adatokra vonatkozik:

Anyag: Ag 1000

$v_0 = 0,566$  m/s

$c = 124,72$  kp/mm



28-2. ábra

$$K_s = 11,44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kp s}}{\text{mm}}$$

$$r = 25 \text{ mm}$$

$$m = 3,01 \cdot 10^{-6} \frac{\text{kp s}^2}{\text{mm}}$$

$$c_1 = 0,00117 \frac{\text{kp}}{\text{mm}}$$

Érintkezési mód: gömb—sík (pontérintkezés).

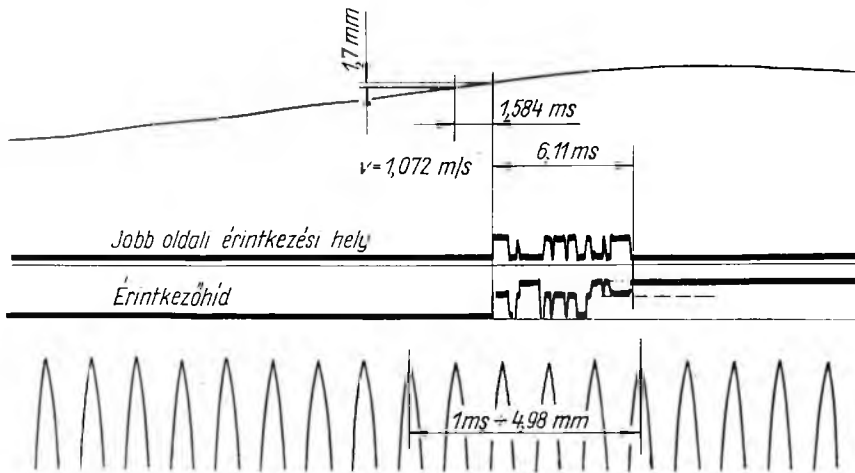
Az ábrán látható görbék a mozgóérintkező mozgását mutatják az idő függvényében. Az időtengely feletti görbeszakaszok a mozgóérintkező elmozdulását jelzik az állóérintkező anyagában ütközés után, az időtengely alatti görbeszakaszok a mozgóérintkező „repülését” mutatják. A bal oldali diagram egy visszapattanásos esetet, a középső a visszapattanás-mentesség határát, a jobb oldali pedig egy visszapattanás-mentes bekapcsolást mutat.

A leírt egyszerű modell segítségével a visszapattanás vizsgálatához szükséges anyagállandók meghatározhatók. Megállapítható és összehasonlítható a különböző méretű, anyagú és érintkezési módú ütköző testek visszapattanási hajlama is. Ezek az adatok fenntartás nélkül csak az egyérintkezőhelyes, az állóérintkező síkjára merőlegesen visszapattanó mozgóérintkező visszapattanására érvényesek.

Két érintkezőhelyes érintkezőrendszerek modellezése nagyon bonyolult feladat. Ennél a megoldásnál célszerűbb — a fenti modell-méréseket kritikával figyelembe véve — valóságos érintkezőkön végrehajtani a méréseket.

A 28-3. ábra mutatja a 3. pontban kiválasztott mérési módszerrel (oszcillográf-fal) felvett visszapattanási képet. Ezen a felvételen az érintkezők elmozdulásán (I. görbe) kívül a jobban visszapattanó jobb oldali érintkezési hely és az érintkezőhíd teljes visszapattanási képét regisztráltuk. Jól látható az érintkező „hintázó” visszapattanása. Az érintkezőhíd visszapattanási képén kisebb amplitúdóval (szaggatott vonal) jelentkezik a jobb oldali érintkezési hely visszapattanása (azonos a felső görbével), míg a szaggatott vonal és az érintkezők zárt állapotát jelző eredményvonal között a kevésbé visszapattanó bal oldali érintkezési hely visszapattanási

képe látható. A felvételen kiértékelhetők azok az időtartamok, amikor mindkét érintkezési hely érintkezett a hozzátartozó állóérintkezővel, ill. amikor egyik vagy másik, vagy mindkét érintkezési hely eltávolodott az állóérintkezőtől. Az érintkezők igénybevételének szempontjából közömbös, hogy az áramút megszakadása egy



28-3. ábra

vagy két helyen jött létre. A bemutatott felvétel inkább a jelenség összetettségére és bonyolultságára kívánta felhívni a figyelmet. A sorozatmérések esetén az állóérintkezőkhöz csatlakozó oszcillográf-hurokkal csak az áramút megszakadását regisztráltuk. Ezekből a mérésekből, az ismeretlen befolyásoló tényezők nagy száma és a megfigyelt jellemzők nagy szórása miatt olyan fizikai jellemzők nem értékelhetők ki, mint az egyérintkezőhelyes érintkező modell-mérésénél. Ez a mérési módszer a kétérintkezőhelyes érintkezőrendszerek visszapatannási képéről és a visszapatannást feltételezeten befolyásoló tényezők változtatásának hatásáról általánosítható megfigyelésekre ad alkalmat.

## 6. A mérések kiértékelése. A mért adatok szórása

Mint e cikkben már említettük, a visszapatannás mértékének egyértelmű meghatározására nincs semmiféle kialakult módszer vagy egységes álláspont. *W. Laig-Hörstebroek* [8] a „prellek szummája” meghatározás bevezetésével egy, a visszapatannásra egy bizonyos fokig jellemző mennyiséget határoz meg. Definíciója szerint a „prellek szummája” két érintkezőhelyes érintkezőrendszerek esetében a következő egyenletből számítható :

$$\sum \int_0^T y dt = \frac{2m^2 v_0^3}{3F^2} \frac{\eta^3}{1 - \eta^3},$$

ahol

$y$  az érintkezési helyek távolsága a visszapatannás alatt;

$dt$  az érintkezők elválásának időtartama;



- $m$  a mozgóérintkező-híd tömege;
- $v_0$  az első ütközési sebesség;
- $F$  az érintkezőrugó előfeszített ereje;
- $\eta$  ütközési tényező (annál kisebb, minél nagyobb a deformációs munka);
- $T$  a teljes visszapattanási idő.

A fenti értékelési módszer csak akkor érvényes, ha az  $\int_0^T y dt$  integrál értéke a visszapattanáskor keletkező hőmennyiség értékével arányos, az állóérintkező teljesen merev testnek tekinthető, az érintkezők ütközéskor egymáson nem csúszhatnak el és az összes mozgási energia csak az ütközés által emésztődik fel. Ezek a feltételek a gyakorlatban csak nagyon ritkán teljesülnek.

A különböző mértékben visszapattanó érintkezők visszapattanásának összehasonlításához elvi megfontolások alapján az alábbi „visszapattanási jósági számot” ( $p$ ) vezettük be:

$$p = \frac{1}{5} T(n_1 + 3,25n_2 + 5,6n_3 + 7,75n_4 + 9,45n_5),$$

ahol

- $T$  a teljes visszapattanási idő;
- $n_1 \dots n_5$  az egymásutáni ms-ban jelentkező visszapattanások száma.

A visszapattanások számainak szorzótényezői az AC<sub>3</sub> üzemmódban ( $\cos \varphi = 0,35$ ) kialakuló legkedvezőtlenebb áramalak szerinti súlyozást reprezentálják.

A megfontolásnál az első negyedperiódust ( $t = 5$  ms) vettük figyelembe. A definíció szerint  $p$  az 1 ms alatt létrejövő visszapattanások számának súlyozott értékét adja. A  $p$  „jósági szám” elméleti érték, csak a különböző mértékben visszapattanó érintkezők összehasonlítására és nem minősítésére alkalmas. A közeljövőben kutatási munkánk egyik fő célkitűzése, hogy kísérleti úton is alátámasztott összefüggést találjunk a „jósági szám” és az érintkezőanyag anyagfogyása, ill. hegedési hajlama között.

Nagy előnye a fenti meghatározásnak, hogy képletében olyan tényezők szerepelnek, amelyek az oscillogramokból könnyen, gyorsan és pontosan kiértékelhetők.

A visszapattanási mérések esetén az egyes paraméterek (anyagkeménység, ütközési hely) kismérvű változása a visszapattanásra jellemző adatokban és a visszapattanás jellegében lényeges változást okozhatnak. Emiatt a visszapattanás mérés a „nem megismételhető” mérési sorozatok csoportjába tartozik. Ilyen méréseknél vagy mérési sorozatoknál tapasztalható szórás ismeretlen tényezők hatásának tulajdonítható, és a mérési hibától való megkülönböztetés miatt a mért érték és az alapérték viszonyát (kapcsolatát) eltérésnek nevezzük. Az eltérés nem a mérőberendezésnek, hanem a vizsgált anyagnak vagy jelenségnek a jellemzője. A szabadon változó mennyiségek mérésénél adódó hibák és eltérések értékelésére, ill. becslésére a matematikai statisztika módszerei alkalmasak [11]. Az idézett cikkben alkalmazott Kolmogorov-módszer szerint a mért értékekből az átlagérték csak akkor számítható számtani középértékként, ha az alábbi feltétel teljesül:

$$F(z) - h_n < F_n(z) < F(z) + h_n,$$

ahol

$$F(z) = \frac{1}{2\pi s} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{(x_1 - \bar{x})^2}{2s^2}} dx \quad \text{eloszlási függvény};$$

$h_n$  a mérések számától függő Kolmogorov-határ;

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}} \text{ alapeltérés;}$$

$x_1, x_2, \dots, x_n$  az egyes mérések eredményei;

$n$  a mérések száma;

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \text{ átlagérték.}$$

Az eloszlási függvény vizsgálata során az elfogadható eltéréssel mérhető érték meghatározásához szükséges mérések száma is kiszámítható.

A visszapattanási méréseknél kiértékelendő teljes visszapattanási idő ( $T$ ), ütközési sebesség ( $v_{\text{ütk}}$ ) és „jósági szám” mérési hibájának, ill. eltérésének meghatározásához, azonos körülmények között, 64 mérést végeztünk. Az eloszlási vizsgálatot tetszőlegesen kiválasztott 4, 20, majd mind a 64 mérésre elvégeztük. A normál eloszlás vizsgálatát grafikusán hajtottuk végre ún. Gauss-papíron, amelyet mindhárom kiértékelendő jellemző esetében,  $n=20$  mérési számnál a 28-4. ábra mutat. Az ábrákon a normál eloszlás kritériumának alsó és felső határát a folytonos görbék képezik. A mérési eredményekből adódó  $F_n(z)$  függvényt a lépcsős görbe ábrázolja. Mindhárom mérési sorozat lépcsős függvénye belül esik a mérések számához tartozó határgörbéken. A 4, 20 és 64 mérésre elvégzett számítások eredményeit a 28-5. ábra mutatja a mérések számának függvényében. Az ábrából látható, hogy 20 és 64 mérés esetén a relatív hiba értéke egymástól alig különbözik. Az ezeknél a mérési számoknál jelentkező relatív hibák értékeit szórásnak tekintve, megállapítható az egyes paramétereknél figyelembe veendő szórás, ill. az elkövetett mérési hiba értéke:

Paraméter	Hiba ( $\sigma$ ) %	Szórás ( $h$ ) %
teljes visszapattanási idő ( $T$ )	10	22
ütközési sebesség ( $v_{\text{ütk}}$ )	5	5
„jósági szám” ( $p$ )	20	40

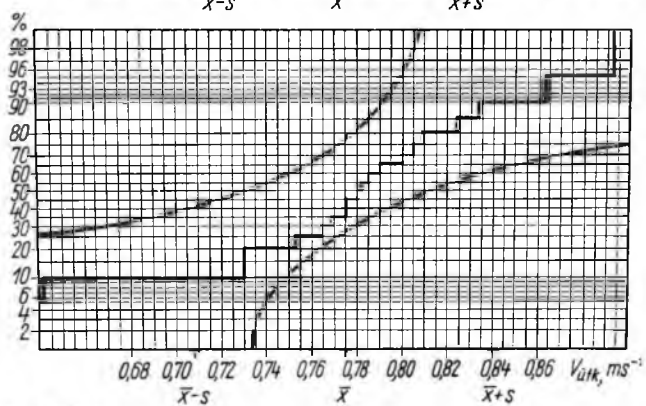
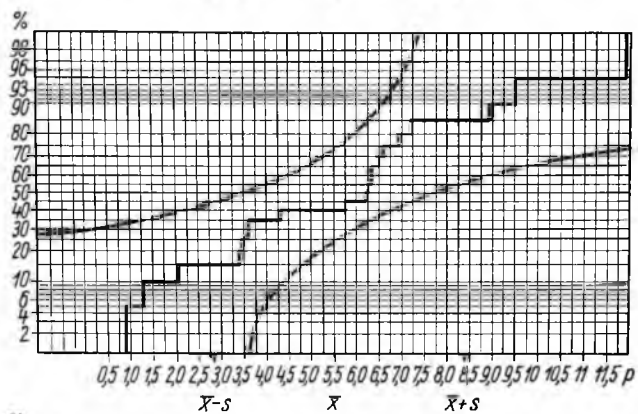
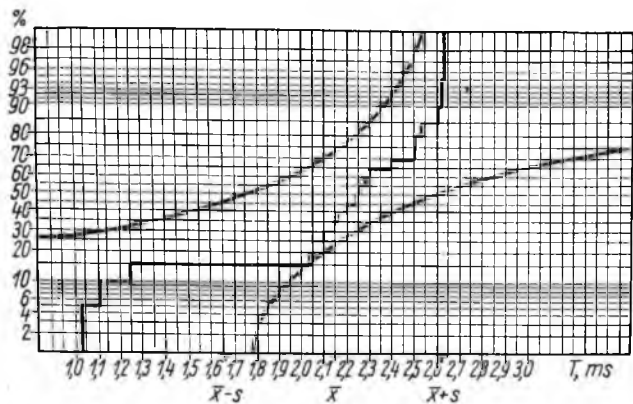
A „jósági szám” értékelésénél azért becsültük viszonylag magasra a mérési hibát, mert az adott definíció szerint  $p$  értékében a  $T$  teljes visszapattanási idő is szerepel, amelyet  $n_T = 10\%$  pontossággal értékeltük ki.

A következőkben ismertetendő méréseknél 6..10 mérés átlagát tekintettük a mérés eredményének, tehát a közölt értékek felhasználásakor a fenti hiba és szórási adatokat figyelembe kell venni!

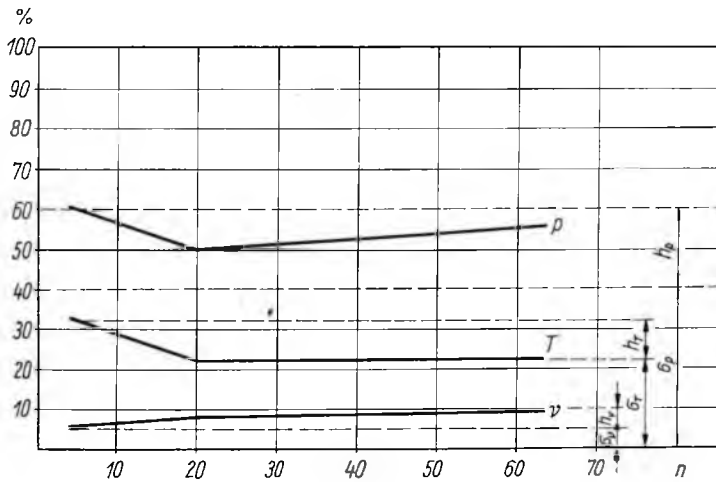
## 7. A visszapattanást befolyásoló, nem villamos jellegű, legfontosabb tényezők

Az ütközési sebesség hatását különböző rugóállandójú és előfeszítettségu érintkező-rugókkal vizsgáltuk. Példaképpen egy mérési sorozat, a  $c = 0,286$  kp/mm rugóállandójú érintkezőrugóval végzett mérési eredményét a 28-6. ábra mutatja.

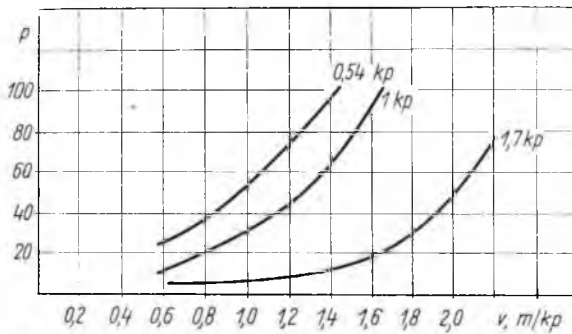
A vizsgálatból megállapítható, hogy az ütközési sebesség növekedésekor a visszapattanás mértéke növekszik: nagyobb lesz a teljes visszapattanási idő és a visszapattanások száma. Az ütközési sebesség az érintkezők visszapattanását kevésbé



28-4. ábra



28-5. ábra



28-6. ábra

befolyásolja nagyobb rászorítóerők esetén (jobban előfeszített érintkezőrugó). A 100 és 160 A-es kontaktorok érintkezőnyomásának tartományában ( $F_e > 1,5 \text{ kp}$ ) ha az ütközési sebesség kisebb, mint  $v = 0,8 \dots 1 \text{ m/s}$ , a visszapattanás mértéke keveset változik.

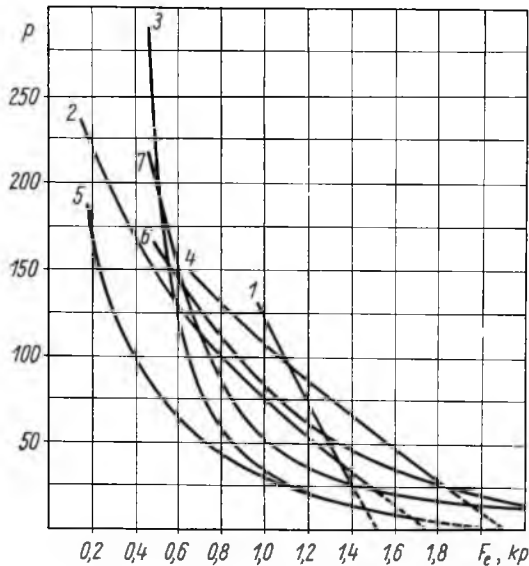
Korszerű mágnescapcsolók érintkezőinek ütközési sebessége a készülék felépítésétől, a kapocsfeszültség nagyságától és a bekapcsolás fázisszögétől függően  $0,7 \dots 1,2 \text{ m/s}$  sebességtartományba esik. Ennél kisebb, a visszapattanás szempontjából kedvezőbb ütközési sebesség értéket csak különleges geometriájú működtetőmágnesekkel, vagy többletelemként beépített fékező szerkezetekkel lehet elérni. A költséges, bonyolult konstrukciós megoldásokat és a meghibásodás szempontjából kedvezőtlen sebességcsökkentő szerkezeti elemeket nem érdemes alkalmazni, mert visszapattanás szempontjából az elért eredmény nem jelentős.

A fenti megfontolások és mérési eredmények alapján  $v < 1 \text{ m/s}$  ütközési sebesség esetén a visszapattanás csökkentésének módját más paraméterek kedvező megválasztásának útján kell keresni.

A 28-7. ábrán a visszapattanás mértékének változása látható az érintkezőrugó előfeszítettségének a függvényében. A diagramban hét különböző meredekségű

rugóval végrehajtott mérési sorozat eredményét ábrázoltuk. A mérési sorozatok közben az érintkezők ütközési sebessége egy kis szélességű szórási sávban helyezkedett el.

A kontaktusrugó előfeszítettségének növekedésével a visszapattanás mértéke csökken. Az ábrán látható jelleggörbék hiperbólikus jellegűek — a görbék „meredekségére” semmiféle törvényszerűséget nem sikerült megállapítani. A mért rugók



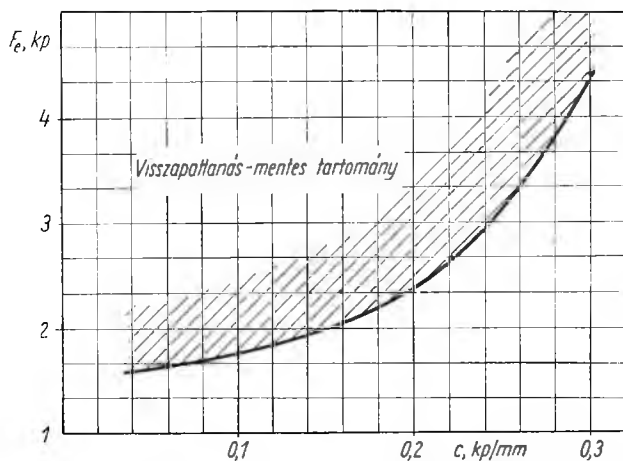
28-7. ábra

- |                     |                     |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1. $C=0,0395$ kp/mm | 2. $C=0,0623$ kp/mm | 3. $C=0,1355$ kp/mm |
| 4. $C=0,1714$ kp/mm | 5. $C=0,2000$ kp/mm | 6. $C=0,2673$ kp/mm |
|                     | 7. $C=0,2880$ kp/mm |                     |

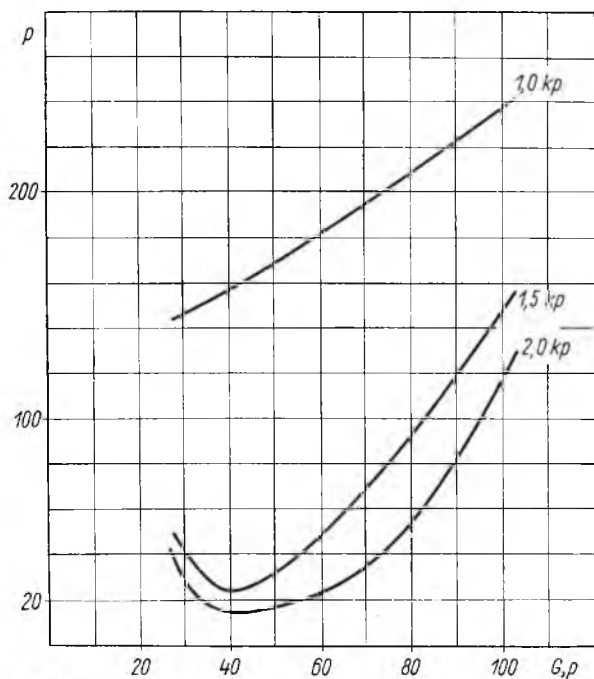
méretei és a vizsgálóberendezés konstrukciós adottságai miatt egyik rugót sem tudtuk annyira előfeszíteni, hogy a visszapattanást teljesen elnyomjuk. Minden mérési sorozatnál a  $p=0$  értékig extrapolálva a görbét, meghatároztuk a visszapattanásmentes bekapcsoláshoz szükséges rászorítóerő értékét. Ezeket a rászorítóerő-értékeket a rugómeredekség függvényében a 28-8. ábra mutatja. Ez a jelleggörbe tervezési segédletként használható adott elrendezés esetén. Ismert rugóállandóhoz a diagramból meghatározható a visszapattanás elkerüléséhez szükséges rászorítóerő, amelyet a mérési eredmények hibája és szórása miatt kb. 20%-kal meg kell növelni.

A 100 és 160 A-es mágneskapcsolók érintkezőrugójának az állandósult üzemi melegedés szempontjából szükséges előfeszítettsége  $F_e=1,0...2,0$  kp. A gyakorlatban kedvező méretekkel könnyen megvalósítható rugóállandók esetén az  $F_e$  rászorítóerőt 30...100%-kal meg kell növelni, hogy meg tudjuk közelíteni vagy meg tudjuk valósítani a visszapattanás-mentességet.

A visszapattanó tömegnek a visszapattanásra gyakorolt hatását vizsgálva megállapítottuk, hogy lényeges különbség van különböző tömegű, egy darabból készült érintkezők és a „rátét lemezzel” növelt tömegű, két darabból készült érintkező visszapattanása között. Az egy darabból készült érintkező visszapattanása az érintkezők tömegének növelésével monoton növekszik. A „rátét lemezzel” növelt tömegű



28-8. ábra



28-9. ábra

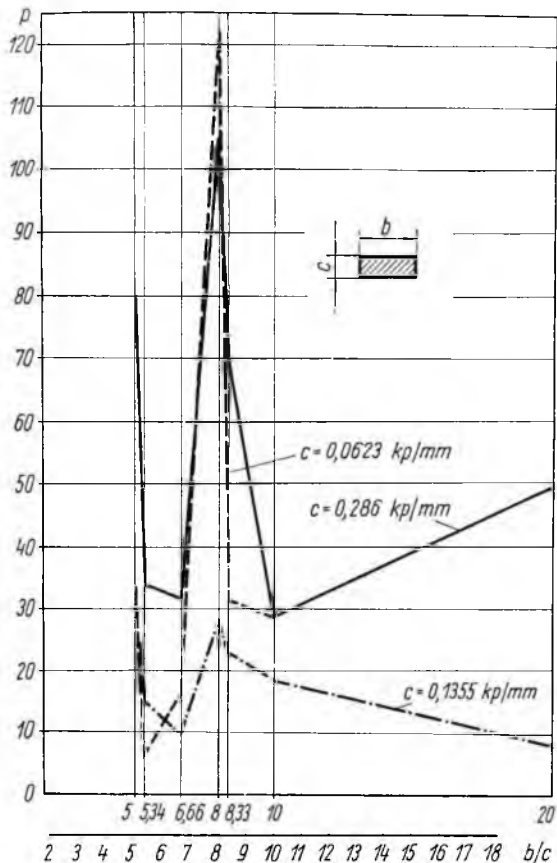
érintkező visszapattanásánál (28-9. ábra) kismérvű tömegnövelés esetén a visszapattanás mértéke csökken, majd egy minimális visszapattanási érték elérése után monoton növekszik. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy ütközéskor az érintkezőhíd és a „rátételemez” egymáson kissé elcsúsznak; az elcsúszáskor keletkező súrlódási munka a visszapattanási energia egy részét felemészti. További tömegnövelés esetén, azonos rászorítóerő esetén, a súrlódási munka lényegesen nem változik,

a visszapattanás változása már csak a tömegnövekedéstől függ. Kis rászorítóerőknél ( $F \leq 1$  kp) a súrlódási munka nem számottevő, a jelleggörbének nincs minimuma.

A visszapattanó tömeg növekedésével érdekesen változik a visszapattanás jellege is. A tömeg növelésekor, kis- és közepes értékeknél a teljes visszapattanási idő ( $T$ ) alig változik, a visszapattanások száma növekszik jelentősen. Nagy ütköző tömegek esetén a teljes visszapattanási idő növekedése jelentős, a visszapattanások száma alig változik; lomhább lesz az érintkezők mozgása visszapattanásokor.

A visszapattanás mértéke és az érintkezők geometriai mérete, ill. méretaránya között egyértelmű törvényszerűséget megállapítani nem lehetett. A mérési eredményekből azonban kitűnik, hogy kedvezőtlen körülmények között a rezonanciához hasonló jelenséggel kell számolni. A 28-10. ábra három azonosan előfeszített, különböző rugóállandójú, de különböző keresztmetszeti méretű érintkezővel végzett visszapattanási mérések eredményeit mutatja. Jól látható, hogy  $b/c=8$  értéknél nagyon kedvezőtlen visszapattanási viszonyok adódnak. Az adott helyen jelentkező rezonancia okának és jellemzőinek meghatározása külön, nagyszámú méréssel alátámasztott vizsgálatot kíván, amelyet jelen munkánál nem végeztünk el. Mágneskapcsoló-érintkező méreteinek meghatározásakor a tervezett rendszer rezonanciahajlamát kísérleti úton feltétlenül vizsgálat tárgyává kell tenni.

A még vizsgált tényezők (érintkezőanyag, érintkezési mód, az érintkezési felület geometriai méretei stb.) számottevően nem vagy csak szélsőséges esetekben módosítják a fentiekben felsorolt tényezők által meghatározott visszapattanási jelenséget.

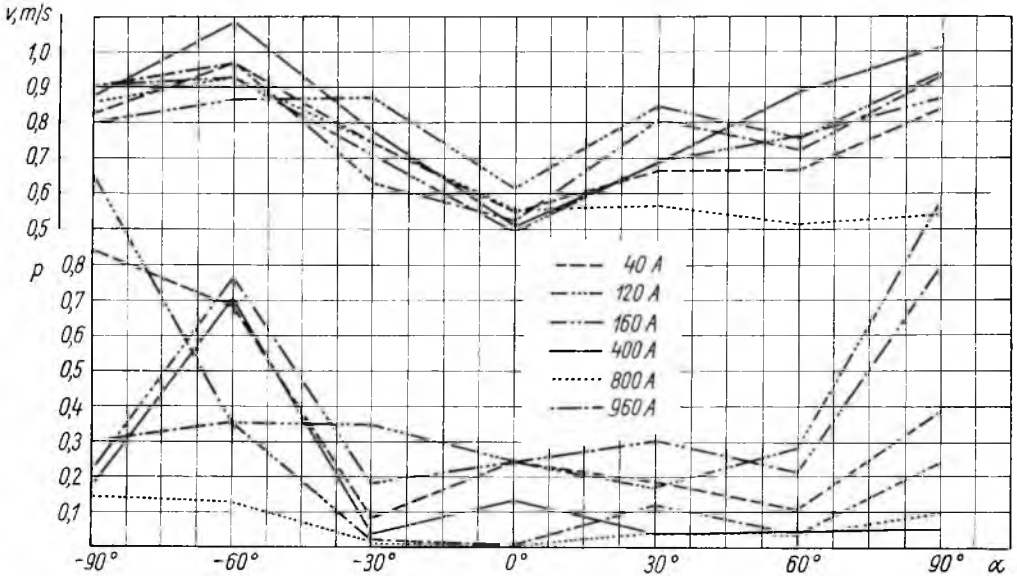


28-10. ábra

## 8. A bekapcsolási áram dinamikus és termikus hatása

A bekapcsolási áram kétféle hatása ellenkező irányban befolyásolja a visszapattanási időt:

- az áram dinamikus hatása a szétfeszítő erő miatt növelő hatású;
- az áram termikus hatása, a fémfelület rongálódása és az érintkező anyagának kilágyulása miatt csökkentő hatású.



28-11. ábra

A villamosan terhelt érintkezők visszapattanási viszonyait egy 380 V-os, AC<sub>3</sub> üzemmódnak megfelelő próbaáramkörbe kapcsolóként működtetett mágneskapcsoló érintkezőin vizsgáltuk. Különböző bekapcsolási fázisszögeknél mértük az érintkezők ütközési sebességét és a visszapattanást (28-11. ábra). A mérési eredményekből látszik, hogy a különböző áramerősség-értékekhez tartozó görbék egy szűk sávban helyezkednek el, a görbék jellege hasonló az ütközési sebesség görbéinek jellegéhez (nagyobb sebesség — nagyobb visszapattanás). A mérések alapján megállapítottuk, hogy az érintkezők visszapattanása  $I < 1000$  A áramtartományban az áramerősségtől nem függ. Ezt a megállapítást elvben alátámasztja az irodalomban található, egyérintkezőhelyes érintkezőkre kidolgozott számos számítási módszer adata is [1], [3], [14].

## 9. Összefoglalás

Az érintkezők visszapattanása, az anyagfogyás növekedése és az érintkezők hegedési hajlamának fokozódása miatt káros a mágneskapcsolók üzemeltetése szempontjából. A visszapattanásnál megfigyelhető nagyon kis elmozdulás- és időtartam-értékek pontos és reprodukálható mérése csak nagyon gondos és körültekintő



munkával lehetséges. A mért eredmények hibáját és szórását a matematikai statisztika módszereivel lehet kiszámítani. Az érintkezők bekapcsolásánál lejátszódó alapvető fizikai jelenségek tanulmányozására az egyszerűsített mechanikai modelleken végzett mérések alkalmasak. Adott felépítésű érintkező-elrendezéseknél a visszapattanást befolyásoló tényezők hatását külön-külön kell vizsgálni. A kétérintkező-helyes érintkezők visszapattanásának jellegét és mértékét alapvetően az ütközési sebesség, az érintkező rugó előfeszítettsége és rugóállandója, az ütköző tömeg nagysága és az érintkezők méretei (rezonancia!) határozzák meg. 1000 A-nál kisebb bekapcsolási áramerősség-értékek esetén az áram dinamikus hatása elhanyagolható.

### Irodalom

- [1] *Babikov, M. A.*: Villamos készülékek. I. rész. Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat, Bp. 1953.
- [2] *Barken, P.*: A Study of the Contact Bounce Phenomenon IEEE Transactions on Power Apparatus and System. Február 1967.
- [3] *Kesslerling*: Theoretische Grundlagen zur Berechnung der Schaltgeräte. Walter de Gruyter, 1943.
- [4] *Erk, A.—Finke, H.*: Über die mechanischen Vorgänge während des Prellens einschaltender Kontaktstücke. ETZ-A. 5 (1965) p. 129—133.
- [5] *Erk, A.—Finke, H.*: Über das Verhalten unterschiedlicher Kontaktwerkstoffe beim Einschalten prellender Starkstrom-Schaltglieder. ETZ-A. 9 (1965) p. 297—302.
- [6] *Franken, H.*: Messung von Kontaktprellungen bei Schaltgeräten. ETZ-A. 75 (1954) p. 787—789.
- [7] *Jackson, C. E.—Neuman, B. P.—Montoya, P. C.*: Non Bounce Electromagnetic Contacts Engeers' Digest. 5 (1965).
- [8] *Laig-Hörstebroek, W.*: Beitrag zur Untersuchung des Kontaktprellens. ETZ-A. 2 (1953) p. 41—42.
- [9] *Medek B.*: Kisfeszültségű Kapcsoló Készülékek. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1961.
- [10] *Molnár I.*: Új eredmények az érintkezőtechnikában. Elektrotechnika 59. évf. 1966. 1—2. sz.
- [11] *Németh E.—Csáky E.*: Methods of mathematical statistics for evaluting electric breakdown measuring series. Periodica Polytechnica E. 1. VII. 1.
- [12] *Pattantyús Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve.* 8. kötet Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1967.
- [13] *Snowdon, A. C.*: Studies of Electrodynamic Forces Occuring at Electrical Contact. AIEE Transactions 2 (1962) p. 24—28.
- [14] Visszapattanások vizsgálata. A Budapesti Műszaki Egyetem Nagyfeszültségű Technika és Készülékek Tanszék által a VKI számára végzett munka zárójelentése. 1967.



## Váltakozóáramú működtetőmágnes jelleggörbéi és mérése

MAGYAR ZOLTÁN

### ÖSSZEFOGLALÁS

Bevezetésben a cikk rámutat a jelleggörbék ismeretének fontosságára, különös tekintettel a kapcsolókészülékek konstrukciójára. Röviden ismertetésre kerül a működtetőmágnes jelleggörbéinek definíciója.

A jelleggörbék meghatározása — a statikus jelleggörbe kivételével — egyszerű matematikai módszerekkel nem lehetséges. A felírható mozgásegyenletek általában csak „lépésről-lépésre” módszerrel oldhatók meg, amely igen hosszadalmas és pontatlan. Ezért a szerző mérési módszert ajánl a jelleggörbék meghatározására és a jelleggörbék alapján eldönthető, hogy a mágnes alkalmas-e a kitűzött feladat teljesítésére. Több módszert ismertet a különböző jelleggörbék meghatározására. Végezetül útmutatást ad a jelleggörbék felhasználására a kapcsolókészülékek konstrukciójának optimalizálásához.

### ХАРАКТЕРИСТИКИ И ИЗМЕРЕНИЕ ПУСКОВОГО МАГНИТА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

3. Мадьяр

#### Резюме

В вводной части статьи говорится о важности знания кривых характеристик с особым вниманием на конструкцию переключающих устройств. Дается краткое определение кривых пускового магнита.

Определение кривых, кроме статических, простыми математическими методами является невозможным. Уравнения движения, как правило, могут быть решены только методом последовательного приближения, что является очень длительным и неточным. Поэтому автор предлагает применение метода измерения при определении кривых характеристик, на основании которого можно решить возможность использования магнита по назначению. Предлагается несколько методов определения различных кривых характеристик. В конце статьи дается рекомендация использования кривых для оптимизации конструкции переключающих устройств.

### KENNLINIEN UND MESSUNGEN DER WECHSELSTROM- STEUERMAGNETEN

Z. Magyar

#### Zusammenfassung

Die Abhandlung weist in ihrer Einleitung auf die Wichtigkeit der Kenntnis der Kennlinien mit besonderer Rücksicht auf die Konstruktion von Schaltvorrichtungen hin. Der Autor gibt eine Definition der Kennlinien der Steuermagnete.

Die Ermittlung der Kennlinien ist mit Ausnahme der statischen Kennlinien durch einfache mathematische Methoden nicht möglich. Die aufschreibbaren Bewegungsgleichungen können im allgemeinen nur in der „Schritt für Schritt” Methode gelöst werden; die jedoch ausserordentlich langwierig und ungenau ist. Aus diesem Grunde empfiehlt der Autor eine andere Messmethode zur Ermittlung der Kennlinien,

und auf Grund der Kennlinien kann entschieden werden, ob sich der Magnet zur Erfüllung der gestellten Aufgaben eignet. Im Beitrag werden mehrere Methoden zur Ermittlung der verschiedenen Kennlinien vorgeschlagen. Abschliessend gibt der Author Hinweise für die Verwendung der Kennlinien zur Optimalisierung der Konstruktion von Schaltvorrichtungen.

## CHARACTERISTICS OF A. C. ACTUATING MAGNETS AND THEIR MEASUREMENT

Z. Magyar

### Summary

By way of introduction, the author hints at the importance of the knowledge of the characteristics, with particular regard to the design of switchgears. A brief definition of the characteristics of the actuating magnets is included.

Except for the static characteristics, the characteristics can not be determined by simple mathematical methods. The usable equations of motion can generally only be solved by step-by-step methods which are very laboursome and involve inaccuracies. The author therefore suggests a measuring method for the determination of the characteristics and by the characteristics defined it can be decided whether the magnet is suitable for the required task. Several methods are suggested for the determination of the different characteristics. Eventually, guidances are given for the utilization of the characteristics for the optimum design of switchgears.

### 1. Bevezetés

Az ipari automatikai berendezések egyik leggyakrabban alkalmazott eleme az elektromágnes: egyaránt felhasználható mint működtető — pl. kontaktorokban, relékben —, vagy mint érzékelőelem — pl. különböző védelmekben (kioldó relék).

Az elektromágnes feladata általában: meghatározott erő kifejtése meghatározott úton. Ezért a készülékek (kontaktorok) méretezése során a konstruktőr számára nagyon fontos a működtetőmágnes húzóerejének, ill. a mozgó fegyverzet és a hozzákapcsolt tömegek dinamikus viselkedésének ismerete.

Váltakozóáramú elektromágnesek húzóerejének meghatározása a légrés függvényében nem egyszerű és egyértelmű feladat. Mint ismeretes, a fegyverzetre ható húzóerő a légrés mágneses energiájának változásából ( $dW/dx$ ) számítható. A számítás pontossága attól függ, milyen pontosan sikerül megállapítani a légrés mágneses energiáját, vagy más szóval, a légrés mágneses vezetőképességét a szórás figyelembevételével. Az erővonalkép azonban mindenkor a fluxus pillanatnyi értékeitől függ, amelyet nemcsak a gerjesztőköri adatok, hanem a fegyverzet repülése közben az örvényáramú és hiszterézis-veszteség, valamint az indukálódó ellen-elektromotoros erő is befolyásol. A légrés mágneses vezetésének számítására, valamint a húzóerő meghatározására olyan tapasztalati képletek alakultak ki, amelyek kisebb-nagyobb egyszerűsítéseket, elhanyagolásokat tartalmaznak. De bármilyen pontosan lehetne is számítani a mágnes húzóerejét, ez önmagában kevés a működtetőmágnes jellemzéséhez. Előfordulhat ugyanis — és ez a gyakori — hogy a működtetőmágnes terhelése folyamán bizonyos légréseknél ugrások vannak, melyeknél a fegyverzet lelassul, vagy esetleg megáll, ha az addig összegyűjtött mozgási energiája kevés az útjába került akadály legyőzésére. A működtetőmágnes méretezésében tehát figyelembe kell venni a mozgórészek lendületét is.

Ahhoz, hogy a fegyverzet megindulhasson — figyelembe véve az ellenerőt — egy meghatározott induló erőre van szükség. Az elektromágnes húzóereje a légrés csökkenésével rohamosan nő, tehát ha nagy volt az induló erő, a fegyverzet fel-

ütközésekor nagy lesz a mozgó rész lendülete, esetleg a sebessége is, ami a mechanikai élettartamot csökkenti. Az érintkezők, valamint a fegyverzet visszapatánásának mértéke ugyanis — egyéb tényezőkön kívül — a mozgó tömegek sebességétől függ. A húzóerőn kívül ismerni kell tehát a fegyverzet felütközésekor, ill. mozgása közben fellépő sebességeket is. Ezenkívül nem közömbös az sem, hogy a mozgó fegyverzet mennyi idő alatt végzi el feladatát.

A húzóerőt, a mozgórészek lendületét, a fegyverzet terhelését és sebességét a légrés függvényében az elektromágnes jelleggörbéi fejezik ki, ezért először a jelleg görbék fajtáit ismertetjük [1].

## 2. Az elektromágnes jelleggörbéi

a) *Terhelési (ellenállási) jelleggörbe* azon erők (nyomatékok) függése a térbeli helyzettől, amelyeket az elektromágnesnek a fegyverzet mozgása közben le kell győznie.

b) *Statikus jelleggörbe* a megfogott fegyverzetre ható erő függése a térbeli helyzettől, a bekapcsolási tranziens jelenségek lezajlása után mérve.

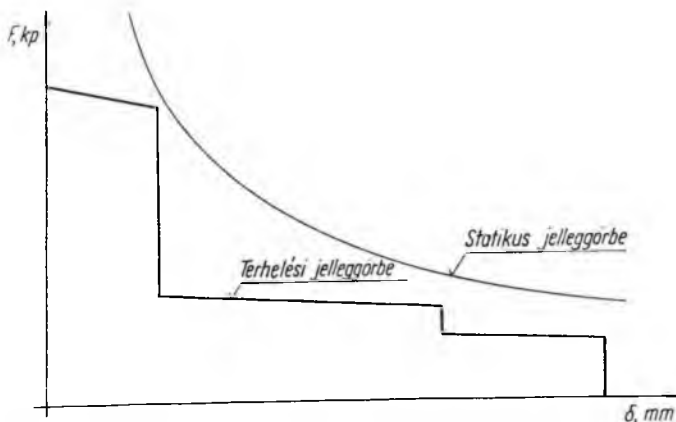
c) A *dinamikus jelleggörbe* az erő változásait a fegyverzet mozgása közben írja le a gerjesztés bekapcsolásától a fegyverzet zárásáig, lendítő tömeg, ill. ellenerő nélkül.

d) A *lendítő-jelleggörbe* nem az erők, hanem a mozgó tömegek (fegyverzet és a hozzákapcsolt ellenerő) lendületét, energiáját írja le a térbeli helyzet függvényében. Ezért a lendítő jelleggörbét a terhelési jelleggörbe alakja, valamint a feszültség bekapcsolási szöge nagymértékben befolyásolja.

## 3. A jelleggörbék mérése

### 3.1 A terhelési (ellenállási) jelleggörbe mérése

Az elektromágnes terhelése vagy közvetlenül, vagy valamilyen áttételen keresztül kapcsolódik a mozgó fegyverzethez. Az esetek nagyrésztében a terhelés az útnak



29-1. ábra. Elektromágnes szokásos terhelési és statikus jelleggörbéje

lineáris, vagy valamilyen más, egyszerű függvénye és sem az út, sem az idő függvényében nem periodikus. A terhelési jelleggörbe mérése mindig egyszerűen erő (nyomaték) mérése az út (szögelfordulás) függvényében. Egy szokásos terhelési jelleggörbét a 29-1. ábra mutat.

### 3.2 A statikus jelleggörbe mérése

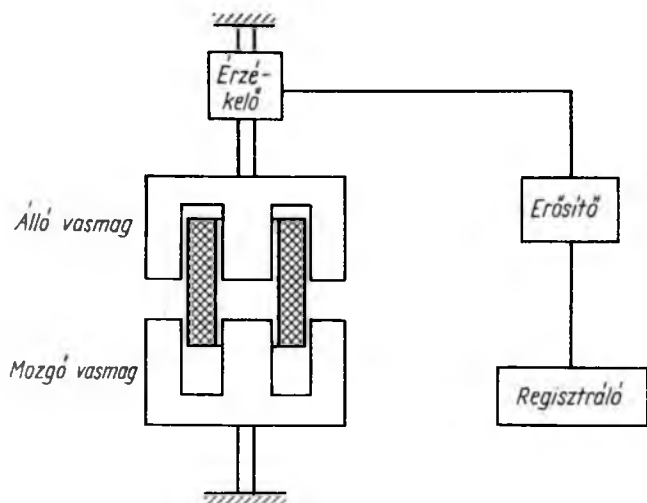
Egyen- és váltakozóáramú mágnesek statikus jelleggörbéje különbözőképpen határozható meg. *Egyenáramú* mágnesek húzóerejének megállapítása, ha a pontosság nem fontos követelmény, igen egyszerű. Meghatározott fix légréseknél addig kell súlyokkal terhelni a fegyverzetet, amíg az leesik; tehát a statikus jelleggörbe azonos a leszakító erő változásával a légrés függvényében. A mérésnek ez a módja vitatható, mivel nagy szubjektív hibát tartalmaz, nevezetesen a fegyverzet leszakadásának megítélése, vagy a súlyok felrakásának módja. Helyesebb az egyenáramú mágnes statikus jelleggörbéjét a váltakozóáramú mágnesnél ismertetett módszerrel meghatározni.

*Váltakozóáramú* mágnes statikus jelleggörbéjét leszakító erővel nem lehet felvenni. A húzóerő ugyanis a mindenkori hálózati frekvencia kétszeres értékével leng egy maximális és egy zérus érték között, emiatt a húzóerő csúcserőértékének mintegy 20...25%-ánál a fegyverzet olyan erős rezgésbe kezd, hogy nemcsak az erő csúcserőértékét, de még a leszakító erőt sem lehet egyértelműen megállapítani. Igen nagy szubjektív hibát jelent a rezgés kezdetének meghatározása. Ezen kívül már 2...3 s-ig tartó mérés folyamán is a gerjesztőtekercs ellenállása nagy légréseknél a melegedés miatt mintegy 30...40%-kal megnő, azaz lecsökken a gerjesztőáram, tehát lecsökken a húzóerő is. A leszakítóerő mérésének csak a fegyverzet zárt állapotában van egyáltalán értelme, ugyanis csak zárt állapotban kérdéses, hogy megtartja-e a mágnes a terhelést (érintkezőnyomás) zúgás nélkül.

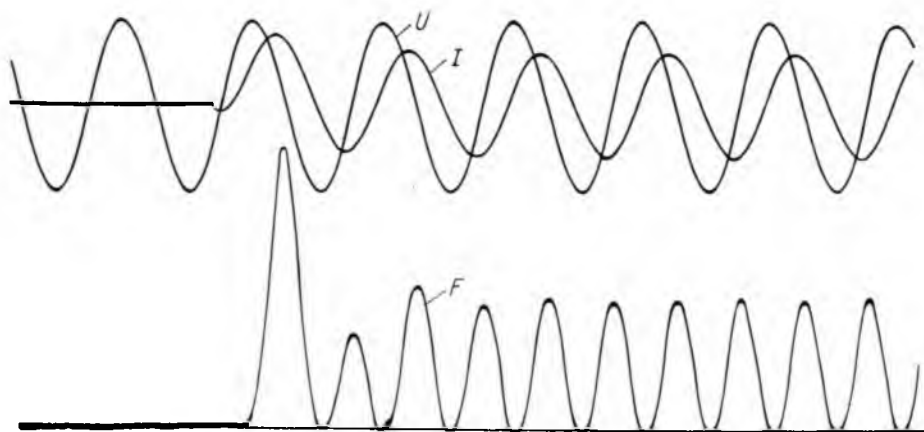
Az elmondottak szerint tehát váltakozóáramú mágnesek húzóerejének mérésére más módszert kell keresni, melynél kiküszöbölné a szubjektív hiba, és a mérés oly rövid időre tart, hogy nem befolyásolja a gerjesztőáram alakulását. Mechanikus mérőműszerek erre a célra nem alkalmasak, mivel a váltakozóáramú mágnes periodikus húzóerő-változásait — felépítésükből adódóan — nem tudják követni. Olyan érzékelőt kell tehát választani, amely az erő változásait követni tudja és kimenetén villamos jel jelenik meg, amely könnyen regisztrálható. Célszerű nem közvetlenül az erőt, hanem az erő hatását érzékelni, azaz az erő által létrehozott elmozdulást vagy megnyúlást. A működtetőmágnes húzóerejének mérésében azonban igen lényeges, hogy az erő által okozott hatás — az érzékelő elmozdulása, megnyúlása — olyan kicsi legyen, hogy ne befolyásolja a mágnes légrését.

Az erőmérés vázlatát a 29-2. ábra mutatja. A mágnes egyik fele az érzékelőn keresztül, másik fele pedig közvetlenül van megfogva oly módon, hogy egymáshoz képest elmozdulni nem tudnak, ill. csak annyira, amennyire az érzékelő megengedi. Az érzékelő méretváltozása tehát arányos az adott légrésnél fellépő húzóerővel. Az érzékelő lehet nyúlásmérő bélyeg, induktív adó stb., amely erő okozta alak- vagy méretváltozás hatására villamos jelet szolgáltat.

A Villamosipari Kutató Intézetben kifejlesztett húzóerőmérő is ezen az elven működik. Az elektromágnes álló része egy rugalmas membránhoz, a fegyverzet pedig egy mozgatható asztalra van erősítve, hogy a különféle szükséges légrések beállíthatók legyenek. A membrán behajlásának mértéke arányos az elektromágnes húzóerejével. A membrán behajlását induktív útdadó érzékeli, amely igen kis elmozdulások mérésére alkalmas. Az útdáchoz célszerűen egy nagystabilitású mérőerősítő csatlakozik, amelynek erősítése olyan nagy, hogy már néhány mikron útváltozást



29-2. ábra. Váltakozóáramú működtetómágnes húzóerejének mérése



29-3. ábra. Váltakozóáramú mágnes dinamikus jelleggörbéjének mérése elektronikus szorzóegységek használatával

is érzékelni és regisztrálni tud. Így a membrán olyan merevnek készíthető, hogy behajlása még nagy erőknél sem befolyásolja a mágnes légrését. A membrán elmozdulását az útdadó méri, az erősítő kimenőjele tehát arányos az elektromágnes statikus húzóerejének pillanatértékeivel. Az erő regisztrálására oszcillográf szolgálhat. A fegyverzetre ható húzóerőt, a gerjesztőfeszültség és áram alakulását egy adott légrésnél a 29-3. ábra mutatja. Több légrésnél elvégezve a mérést, az elektromágnes statikus jelleggörbéje megszerkeszthető. A statikus jelleggörbe alakulása, ill. szokásos alakja a 29-1. ábrán látható.

### 3.3 A dinamikus jelleggörbe mérése

Mivel a fegyverzet repülése közben a 3.2 pontban ismertetett erőmérés nem lehet<sup>2</sup> séges, a dinamikus jelleggörbe felvételére két módszer jöhet számításba: közvetett erőmérés és szerkesztés.

#### 1. Közvetett erőmérés

a) a közismert

$$F = ma \quad (1)$$

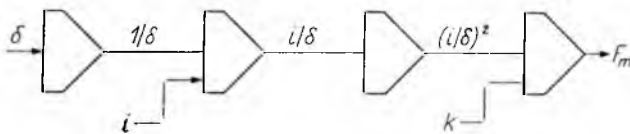
összefüggés alapján mérni kell a fegyverzet gyorsulását ( $F$  erő;  $m$  a mozgó tömeg;  $a$  a mozgó tömeg gyorsulása) és tömegét, majd el kell végezni a szorzást. Ez a módszer meglehetősen nehézkes és pontatlan, mivel kétszeres differenciálás szükséges, aminek áramköri megoldása nagyon nehéz. (Közvetlenül ugyanis csak az utat lehet érzékelni, amiből kétszeres differenciálás után kapható a gyorsulás.) Ismeretes ugyanis, hogy egy tiszta differenciáló áramkör mind a külső eredetű, mind a tápfeszültségből eredő zavarokat kiemeli és ezzel a mérés pontosságát igen nagymértékben lerontja.

b) Feltételezve, hogy a gerjesztőtekercs árama teljes egészében a légrés átmágnesezésére fordítódik és az áramcsúcsokkal egyidőben lépnek fel az erőcsúcsok, az erőmérés elektronikus szorzógységek segítségével végezhető el a következő összefüggés alapján:

$$F = k \left( \frac{i}{\delta} \right)^2, \quad (2)$$

ahol  $k = \text{konstans}$ . Ez a módszer azért mondható szerencsésnek, mert a mérés hibája részben automatikusan kompenzálódik, ui. csökkenő légrésnél a húzóerő az indukálódó ellen-elektromotoros erő, hiszterézis- és örvényáramú veszteség miatt kisebb, mint az a statikus mérésből adódna (nagy a fegyverzet sebessége), viszont a tekercs áramának egy része már a vasmag gerjesztésére és veszteségeinek fedezésére is fordítódik. A (2) összefüggés szerint mérni kell tehát a gerjesztőáramot, a fegyverzet által megtett utat (légrésváltozást) és a kijelölt műveleteket el kell végezni. A mérés elvi kapcsolását a 29-4. ábra mutatja.

A leírt két mérési módszer a mágnes húzóerejét a terheletlen fegyverzet repülése közben az idő függvényében adja meg.



29-4. ábra. Váltakozóáramú elektromágnes oszcillogramja állandó légrés esetén

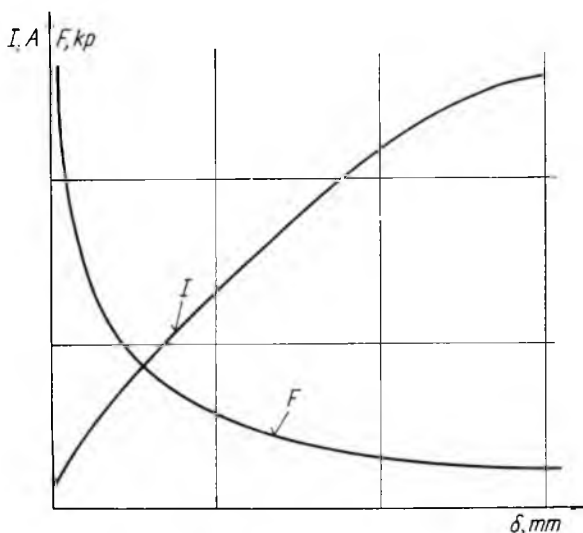
$F$  húzóerő;  $I$  gerjesztőáram;  $U$  gerjesztőfeszültség

#### 2. Szerkesztés

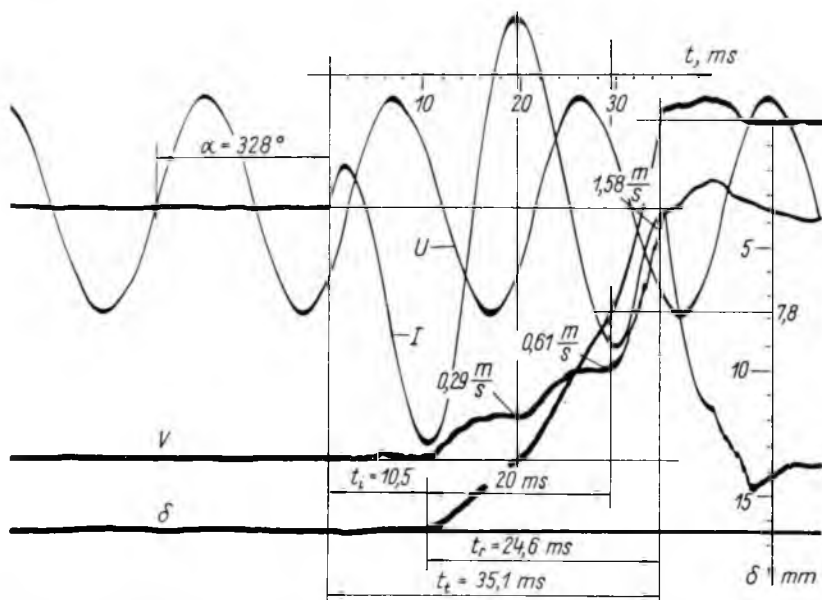
Korábbi feltételezésünket, hogy tudniillik a gerjesztőáram fázisban van a húzóerővel és teljes egészében a légrés átmágnesezésére fordítódik, kiegészítjük azzal, hogy a gerjesztőáram a fegyverzet repülése közben szinuszos törvényszerűséget követ és frekvenciája megegyezik a hálózati feszültség periódusával.



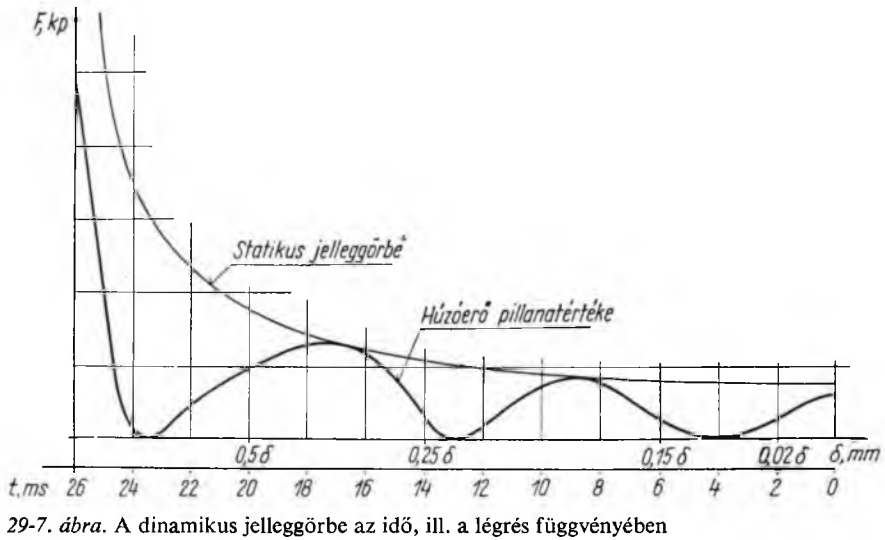
Fentiek előrebocsátásával a szerkesztés menete a következő: statikus mérésel egy-egy légrésbeállításnál megmérjük az összetartozó áram-erőértékeket, azaz meghatározzuk az  $F=f(\delta)$ , valamint az  $i=f(\delta)$  összefüggéseket (29-5. ábra). Ezután regisztráljuk a fegyverzet repülése közben a gerjesztőáramot, valamint a fegyverzet által megtett utat (29-5. ábra). Az összetartozó repülési idő—út pontokat és a statikus jelleggörbét a 29-7. ábra szerint összerajzoljuk. A gerjesztőáram pillanatértékei mind az idő, mind az út függvényében ismertek a regisztrátumról, az összetartozó erő és áramértékek pedig a statikus mérésekből. A repülés közben fellépő erő tehát mind az idő, mind az út függvényében megszerkeszthető. A szerkesztés annál pontosabb, minél több pontot veszünk fel az útgörbén, mivel a fegyverzet által megtett út az idő függvényében nem lineáris, sőt egyszerű matematikai függvénnyel nem írható le. Ennek oka a változóáramú mágnes jellegéből adódik: a húzóerő rendszeresen egy zérus és egy maxi-



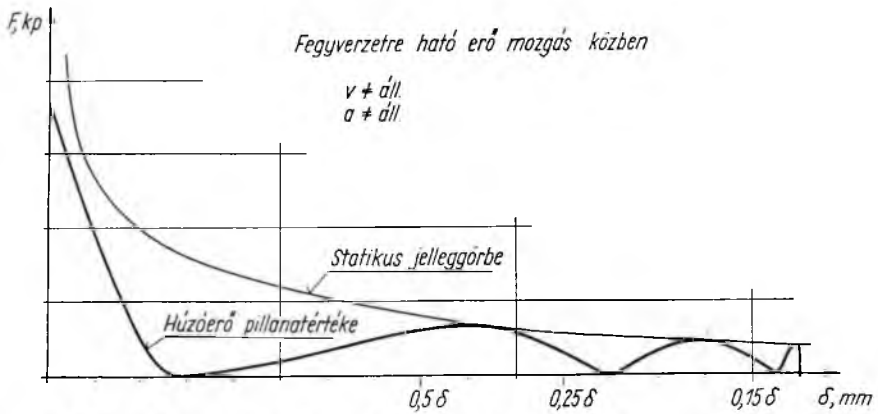
29-5. ábra. A statikus húzóerő és gerjesztőáram a légrés függvényében



29-6. ábra. Változóáramú elektromágnes oszcillogramja a fegyverzet repülése közben  $\delta$  a légrés;  $v$  a fegyverzet sebessége;  $I$  a gerjesztőáram;  $M$  a gerjesztőfeszültség



29-7. ábra. A dinamikus jelleggörbe az idő, ill. a légrés függvényében



29-8. ábra. A dinamikus jelleggörbe a légrés függvényében

mális érték között ingadozik a hálózati periódus kétszeres értékével, sőt a légrés csökkenésével csúcserő rohamosan nő, tehát a fegyverzet sebessége, valamint a megtett út is nő.

Mivel tehát a fegyverzet által megtett út az idő függvényében nem lineáris (lásd: 29-6. ábra), a ráható húzóerő — amely korábbi feltételezésünk értelmében az idő függvényében  $\sin^2$  törvényszerűséget követ — az út függvényében  $F=f(\delta)$  semmiképpen sem lehet  $\sin^2$ -es alakú, hanem egy torz görbe (29-8. ábra), melynek egyenletét legfeljebb empirikus módszerrel, a görbét több szakaszra bontva, közelítőleg lehetne felírni. Ezért helytelen egyes szerzők azon megállapítása, mely szerint a statikus jelleggörbe, az erőhullámok középpértékét összekötő görbe. Egy torz görbealaknak, melynek matematikai kifejezése ismeretlen, középpértékét csak planimetrálással lehet meghatározni, ha a görbealak grafikusan adva van. Ezenkívül az erőhullámok kialakulása — számuk és nagyságuk — nagymértékben függ a ger-

jesztés bekapcsolásának szöghelyzetétől. A 29-7., ill. 29-8. ábra egy adott bekapcsolási szög esetén érvényes.

A dinamikus jelleggörbe meghatározásának fentebb ismertetett két módszere közül az első a pontosabb és gyorsabb. A szerkesztés hátránya nagyobb pontatlansága és nagy munkaigénye. A szerkesztés pontossága fokozható, ha a statikus jelleggörbe nemcsak a névleges gerjesztőfeszültségen ismert, hanem több, a névlegesnél kisebb feszültségen is. A fegyverzet ugyanis valamilyen gyorsulással mozog, a légrés tehát csökken és kisebb légréshez — (29-5. ábra)  $F=f(\delta)$ ,  $i=f(\delta)$  — nagyobb erő tartozik, annak ellenére, hogy a gerjesztőáram csökken. Ez más szóval azt jelenti, hogy egy-egy erőhullám hatására a fegyverzet nem azonos utat tesz meg, hanem nagy légrésnél kevesebbet, kisebb légrésnél többet. A 29-8. ábrán az első erőhullám hatására a fegyverzet a teljes légrés 8%-át, a másodikra a 20%-át, a harmadikra pedig már a légrés 60%-át teszi meg. A 29-7. és 29-8. ábrák azzal a feltételezéssel készültek, hogy az erők csúcserkéi megegyeznek a statikus módszerrel mérhető erők csúcserkéivel, ami a fent elmondottak szerint csak akkor igaz, ha a fegyverzet sebessége olyan kicsi, hogy az ellen-elektromotoros erő, valamint a járulékos veszteségek okozta hűzőerőcsökkenés elhanyagolható.

### 3.4 A lendítő jelleggörbe meghatározása



Ez a jelleggörbe — amint a neve is utal rá — nem az erők, hanem a mozgó tömegek lendületét, mozgási energiáját írja le a térbeli helyzet függvényében. Különösen fontos a lendítő jelleggörbe ismerete a készülékkonstruktőr számára, mivel ez jellemzi a legjobban az elektromágnes üzemviszonyait tranziens állapotban. Ha a működtetőmágnes túlméretezett, feleslegesen nagy energiatartaléka van a záródás pillanatában, amely részben deformációs munkává, részben hővé alakul, ill. visszapattanási jelenséget okoz. A deformáció és visszapattanás feltétlenül káros, mivel a készülék mechanikai élettartamát nagymértékben csökkenti. Ha viszont a mágnes aláméretezett, vagy a terhelésugrások olyan légrésértékeknél jelentkeznek, ahol a mozgó fegyverzet kinetikus energiája még kevés az akadály legyőzésére, a mágnes feladatát nem tudja teljesíteni. A lendítő jelleggörbe tehát az együttműködés lehetőségét és jóságát is kifejezi azzal a berendezéssel, amelynek működtetésére az elektromágnes készült.

A mozgó fegyverzet, ill. a hozzákapcsolt tömegek kinetikus energiáját a légrés függvényében a következő egyenlettel határozhatjuk meg:

$$\int_{\delta_0}^0 F_m d\delta - \int_{\delta_0}^0 F_e d\delta = W_k, \quad (3)$$

ahol

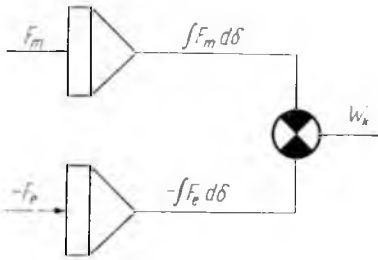
$F_m = f(i, \delta)$  az elektromágnes húzóereje;

$F_e$  az elektromágnes ellenereje (terhelés);

$W_k$  kinetikus energia;

$\delta$  a légrés.

A 3.3 ponthoz hasonlóan, mint a dinamikus jelleggörbe meghatározásánál láttuk, a lendítő jelleggörbe is kétféle módon határozható meg: közvetett méréssel és szerkesztéssel.



29-9. ábra. Váltakozóáramú elektromágnes lendítő jelleggörbéjének mérése elektronikus integrálóegységek segítségével

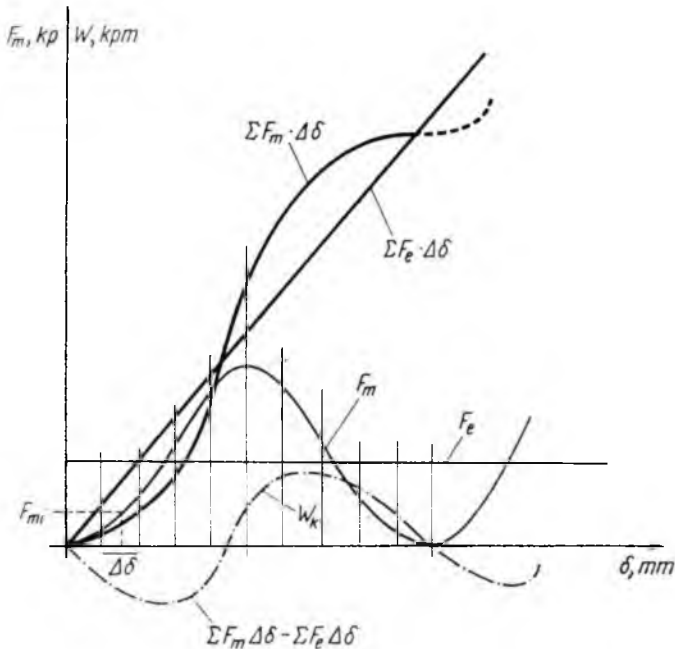
### 1. Közvetett mérés

A 3.3 pontban már meghatároztuk az elektromágnes húzóerejét. A 29-3. ábrán bemutatott blokksemát tehát a (3) egyenletnek megfelelően kell kiegészíteni. Az ellenerő  $F_e$  általában mind az idő, mind a légrés függvényében lineáris szakaszokból rakható össze (l. 29-1. ábra *a* görbéje), ezért ennek előállításával nem foglalkozunk. A (3) egyenlet szerint tehát integrálni kell mind az  $F_m$ , mind az  $F_e$  erőket a teljes légrésre és képezni kell a két mennyiség különbségét. A lendítő jelleggörbe mérése tehát a 29-9. ábra szerint történhet. A

módszer előnye, hogy integrálótagok a gyakorlatban viszonylag egyszerűen és könnyen megvalósíthatók.

### 2. Szerkesztés

A szerkesztéshez először a dinamikus húzóerőt kell meghatározni úgy, ahogyan azt a 3.3 pontban ismertettük, figyelembe véve azonban azt a körülményt, hogy ebben az esetben a fegyverzet már terhelve van. A mozgórészek gyorsítására fordítódó húzóerő tehát nemcsak az indukálódó ellen-elektromotoros erő, örvényáram- és hiszterézisvesztés miatt csökken, hanem csökkenti azt a fegyverzet terhelése, az ellenerő is. A dinamikus gyorsító erő meghatározása után a lendítő jelleggörbe

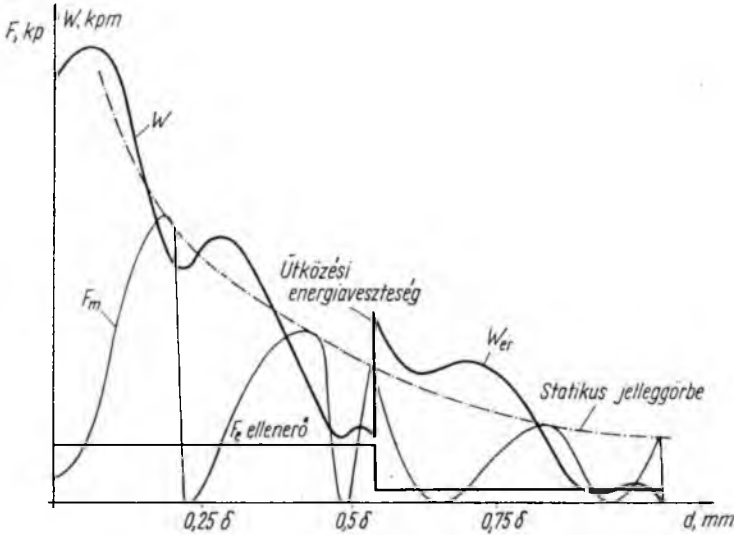


29-10. ábra. Lendítő jelleggörbe szerkesztése

szerkesztése a következő (lásd: 29-10. ábra): az utat (légrést) kicsiny —  $\Delta\delta$  — szakaszokra kell felosztani és az elemi útszakaszokat szorozni kell a hozzá tartozó erő közepes értékével, majd a szorzatokat összegezni a teljes légrésre, azaz

$$\sum_{i=1}^n (F_{mi} \Delta\delta - F_{ei} \Delta\delta) \quad (4)$$

Amennyiben a terhelési jelleggörbében ugrás, vagy ugrások vannak, azokon a pontokon ütközési veszteség lép fel, melyet az ütközési pontban a kinetikus ener-



29-11. ábra. Váltakozóáramú elektromágnes lendítő jelleggörbéje a légrés függvényében

gia görbéből le kell vonni. A lendítő jelleggörbét a 29-11. ábra mutatja, melybe a terhelési jelleggörbét is berajzoltuk.

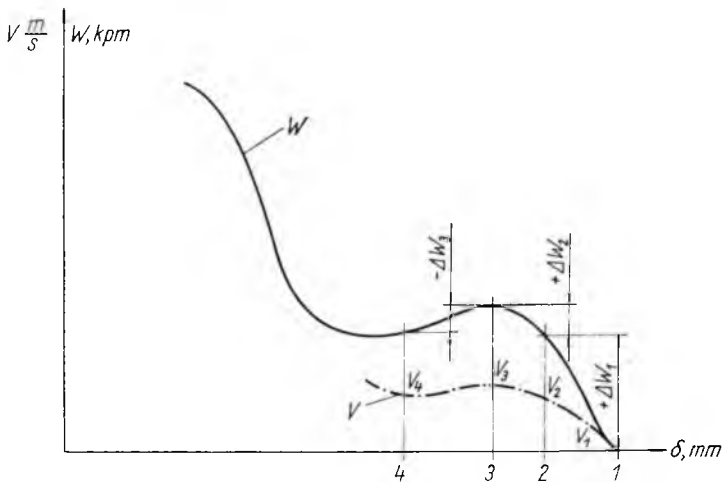
A 29-11. ábra egy bekapcsolási szögre érvényes, minden más bekapcsolási szög esetén — változatlan terhelés mellett is — a jelleggörbe alakja változik.

### 3.5 A lendítő jelleggörbéből levonható következtetések

Bármelyik módszerrel határoztuk meg a lendítő jelleggörbét, a kinetikus energia alakulásából a fegyverzet sebessége, a terhelésugrás hatása, valamint a felütközéskor fellépő ütközési erőhatás (nem azonos a mágnes húzóerejével!) nagysága meghatározható.

A 29-10. ábrán a lendítő jelleggörbének negatív területe is van, ami azt jelenti, hogy az ellenőrző energiaszükséglete nagyobb, mint amit a mágnes produkálni képes. Azaz a fegyverzet nem indul el, vagy ha valamilyen közbülső légrésnél van negatív energiaterület, — pl. túl nagy a terhelésugrás —, a fegyverzet megáll, sebessége előbb zérus lesz, majd visszaesik.

A lendítő jelleggörbéből (29-11. ábra  $W_{ker}$  görbe) a fegyverzet pillanatnyi sebessége a 29-12. ábra alapján a következőképpen határozható meg: a lendítő



29-12. ábra. A fegyverzet sebességének szerkesztése a lendítő jelleggörbéből a légrés függvényében

jelleggörbét  $\delta = \delta_{\max}$ -tól kezdődően olyan kis szakaszokra osztjuk, amelyekben a fegyverzet kinetikus energiája lineárisan nő vagy csökken. A kinetikából ismert összefüggés szerint

$$\frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{m_1 v_1^2}{2} = \Delta W_k, \quad (5)$$

amiből

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\Delta W_k}{m_2} + \frac{m_1}{m_2} v_1^2},$$

ahol

$m_1$  a mozgórész tömege a szakasz elején;

$m_2$  a mozgórész tömege a szakasz végén;

$v_1$  a sebesség a szakasz kezdetén;

$v_2$  a sebesség a szakasz végén;

$\Delta W$  a kinetikus energia változása a szakaszon belül.

A  $\delta = \delta_{\max}$ -nál  $v_1 = 0$ , tehát

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\Delta W_1}{m_2}}$$

Hasonlóképpen számítható  $v_3$  is, de a második szakasz kezdetén  $v_2 \neq 0$ . A harmadik szakasz végsebessége pl.:

$$v_4 = \sqrt{-\frac{2\Delta W_3}{m} + v_3^2}.$$

Pontról-pontra elvégezve a számítást, megkapjuk a fegyverzet sebességét a légrés függvényében.

A fegyverzet záródásakor fellépő ütközési erő — amely nem azonos sem az elektromágnes húzóerejével, sem a gyorsító erővel — a fegyverzet lendületéből számítható:

$$m_2 v_{\bar{u}} - m_1 v_1 = \int_{t_1}^{t_{\bar{u}}} F_{\bar{u}} dt. \quad (6)$$

ahol

$v_{\bar{u}}$  a fegyverzet sebessége az ütközés pillanatában;

$v_1$  a fegyverzet sebessége egy tetszőleges ponttól;

$t_1$  a  $v_1$  sebességhez tartozó idő;

$t_{\bar{u}}$  a  $v_{\bar{u}}$  sebességhez tartozó idő;

$F_{\bar{u}}$  az ütközés pillanatában fellépő erő;

$m_1, m_2$  a mozgó tömegek a  $t_1$ , ill. a  $t_{\bar{u}}$  időpontban.

A lendítő jelleggörbéből tehát a következő fontos felvilágosításokat kapjuk:

A mágnesoldalra átszámított *terhelésugrást* mindig a légrés olyan szakaszára célszerű beállítani, ahol a fegyverzet már elegendő nagy mozgási energiával, ill. sebességgel rendelkezik az ütközési veszteség legyőzésére (l. 29-10. ábra). Így elérhető, hogy a terhelt fegyverzet nem áll meg, sebessége az ütközés pillanatában csökken, majd újra növekszik.

*Felütközéskor* (légrés zérus) a lendítő jelleggörbéből leolvasható energia, amit a fegyverzet, ill. a hozzákapcsolt mozgó tömeg útja során összegyűjtött, részben hővé alakul, részben a mozgó rész pattogása közben rugalmas alakváltozások emésztik fel. Célszerű tehát felütközés előtt sebességcsökkentés árán az energia egy részét felemészteni, így a mozgó rész pattogása, és az ütközéskor fellépő erő is csökkenthető, ami a mechanikai élettartamot növeli. A mozgó tömegek és sebességek célszerű megválasztásával elérhető, hogy a fegyverzet lendülete kicsi legyen.

A fegyverzet sebességének és kinetikus energiájának ismeretében olyan optimális mechanikai áttétel határozható meg a terhelés és a mágnes között, amely a legkedvezőbb transziens viszonyokat biztosítja a működtetett berendezésnek.

*Összefoglalva:* a jelleggörbék — különösen a lendítő jelleggörbe — ismerete és célszerű alkalmazása a készülék legkedvezőbb mechanikai élettartamát, valamint optimális méreteit biztosítja.

#### Irodalom

- [1] Dr. Néveri I.: Kutatási feladatok a kifesztültségű váltakozóáramú mágneskapcsolók korszerű kialakításához. VKI Közlemények 2.
- [2] Friedrich, H.: Zugkraft-Messungen an Wechselstrommagneten für Luftschütze. ETZ-A, 1961.
- [3] Ragazewski, P.: Experimentelle Untersuchung der statischen und dynamischen Magnetkraft. Elektroapparate Mitteilungen, 1965.
- [4] Hyink, R.: An analysis of the dynamics of an electromechanical system. Transactions of AIEE, 1960.





# KLIMATIZÁCIÓS OSZTÁLY



**Klimatizációs kutatások\***

SULYOK JÓZSEF

**1. Klimatizáció**

A villamos berendezésektől felhasználásukkor megkívánjuk, hogy funkciójukat különböző környezeti viszonyok, klíma- és mechanikai behatások mellett is teljesítsék, mégpedig hosszabb, technikailag elvárható ideig.

A villamos berendezés szorosan vett működésbeli alkalmassága nem is választható el a környezeti behatásokkal szembeni tartós alkalmasságtól, hiszen ez utóbbi hiánya előbb vagy utóbb éppen a funkcionális alkalmatlanságot eredményezi, jelenti.

A környezethatások igen sokfélék, nagyon változatosak, s így a villamos berendezésre való befolyásuk, meghatározó szerepük ugyancsak igen különböző.

A villamos berendezések a környezeti hatások közül fokozottan érzékenyek a klímahatásokra.

A villamos berendezésekben már szállítás, raktározás alatt is igen sok esetben keletkezik a klímahatások miatt olyan kár, amely lehetetlenné teszi, de legalábbis megnehezíti üzembehelyezésüket. A berendezés üzeme során — az üzem befolyásoló szerepe folytán — a klíma-igénybevételek hatása egyes esetekben csökken, más esetekben fokozódik. Pl. a villamos berendezések többségében keletkező meleg a szigetelést szárítja, így a klímátényezők közül pl. a nedvesség hatását csökkenti. Ugyanakkor a magas hőmérséklet hatására a szigetelés öregszik és nedves légtérben, üzemszünetekben a nedvesség jóval könnyebben bejut az öregedés révén károsodott szigetelés belső rétegeibe, s fokozottan károsítja azt. Másik ilyen közvetett hatás pl., hogy a hő hatására a szigetelőanyagból különböző gázok, bomlástermékek távoznak, amelyek a berendezés belső terében maradvá az oda bekerülő nedvességgel együtt igen agresszív mikroklímát teremtenek.

A klíma különböző tényezőinek együttes hatása, valamint a klíma és a berendezés működéséből, üzeméből fakadó „belső” igénybevételek kölcsön- és együttes hatása tehát nagyon bonyolultan alakulhat.

E bevezető gondolatokat a következőképpen összegezhetjük, s vezethetjük le a klimatizációs tevékenység főbb tartalmát. A villamos berendezések a klíma-igénybevételek hatására károsodást szenvednek. Károsodás minden berendezésnél bekövetkezik. A károsodás mértéke, s annak a berendezés üzemére gyakorolt hatása azonban egyrészt a berendezés üzeme által is befolyásolt klíma-igénybevétel fajtájától, intenzitásától és idejétől, másrészt a berendezés üzeme által is befolyásolt klíma-igénybevétel fajtájától, intenzitásától és idejétől, másrészt a berendezés anyagainak és alkatrészeinek az igénybevételekkel szemben tanúsított ellenállóképességétől és a berendezés védettségétől függ. A villamos berendezések klímaalkalmasságának megteremtése igen sokoldalú tevékenység összhangját kívánja meg. E tevékenység összességét

\* 1969. jan. 1-től a Klimatizációs o. a „Szigeteléstechikai Főosztály”-hoz tartozik.

klimatizációs tevékenységnek nevezzük, s általában három témakörben folyik: *klimatológiai, klímavédelmi és klímavizsgálati.*

Nézzük meg e három témakör lényegét és kapcsolatát.

### **1.1 Klimatológia**

A villamos berendezések klímavédelmének megvalósításához elsődleges fontosságú a klíma-igénybevételek megismerése. A klímátényezők intenzitása, technikai szempontból fontos kritikus értékeinek gyakorisága, továbbá a domináló klímátényezők egyidejűségének mértéke alapján alakíthatók ki azok a technikai szempontból fontos klímák, és klíma-igénybevételi kategóriák, amelyek jellemzői, a klímavédelem megtervezéséhez számszerűen vagy minőségileg alapul szolgálnak.

A klíma fenti célú tanulmányozása, adatok gyűjtése és rendszerezése, technikailag indokolt klímák és klíma-igénybevételi kategóriák kialakítása, szabványok, előírások és irányelvek formájában való rögzítése jelentik a klimatológia témakörben végzendő feladatok.

### **1.2 Klímavédelem**

A technikai klímák, klíma-igénybevételi kategóriák és a jellemző adatok ismeretében kerül sor a klímavédelem megtervezésére. A klímaadatok mellett azonban ismerni kell ehhez a villamos berendezésekben alkalmazott anyagok, szigetelési rendszerek és védőtechnológiák különböző klíma-igénybevételek hatásával szembeni ellenállóképességét, s az ellenállóképesség vagy érzékenység okát. Ha az ezekre vonatkozó adatok rendelkezésre állnak, kialakíthatjuk a legmegfelelőbb és a leggazdaságosabb védelmet.

### **1.3 Klímavizsgálatok**

Mind a klíma-igénybevételek megismerése, mindpedig az anyagok, védelmek, alkatrészek és berendezések klímaállóságára vonatkozó adatok megszerzése kutatási szintű és mélységű természetes és mesterséges klímavizsgálatokkal lehetséges. Mint-hogy a természetes vizsgálatok költségesek és hosszadalmasak, szükséges olyan laboratóriumi mesterséges klímavizsgálati módszerek kialakítása, amelyek hatásukban jól utánoznak valamely természetes klíma-igénybevételt, és amelyek segítségével a villamos berendezések adott klímára való alkalmasságát lehetőleg kellő biztonsággal meg lehet állapítani.

## **2. A klimatizáció — mint új tudományág — megjelenése az erősáramú kutatásokban**

A klimatizációs problémák megoldása új tudományág kifejlesztését tette szükségessé. Az „új” hallatára talán sokakban felvetődik a kérdés, hogy miért csak 10—15 éve foglalkoznak Magyarországon intenzívebben a klimatizációval, hiszen azelőtt is voltak „klímaproblémák”, azelőtt is figyelembe vették a villamos berendezésekre ható klíma-igénybevételeket. Nem kívánunk kimerítő választ adni az általunk felvetett kérdésre, néhány gondolatot azonban mégis el kell mondanunk annak bizonyítására, hogy a klimatizációs kérdések előtérbe kerülésének megvannak az objektív okai.

Az elmúlt 10—15 évre — kereskedelmi vonatkozásban — az volt a jellemző, hogy a villamos berendezések piaca a trópusi és más agresszív klímájú területeken jelentős mértékben megnövekedett. Ezekre a területekre szállító vállalatok és a külkereskedelem a megrendelés teljesítése során olyan problémákkal került szembe, amelyekkel a mérsékelt klímájú területeken csak kismértékben, vagy egyáltalán nem találkozott. A nedves trópusi klíma esetén fellépő problémák megoldása tette szűk-ségessé azt, hogy a villamos berendezések trópusállóságának kérdését napirendre tűzzük. A villamos berendezések tropikalizációja így az érdeklődés középpontjába került.

A szállítók a klímaproblémákkal azonban más, pl. a mérsékelt klímaterületekre irányuló export kapcsán is találkoztak, s egyre gyakrabban találkoznak ma is. A külföldi vevők ugyanis egyre inkább megkövetelik a berendezések nemzetközi normák szerinti klímaállóságát. A vonatkozó vizsgálatok elvégzésénél azonban gyakran kiderül, hogy egyes berendezések, a vizsgálati követelmények alapján a mérsékelt klímára sem felelnek meg teljes mértékben. A világszínvonalú gyártmányok előállítására vonatkozó új követelmények, a vevők igényessége és vállalataink törekvése, magával hozza a korábbi nézetek felülvizsgálatát is. Korábban ugyanis szinte minden gyártó természetesnek vette, hogy berendezései a mérsékelt klímán — a klímaigénybevételekkel szembeni ellenállóképességet illetően — minden további nélkül megfelelnek. Ezt a felhasználók természetesen korábban is sok esetben megtudták volna cáfolni, ha a minőségi szemlélet korábban is polgárjogot kapott volna. Mindemellert azonban nem lehet valamely berendezés mérsékelt klímára való alkalmasságát általánosságban értelmezni. A mérsékelt klímaövezetben is vannak olyan alkalmazási helyek, amelyek klímája igen agresszív, igen szigorú; s az a berendezés, amely pl. száraz, tiszta üzemben kiválóan alkalmas, más agresszív légtérben (állandó párással, konzervgyár, vágóhíd; nedves bányauzem stb.) nem biztos, hogy minden további nélkül alkalmas.

Fentiekből az következik, hogy a klimatizációs problémákkal minden klímára kiterjedően kell foglalkozni. Általánosságban leszögezhetjük azt is, hogy a klimatizációs kérdéseknek megvan a maguk realitása és mind kutatási és fejlesztési, mind gyártási szinten foglalkozni kell velük.

Intézetünk 1958 óta foglalkozik klimatizációs, ill. az első szakaszban tropikalizációs kutatásokkal. Az elmúlt tíz év szervezetileg is, klimatizációs kutatások jellegét tekintve is két nagy szakaszra bontható.

Szervezetileg 1963 elejéig a tropikalizációs kérdésekkel a szigeteléstechikai kutatások keretében foglalkoztunk. 1963 elejétől a klimatizációs kutatásokkal a Klimatizációs osztály, jelenleg mint az Intézet önálló kutató osztálya foglalkozik.

A kutatások jellegét tekintve az első szakasz 1964 végéig tartott, s az volt a jellemzője, hogy — a mesterséges klímavizsgálati lehetőségek korlátozott volta miatt — a kutatási feladatokat a természetes vizsgálatok bonyolítása és kiértékelése képezte. A klimatizációs kutatások 1965-től számítható szakaszának fő jellemzője volt már, hogy a természetes vizsgálatok mellett fokozatosan előtérbe kerültek a laboratóriumi klímavizsgálatok, valamint a részletproblémák megoldására, ill. egy-egy kérdés mélyebb megvizsgálására irányuló kutatások.

E kis történelmi visszapillantás után a továbbiakban nézzük meg milyen főbb témákban, s milyen eredménnyel folyt Intézetünknel a klimatizációs kutató munka.

### 3. Kitételi állomásokon végzett klímavizsgálatok

#### 3.1 Nedves trópusi vizsgálatok Dél-Kínában

Nedves trópusi vizsgálatok Kantonban, Sanghajban és a Hajnan szigeten létesített kitételi állomásokon folytak. Időben két nagyobb vizsgálati szakaszról beszélhetünk; az első 1959—1961-ig, a második 1962-től 1964-ig tartott.

Az első vizsgálati időszakban nagyszámú szigetelőanyag-minta (közel 10 000 próbatest), kevesebb felületvédelmi minta és komplett berendezésként csak kis-teljesítményű motorok vizsgálata folyt.

A második vizsgálati időszakban már lényegesen kevesebb szigetelőanyag, ezzel szemben nagyszámú motorett és ugyancsak nagyszámú felületvédelmi minta vizsgálatára került sor. Komplett villamos berendezések ebben az időszakban is viszonylag kis számban kerültek vizsgálatra (új 0,6 kW-os motorok, FM 10 típusú feszültségváltók, VM 10 típusú mágneskapcsolók, túlfeszültség-levezetők, szakaszolókapcsolók).

1964 után már csak felületvédelmi minták és kismotorok speciális vizsgálata folyt. A vizsgálatok lényegében 1967 elején befejeződtek.

A dél-kínai vizsgálatok, a vizsgálati elképzeléseket tekintve — mai szemmel nézve — nem voltak teljeseek. Ennek ellenére azonban a vizsgálatok igen hasznosak voltak, az eredmények alapján olyan alapvető ismeretek birtokába jutottunk, amelyekkel azelőtt nem rendelkezünk. A vizsgálati eredmények igen jó támpontot szolgáltatottak nedves trópusra kerülő villamos berendezések anyagainak és védelmének megválasztásához, emellett a vizsgálatok más tudományos megfigyelésre is módot adtak. A vizsgálatok eredményét beszámolóikban dolgoztuk fel. Ezeket a beszámolókat nyomdai úton sokszorosítottuk és az érdekelt vállalatok rendelkezésére bocsátottuk. *A magyar minták vizsgálatáról 22 vizsgálati beszámoló készült.*

A dél-kínai vizsgálatok hat baráti állam együttműködési szerződése alapján folytak, ennek következtében tapasztalatainkat a baráti államok vizsgálati tapasztalatai, vizsgálati beszámolóit is gazdagították. Az együttműködés során hozzánk került vizsgálati beszámolókat — számszerűen 34-et — lefordítottuk és az erősáramú vállalatoknak megküldtük. A vizsgálati tapasztalatokat, az előzőekben ismertetteken túl, széles körben hasznosítottuk a klimatizációs szabványok készítésénél és trópusi tanácsadásainknál.

Az erősáramú villamos berendezéseknek még jelentős része nem került nedves trópusi vizsgálatra. A jövőben sorra kerülő természetes trópusi vizsgálatok során tehát feltétlenül meg kell vizsgálni, a fontosabb erősáramú berendezéseket, valamint az új szigetelőanyagokat, szigetelési rendszereket és védelmeket.

#### 3.2 Nedves trópusi vizsgálatok Guineában

A dél-kínai nedves trópusi vizsgálatok folytatásaként Vietnamban — a dél-kínainál szigorúbb nedves trópusi klímán — nagyszabású vizsgálatokat terveztünk. A vizsgálati előkészületek megtörténtek ugyan, de a vizsgálatok beindítására az ismert események miatt nem kerülhetett sor. Új nedves trópusi vizsgálati lehetőségek megteremtéséig ezért ideiglenesen Conakryban alakítottunk ki — viszonylag szerény — vizsgálati lehetőségeket. Conakryban egy szabadtéri és egy zárttéri kitételi helyen *szigetelőanyagok és felületvédelmi minták vizsgálatát* kezdtük meg. A kitételi hely a Conakry-i Posta Vezérigazgatóság telephelyén létesült. A minták vizsgálatát

a postánál dolgozó magyar szakértő végzi, szabad idejében. A minták évenként hazaszállításra, s idehaza mesterséges klímavizsgálatra kerülnek. A mesterséges vizsgálatokkal a természetes igénybevétel 1 évre vonatkoztatott összehatását kívánjuk mintegy előhívni. Azoknál a mintáknál pedig, amelyeknél a változás csak irreverzibilis jellegű, a változást a minták évenként történő hazaszállítása után ugyancsak idehaza regisztráljuk.

A Conakry-i vizsgálatokat 3 évre terveztük, jelenleg az 1 év után hazaküldött minták mesterséges klímavizsgálata folyik.

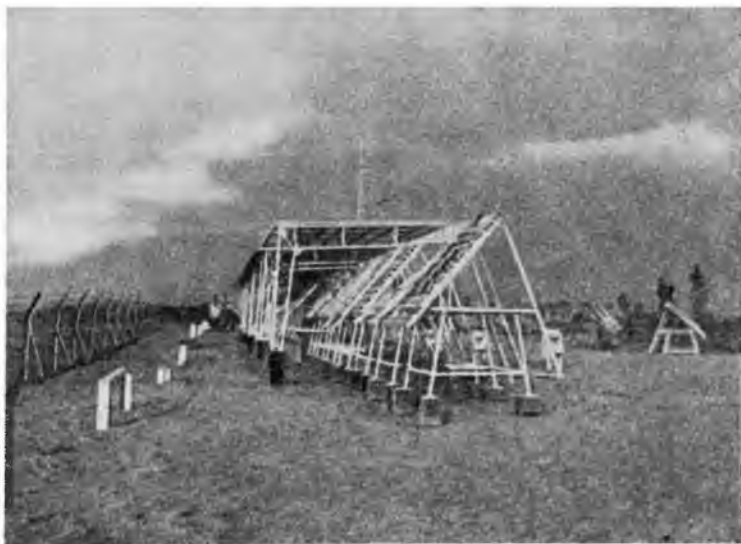
### 3.3 Természetes klímavizsgálatok hazai kitéli állomásokon

Az *orgoványi kitéli állomáson* a pornak és homoknak a villamosipari gyártmányokra gyakorolt hatását vizsgáltuk. Az állomás Magyarország egyik legszárazabb helyén, hatalmas homokos terület szélén létesült, széles körű vizsgálati és mérési lehetőséggel.

A természetes por-homok vizsgálatok KGST feladatként indultak, a magyar minták mellett tehát megvizsgáltuk a német, csehszlovák, lengyel berendezéseket és póbatesteket is. A természetes vizsgálatok párhuzamos vizsgálatként a mesterséges por-homok vizsgálatokat — kétoldali együttműködés keretében — az NDK-ban végeztük el. A vizsgálatok eredményéről kutatási zárójelentés készült, a tapasztalatok széles körű hasznosítása céljából pedig „A por és homok hatása a villamosipari gyártmányokra” c. tanulmányt publikáltuk.



30-1. ábra



30-2. ábra

Az orgoványi kitélteli állomáson jelenleg főleg felületvédelmek és kisebb számban szabadtéri villamos berendezések vizsgálata folyik.

*A badacsonyi kitélteli állomáson*, Magyarország egyik legnedvesebb helyén, ahol a nedvesség mellett a napsugárzás hatása is fokozottan érvényesül, különböző felületvédelmi bevonatrendszerek, technológiai kísérleti minták és szabadtéri felhasználásra kerülő szigetelőanyagok vizsgálata folyik.

*A Budapest Keleti pályaudvari kitélteli állomáson*, füstgázzal szennyezett légtérben, felületvédelmi mintákat vizsgáltunk. A kitélteli hely agresszív hatása a gőzmozdonyok fokozatos kivonása miatt olyan mértékben lecsökkent, hogy jelenleg a vizsgálatok továbbfolytatásának nincs értelme.



30-3. ábra

#### 4. Klimatológiai tárgyú kutatások

##### 4.1 Korrelációs kutatások

Az előzőekben már említettük, hogy a természetes vizsgálatok — amelyek ugyan a berendezések klímaalkalmasságáról közvetlen eredményt adnak — hosszadalmasak és költségesek. Berendezéseink valamely klímára való alkalmasságáról ezért laboratóriumi vizsgálatokkal akarunk megbizonyosodni, viszonylag gyorsan és nem túl költségesen. A probléma tehát az, hogy adott természetes klímához vagy klímaigénybevételi kategóriához milyen mesterséges klíma-igénybevételi módot, s annak milyen szigorúsági fokát kell hozzárendelnünk.

Ez a hozzárendelés a természetes és mesterséges klíma-igénybevétel bizonyos megfelelését jelenti. Nevezzük egyszerűség kedvéért magát a hozzárendelést a természetes klíma-igénybevétel és a választott mesterséges klíma-igénybevétel korrelációjának.

Kantonban — a természetes trópusi vizsgálatok kapcsán — a baráti államokkal közös kutatási témaként ilyen célból is folytak kísérletek, úgynevezett korrelációs kutatások. A téma keretében mi motorett vizsgálatokat végeztünk, s több ezer mérés eredményével szolgáltatunk adatokat a korreláció képzéséhez. A kantoni korrelációs kutatások témafelelőse az NDK volt, s e minőségében készítette el a korrelációs kutatások zárójelentését. Az NDK által összeállított zárójelentés végső megállapítása az volt, hogy az eddigi eredmények alapján a korrelációs probléma nem zárható le, hanem a kutatási koncepció módosításával, új közös vizsgálatok révén tovább kell folytatni a témát. A motorett-vizsgálatok eredményéről mi egy külön zárójelentést készítettünk.

Az új korrelációs kutatási témára vonatkozó szervezés Kantonban elkezdődött, a kantoni vizsgálatok viszonylag gyors lecsökkenése miatt azonban az elképzelések realizálására már nem kerülhetett sor. A korrelációs probléma maig sincs lezárva. A korrelációs kutatások nagyszabású vizsgálatot, nagyon sok mérést kívánnak, ezért csak közösen lehet azokat végezni.



## 4.2 Mezoklíma kutatás

A dél-kínai trópusi vizsgálatok kapcsán lehetőségünk volt olyan tudományos megfigyelésekre is, amelyek alapján a természetes klíma-igénybevételek szigorúsági fokának konkrétabb megfogalmazását adhattuk. A technikai klímaterületeken belül ugyanis az egyes helységek, földrajzi helyek klímája (mezoklíma), klíma-igénybevételek szigorúsága nagyon eltérő lehet, s ezt a berendezések kivitelénél, valamint a klímaalkalmasság vizsgálata esetén, a mesterséges klímavizsgálat szigorúsági fokának megválasztásánál figyelembe kell venni.

A mezoklíma-problémák vizsgálatára Sanghajban, Kantonban és a Hajnan szigeten végzett párhuzamos vizsgálatok révén volt lehetőség.

*A témára vonatkozó — kiadvány formájában megjelent — két tanulmányunk címe:*

Nedves trópuson üzemelő villamos berendezések szigetelő anyagainak kiválasztásával kapcsolatos főbb kérdések.

Trópusi felhasználású villamos berendezések tervezésével kapcsolatos klimatológiai ismeretek.

## 4.3 Mikroklíma-kutatás

A villamos berendezés klímaalkalmasságát alkatrészeinek alkalmassága, az alkatrész alkalmasságát pedig anyagainak és védelmének alkalmassága határozza meg.

Az alkatrészekre és az anyagokra a berendezés belsejében valamilyen mikroklíma hat. Hogy ez a mikroklíma milyen, milyen tényezőktől függ stb., azt csak minőségileg tudjuk vagy próbáljuk megítélni. E probléma alapvető kérdéseinek tisztázása céljából 1967. II. felében „Mikroklíma-kutatások” címmel kutatási témát indítottunk be. A téma célkitűzése:

- a zártági hiányosságok révén a berendezés belsejében kialakuló mikroklíma függése a környezeti klímától, a zártág fokától, a mikroklíma-tér nagyságától, a berendezés üzemétől, a mikroklíma-térben levő anyagokból származó agresszív gázoktól;
- a törvényszerűségek megállapítása alapján szabványos mikroklímák kialakítása.

## 5. Klímavédelmi tárgyú kutatások

### 5.1 Szigetelőanyagok klímaállóságának kutatása

Villamos berendezések klímaérzékenységét elsősorban a szigetelés érzékenysége szabja meg. A berendezés klímavédelmének megteremtéséhez tehát azt ismerni kell, ezért meg kell vizsgálni az alkalmazásra kerülő szigetelőanyagok ellenállóképességét a különböző klímaterhelésekkel és klíma-igénybevételekkel szemben. Kutatni kell a klímaigénybevételek hatására bekövetkező változások törvényszerűségét, ennek kapcsán az anyag érzékenységének vagy ellenállóképességének okát, a különböző anyagszerkezetek szerepét stb.

Mindezeket azért kell vizsgálni, kutatni, hogy az eredmények birtokában egyrészt a konstruktőr és technológus az alkalmazhatóság kérdésében állást foglalhasson, másrészt az anyagokat kutató, fejlesztő és gyártó új anyagok kidolgozásához adatokat nyerjen.

A dél-kínai trópusi vizsgálatok a szigetelőanyagok nedves trópusállóságát illetően

sok kérdésre választ adtak, sok kérdést azonban nyitva hagytak, de ezekkel a figyelmet a mélyebb, elemzőbb kutatások szükségére irányították.

A szigetelőanyagok klímaállóságának vizsgálatával komolyabban a mesterséges klímavizsgálati lehetőségek megteremtése után foglalkoztunk. Megvizsgáltuk az erősáramú gyártmányokban használt főbb szigetelőanyag-típusok (sajtolóanyagok, rétegelt termékek, öntőgyanták, szigetelőlakkok) nedves-melegállóságát, penészállóságát, napfényállóságát és esetenként hidegállóságát. Kísérleteket folytattunk heterogén szigetelőanyagok nedves-meleg légtérben való vízfelvételének törvényszerűségére vonatkozóan is. Az eredmények alapján — publikációkban — tettünk javaslatot gyakorlati célra alkalmas jellemző értékek mérési módszerére. Ugyancsak a vízfelvétel törvényszerűségének vizsgálatára vonatkoztak azok a kutatások, amelyeket különböző alaktényezőjű, védett és védetlen élő rétegelt termék próbatestekkel végeztünk.

Conakryban papír- és üvegvázás rétegelt termékek, sajtolóanyagok és öntőgyanták viselkedését vizsgáljuk nedves trópusi klíma körülményei között; párhuzamos mintákon pedig mesterséges klímavizsgálatokat végzünk. A természetes és mesterséges klímavizsgálat eredményét összevetve, a mesterséges klímavizsgálati módszert is kritika tárgyává kívánjuk tenni.

A kísérletekről a zárójelentéseken kívül olyan összefoglalókat és irányelveket is készítettünk, amelyek a gyakorlati szakemberek részére hasznos ismereteket és adatokat szolgáltatnak.

*Fontosabb kiadványaink:*

Villamos berendezésekben használatos sajtolóanyag típusok laboratóriumi klímavizsgálata. I-II.

Epoxi- és diallilftalátgyanta alapú sajtolóanyagok laboratóriumi klímavizsgálata.

Nedves trópuson üzemelő villamos berendezések szigetelőanyagainak kiválasztásával kapcsolatos főbb kérdések.

Szigetelőanyag választék trópusi kivitelű erősáramú gyártmányok számára.

## 5.2 Fungicid anyagok kutatása

A kutatás során, hosszas kísérletezés eredményeként sikerült megtalálni azt a fungicid anyagot, amely a hazánkban használatos bevonó- és itatólakkok (FAP, Vinuret BL—51, PX 21, XD) penészvédelmét megoldja.

A kutatási téma megoldásánál „*Eljárás új típusú fungicid hatású szerves oxikinolin származékok előállítására*” c. szabadalom került kidolgozásra. A kidolgozott fungicid anyag stabilitását eddig csak mesterséges vizsgálattal ellenőriztük, a fungicid hatás tartósságának megvizsgálására természetes trópusi vizsgálatok is szükségesek.

## 5.3 Korróziós kutatások

A villamos berendezéseken, az agresszív klíma-igénybevételek hatására keletkező korróziós károk, amellet, hogy esztétikai szempontból a legszembetűnőbbek — s így rontják az áru hitelét és értékét —, gyakran veszélyeztetik a berendezések üzembiztonságát vagy funkcionális képességét is.

A korróziós károk csökkentésére, a berendezések exportképességének fokozására, igen széles körű korróziós kísérletek indultak be. A korróziós problémák szinte minden iparágat érintenek, ezért célszerűnek tartottuk a vizsgálatokat kooperáció-

ban, közösen kidolgozott programok alapján, s a költségeket is megosztva végezni. Ezzel igen széles körű vizsgálati program végrehajtására nyílt lehetőség.

A programban *festékbevonat-rendszerek* (acélon és alumíniumon), *galvánbevonatok*, *műanyag bevonatok*, *acél felületelőkészítési eljárások*, *rozsdáátalakítók*, *kontakt korróziós minták*, *fémszórás és festék kombinációjával védett minták* vizsgálata szerepel.

A vizsgálatok a hazai és külföldi kitélti állomásokon folynak. Az eddigi eredményeket nyomdai úton készített kiadvány formájában, összefoglaló beszámolóként, irányelvekként tettük közzé, közkinccsé.

*Eddig megjelent kiadványaink:*

Felületvédelmi bevonatok nedves trópusi vizsgálata

Felületvédelmi bevonatrendszerek klímaállósági vizsgálatainak eredményei

Irányelvek trópusi klímaterületre szállítandó villamosipari gyártmányok vas és acélananyagainak festéssel való védelmére

Irányelvek trópusi klímaterületre szállítandó villamosipari gyártmányok vas és acélananyagainak műanyag bevonattal való védelmére

Irányelvek trópusi igénybevételre alkalmas galvánbevonatok készítésére.

#### **5.4 Erősáramú gyártmányok klímaállóságának kutatása és vizsgálata**

Az előzőekben ismertetett kutatások eredményei közvetlen vagy közvetve az erősáramú berendezések gyártmányfejlesztési problémáinak megoldását szolgálják. Új gyártmányok kifejlesztésénél vagy a régi típusok más klímára való alkalmassá tételénél szonban mindig merülnek fel új vagy részletproblémák. Ezek további kutatásokat, vizsgálatokat kívánnak. A minőségi szemlélet erősödése, a vevők igényességének fokozódása mind-mind műszakilag új és gazdaságos megoldása ösztönzőnek vagy kényszerítőnek. Egyre szaporodik tehát a kutatni, vizsgálni való. Évről-évre növekszenek az erősáramú vállalatok klimatizációs problémáinak megoldását célzó, úgynevezett vállalati kutatási témáink. Ezt érzékeltetik a következő számok is.

1962-ben *három*, 1964-ben *kilenc*, 1966-ban *tizenhat*, 1967-ben *huszonnégy* vállalati témán dolgoztunk. 1967-ben a közvetlen vállalati témák a klimatizációs témák közel 80%-át tették ki.

A vállalati kutatások és vizsgálati feladatok nagyon sokrétűek. Általában a következő feladatokat oldjuk meg vállalati témák keretében:

- méretezési és védelmi irányelvek, előírások kidolgozása adott villamos berendezés számára;
- adott villamos berendezés teljes klímavédelmének megoldása, s ehhez részletkérdések kutatása;
- villamos berendezések és alkatrészek klímaállóságának megállapítása természetes és mesterséges klímavizsgálatok útján;
- villamos berendezések és alkatrészek kulcsszám szerinti minősítő mesterséges klímavizsgálata.

#### **6. A klimatizációs kutatásokhoz kapcsolódó tevékenység**

A kohó- és gépipari miniszter M 16622/1965. sz. határozata alapján az iparági klimatizációs és felületvédelmi kutatások mellett Intézetünk koordinálja az erősáramú iparág ez irányú kutatási és fejlesztési tevékenységét, s ennek kapcsán:

- irányítja a hazai és külföldi klímaállomások munkáját;
- új trópusi kitérteli állomás szervezésénél képviseli az iparágat;
- klimatizációs és felületvédelmi tanácsadást végez;
- aktívan részt vesz a hazai (MSZ, KGSZ) és a nemzetközi (IEC, KGST) klimatizációs és felületvédelmi vonatkozású szabványosítási munkákban;
- klimatizációs és felületvédelmi témákban együttműködik az NDK, a CSSZK, az LNK testvérintézeteivel, ellátja továbbá a vonatkozó KGST kötelezettségeket.

A klimatizációs és felületvédelmi kutatásokban szerzett tapasztalatok hasznosítására alkalom nyílik szakirodalmi publikációk, tanfolyamok szervezése, előadások tartása (MEE, Mérnöktovábbképző Intézet, vállalati tanfolyamok), konferenciákon (hazai és nemzetközi) való szereplés, az OMFVB és MEE munkabizottságokban való közreműködés révén is.

# ENERGIAÁTALAKÍTÁSI ÉS ELEKTROFIZIKAI OSZTÁLY



# 31.

## A villamos energia közvetlen előállítás\*

DR. SIMÓ TAMÁS

### 1. Bevezetés

A nem hagyományos villamosenergia-előállítási eljárások között a kémiai energiát közvetlenül villamos energiává átalakító tüzelőanyag-elemek fejlesztését fokozott érdeklődés kíséri. Ezt többek között két fő szempont indokolja, éspedig egyrészt az, hogy a hagyományos villamosenergia-előállítás max. 35% hatásfokával szemben ezek az elektrokémiai készülékek elvben közel 100%-os, de gyakorlati modellek is már 60...70%-os hatásfokkal állítanak elő villamos energiát, másrészt az, hogy a városi közlekedésben rövidesen elkerülhetlenné válik a zaj- és égéstermékmentes, villamos üzemű gépjárművek alkalmazása, és ezek számára a tüzelőanyag-elem megfelelő energiaforrás lehet. Hasonlóképpen kívánatosná teszi ilyen készülékek kifejlesztését az a sajátosságuk, hogy mozgó alkatrészt nem tartalmaznak. További lehetséges alkalmazási területük pl. a kihelyezett, felügyelet nélkül működő áramforrások köre stb.

A „fűtőanyag” energiátartalmát közvetlenül villamos energiává alakító berendezések lehetséges fajtái elsősorban a felhasználandó fűtőanyag szerint osztályozhatók. Így kutatás tárgyát képezik a hidrogén, szénhidrogén, ammónia, hidrazin stb. üzemanyagú készülékek, ezeknek másik reagens anyaga egyaránt oxigén, tiszta állapotban vagy levegő formájában közvetlenül alkalmazva.

A tüzelőanyag-elemek kifejlesztésére irányuló kutatás az utóbbi évtizedben világszerte jelentékeny anyagi és szellemi ráfordítással folyik; ez a tény elsősorban a rendelkezésre álló energiahordozóink jobb hatásfokú átalakításának reményét és szükségességét tükrözi, valamint a kutatásban még megoldásra váró feladatok nagy fontosságát. A tüzelőanyag-elem kifszültségű egyenáramot szolgáltat, s ennek gazdaságos felhasználása az egyenáramú szabályozás veszteségeitől is függ. Az utóbbi évtized éppen ezen a területen hozott lényeges fejlődést az inverterek és a tirisztorok technikájának kialakulásával, így a kifszültségű, egyenáramú áramforrás is — amennyiben gazdaságos — beléphet már az energiaszolgáltatás megfelelő területeire.

Saját kutatásunkkal 1966-ban kapcsolódtunk be a tüzelőanyag-elemek kifejlesztésére irányuló erőfeszítésekbe. Irányát és terjedelmét úgy határoztuk meg, hogy részeredményeinkkel az energiaforrás távlati megvalósulását segítsük elő, alapkérdések tisztázásával.

\* Az osztály 1969. jan. 1-től a Félvezető Főosztály szervezetében működik.

## 2. Célkitűzés

A kutatási terület meghatározása a kutatás tárgyát képező fajta kiválasztását és az ezzel kapcsolatos elvi, valamint konstrukciós jellegű feladatok felmérését, kitűzését jelenti. Esetünkben a kiválasztott fajta az olcsó és bőven rendelkezésre álló, szénhidrogén üzemanyaggal működő rendszer.

Szénhidrogén üzemanyagból kiindulva hidrogén, vagy szénmonoxid-hidrogén keverék üzemű készülékek üzemeltethetők. A földgáz vagy ásványolaj eredetű, nyers tüzelőanyagot legtöbb esetben először  $\text{CO-H}_2$  keverékké kell elbontani, s az így nyert keverék a készülék egyes fajtáiban már villamos energiává alakítható. A szénhidrogén-bontást tiszta hidrogén termelésének irányába vezetve, hidrogén-üzemű készülékek működtetése is lehetséges szénhidrogén üzemanyagbázisra alapozva. Jóllehet a hidrogén üzemű készülékek fejlettségi színvonala jelenleg magasabb, mint a szénmonoxid—hidrogén keverék üzemű készülékéké, ezzel szemben áll a tiszta hidrogén előállításának jóval összetettebb technológiája és nagyobb beruházási költsége. Így célszerű a kutatást a szénhidrogének elsődleges bontásából származó, szénmonoxid—hidrogén üzemű készülékek kifejlesztésére irányítani. Minthogy megfelelő hatásfokú és élettartamú tüzelőanyag-elem is csak akkor üzemeltethető gazdaságosan, ha nagy fajlagos energiatartalmú tüzelőszert használ fel — különösen mobilis szerkezetbe épített készülékek esetén — a fejlesztés távolabbi céljával könnyen cseppfolyósítható vagy cseppfolyós üzemanyag hasznosítását kell kitzüni. Szénhidrogén üzemanyagok körében maradvá ez azt is jelenti, hogy a tüzelőanyag-elem berendezéseket pl. a legkönnyebben bontható cseppfolyós butánnal célszerű üzemeltetni.

$\text{CO-H}_2$  elegyekből közvetlenül villamos energia előállítása — megfelelő fajlagos teljesítménnyel — a legutóbbi időkig csak legalább  $700\text{...}800\text{ }^\circ\text{C}$  üzemhőmérsékletű, alkáliömladék elektrolitos tüzelőanyag-elemekkel volt lehetséges. Újabban azonban  $20\text{...}160\text{ }^\circ\text{C}$  üzemhőmérsékletű, folyadék elektrolitos rendszereket is sikerült ilyen üzemanyag hasznosítására létrehozni. A „hideg” rendszernek a nagyhőmérsékletűvel szemben számos alapvető előnye van szerkezeti megoldások, élettartam, teljesítménysűrűség szempontjából, hátránya viszont — a jelenlegi kutatási szinten — az elektródok katalizátorigényéből származó, nagyobb beruházási költség.

Fentiek figyelembevételével 1966 óta kutatásokat folytatunk sóolvadék elektrolitos („naghőmérsékletű”) és 1968-tól víztartalmú elektrolitos („kishőmérsékletű”) rendszerek területén.

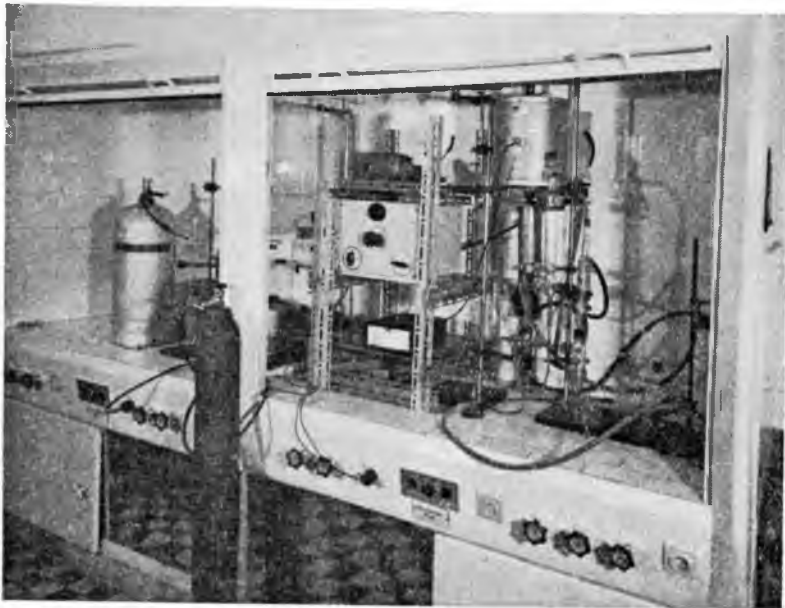
## 3. Nagyhőmérsékletű rendszer

### 3.1 Üzemanyagellátás

A szénhidrogéngáz üzemanyagú tüzelőanyag-elem kifejlesztésére vonatkozó kutatás egyik részfeladata a földgáz, mint nyers üzemanyag megfelelő hatásfokú átalakítása szénmonoxid—hidrogén gázeleggyé, ami a tüzelőanyag-elemben már közvetlenül hasznosítható. A földgáz bontása, az ún. reformálás folyamatának tanulmányozására kísérleti berendezést hoztunk létre, amely kísérleti tüzelőanyag-elem üzemanyagának szolgáltatására is alkalmas.

A kísérletek alapanyagául — az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszttel egyetértésben — a Hajdúszoboszlói Földgázüzemben leválasztott *n*-butánt választottuk.





31-1. ábra.

A vizsgált bontási reakció:



A reakció megfelelő katalizátorokkal, heterogén fázisban, 800...900 °C hőmérséklet-tartományban megy végbe. A kutatás tárgya olyan katalizátor és reaktorparaméterek kidolgozása volt, amelyek a fenti reakció feltételeit biztosítják, a többi lehetséges, de nemkívánatos reakció visszaszorításával (pl. metánképződés, szénkiválás stb.).

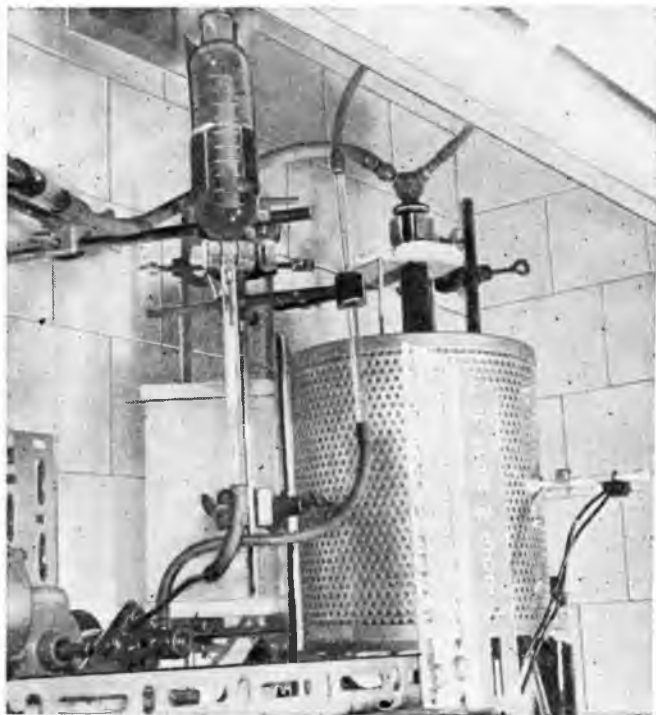
A kutatáshoz 1966. év elején kvarccsöves modell-reaktort építettünk az alapjelenségek tanulmányozására. Az érdembeli vizsgálatok végzésére azonban célszerűbb volt acélcső-reaktort tervezni, ill. létrehozni. Ezen a berendezésen az üzemi jellemzők már jól mérhetőek és a gyakorlati körülmények reprodukálhatók.

A 31-1. ábra a bontóberendezés összeállítását, a 31-2. ábra a reaktorfejet szemlélteti.

Mind a nyersgáz, mind a termék-gázok összetételét gázkromatográffal vizsgálják. Ezt a műszert a gázreformálás kísérleteinek kiértékelésére helyeztük üzembe, a reaktor építésével párhuzamosan (31-3. ábra). A bontóberendezés folyamatvázlata a 31-4. ábrán látható.

*Technológiai adatok:*

Katalizátorágy térfogata	80 ml
Reaktorcső mérete	∅ 28 × 24 mm
Reaktorcső anyaga	A 35.47
Vízadagolás	0...10 ml/min
Vízleválasztás	kétfokozatú, vízhűtéses
Üzemnyomás	1,1 atm



31-2. ábra

A legmegfelelőbb katalizátorral nyert termék-gáz összetétele (térsebesség: 385 l/h):

Összetevők	Összetétel, tf %
H <sub>2</sub>	65
CO	27
CH <sub>4</sub>	1,5
CO <sub>2</sub>	6
Egyéb	0,5

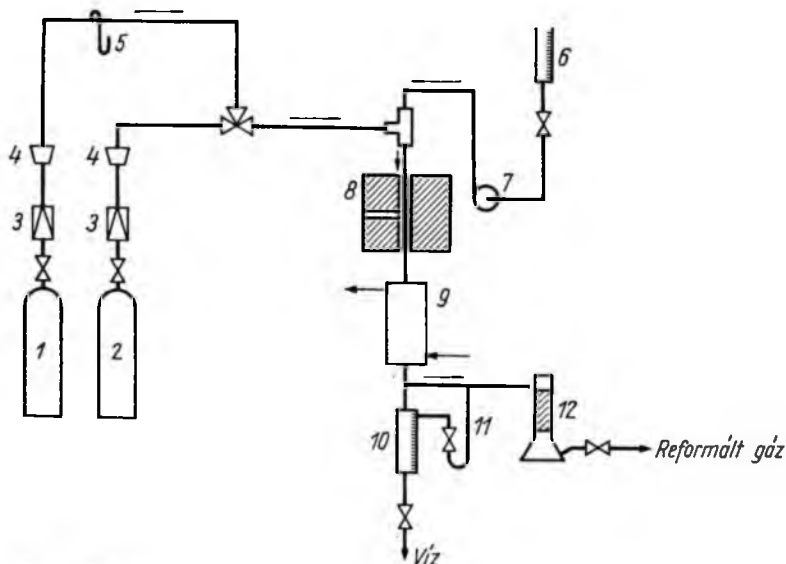
A reaktorban mért maximális térsebesség 500 l/h, ami 40 NI/h bután bontókapacitásnak felel meg. A berendezés alkalmas nagy hőmérsékletű tüzelőanyagelemek kísérleti példányainak üzemanyagellátására, különösen elektrokémiai konverzió- és hatásfokmérések céljára. Elektrod-kísérletek és élettartam-

vizsgálatok üzemanyagául jól használható a városi gáz is, amelyben az aktív alkotók relatív mennyisége a fentihez hasonló, de — kísérleteinkben csak hígítószerként viselkedő — nitrogént is tartalmaz.

Kishőmérsékletű rendszerek üzemanyag-ellátására szénhidrogénmentes gázszolgáltatást kell biztosítani. Ebből folyamatban van a Nagynyomású Kísérleti Intézettel együttműködve olyan berendezés tervezése és építése, amely metilalkohol bontásával tiszta szénmonoxid—hidrogén elegyet állít elő. Ez az újabb berendezés kutatásaink eszköze, azonban a gazdaságos üzemanyag-ellátás kérdéseit, műszaki vonatkozásaival együtt a kutatásunkban együttműködő Országos Kőolaj-és Gázipari Tröszt, valamint a Nagynyomású Kísérleti Intézet vizsgálja a külföldi irodalom és hazai adottságaink szem előtt tartásával.



31-3. ábra



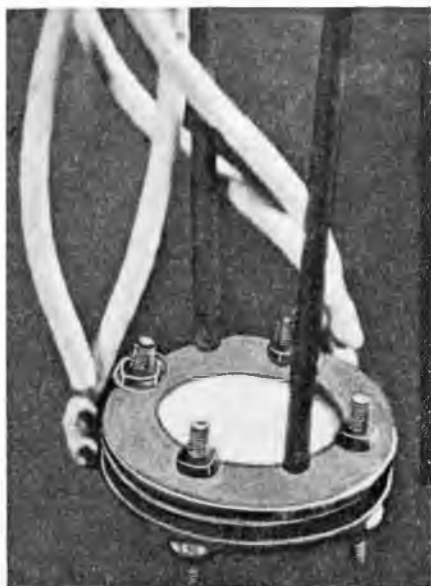
31-4. ábra

1n-bután; 2 nitrogén; 3 redukáló szelep; 4 áramlásmérő; 5 nyomásmérő; 6 vízadagoló tartály; 7 vízadagoló szivattyú; 8 csőreaktor; villamos kemence; 9 vízhűtésű hőcserélő; 10 kondenzátumszedő; 11 utókondenzátum-szedő; 12 kátránymentesítő torony

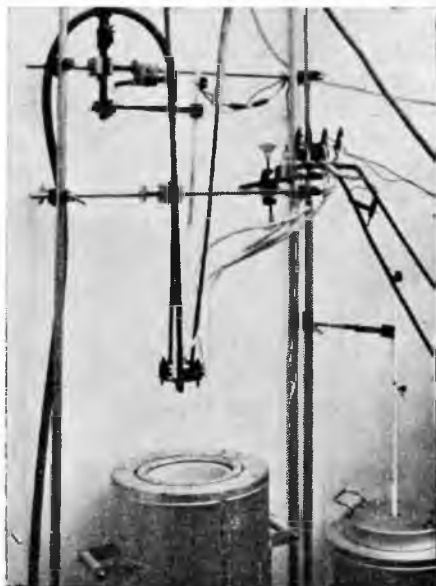
### 3.2 Szerkezeti anyag, kísérleti összeállítás

A kísérletek megkezdésének feltétele volt olyan szerkezeti anyag kidolgozása, amely sóoldadék-elektrolit korrozív hatásának a fennálló 700...800 °C-o üzemhőmérsékleten tartósan ellenáll. Ezt a feladatot a Vasipari Kutató Intézzel együttműködve oldottuk meg 1966—67. években. Erre a célra előállított különleges acélfajtákat, valamint felületi bevonatrendszereket vizsgáltunk sztatikus (elektrolitkorrozíó) és dinamikus (elektrokémiai korrozíó) viszonyok között. Az igénybevételek eredményét ismét a Vasipari Kutató Intézet minősítette metallográfiai és kémiai elemzési módszerekkel. Az anyagi összetételen túlmenően az egyes acélfajták előállítási módját is ilyen vizsgálati folyamatban kellett rögzíteni, pl. az öntés és a kovácsolás eredményeképpen létrejövő különböző kristályszerkezetek, a hőkezelési módszerek stb. hatását a korrozíóállóságra.

Ebben a közös kutatásban sikerült létrehozni olyan különleges acélfajtát, amely 2000...3000 üzemórán át — bevonat nélkül — jól ellenáll a termikus és a sztatikus korrozíós behatásnak. Nemesfémeket nem tartalmaz, így az elektrokémiai korrozíónak nem áll ellen; tekintettel azonban arra, hogy az elektródkivezetések mindenképpen nagyobb fajlagos vezetőképességű anyagból készülnek, a szerkezeti anyag üzem közben az áramvezetésben csak igen csekély mértékben vesz részt, tehát az elektrokémiai korrozíó ezen az úton jórészt kiküszöbölődik. A szóban forgó acéltípusból lemez és fólia előállítási technológiát is kidolgozott a Vasipari Kutató Intézet, ami a kutatás további szakasza számára a multiplikálásnak és a fémes szerkezeti anyag fajlagos mennyisége csökkentésének feltétele.

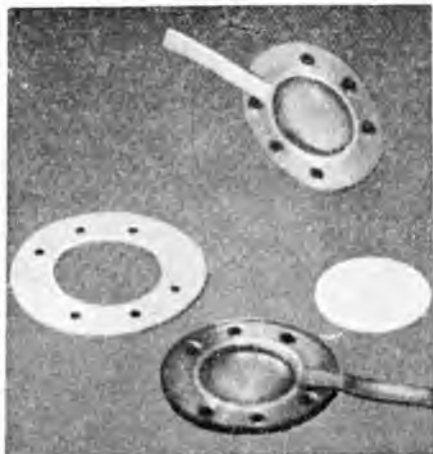


31-5. ábra



31-6. ábra

Fenti eredmények felhasználásával létrehoztuk 1966-ban az első, nyitott levegő-teres, 18 cm<sup>2</sup> felületű működő elemet (31-5. és 31-6. ábrák) majd a mindkét oldalon zárt rendszerű kivitelűt (31-7. ábra). A kivezetések és az áramszedő gyűrűk betétei ezüstből készülnek; a cellaperemek és az összeszorító csavarok villamos szigetelésére a 700...800 °C üzemhőmérsékleten különleges, csillám-alapú szigetelőanyag szolgál, ami a VKI Szigetelőtechnika I. osztályán létrejött korábbi kutatási eredmény felhasználásával készül erre a célra.



31-7. ábra

A kísérleti tüzelőanyag-elem berendezés az anódgáz (CO, H<sub>2</sub>) és a katódgáz (levegő, CO<sub>2</sub>) be- és kimeneti összetételének, alkotónkénti áramlási mennyiségének mérésére, szabályozására alkalmas. A gyakorlati mérést ezek, mint üzemi paraméterek mellett — az üzemhőmérsékletet is beleértve — a terhelési áram—feszültség-jelleggörbék felvétele jelenti. A fajlagos villamos teljesítmény és az élettartam összefüggéseinek vizsgálatára a belső ellenállást és a polarizációviszonyokat mérjük egy erre a célra létrehozott különleges berendezésen, amellyel az adott terhelésnél fennálló ohmos és polarizációs ellenállás-vesztések egymástól elkülönítve közvetlenül vizsgálhatók egy oszcilloszkóp képernyőjén.

### 3.3 Elektród—elektrolit rendszer, az invariancia-feltétel

A villamosenergia közvetlen előállítására irányuló kutatás voltaképpen feladata az elektród-elektrolit rendszerben végbemenő folyamatok megismerése és azoknak a kedvező teljesítménysűrűség irányába történő befolyásolása, továbbá a rendszer előállítási- és élettartam-gazdaságosságának javítása.

Nagyhőmérsékletű rendszerünk elektronvezető rétegeinek fő alkotója porózus ezüst, ionvezető rétege pedig MgO-dal pépesített Li-Na-karbonát eutektikum. Ez utóbbival, az elektróllal szemben támasztott követelmények a következők: az eutektikum olvadáspontja felett jó ionos áramvezető, az üzemhőmérséklet tartományában  $1...10 \Omega \text{ cm}$  fajlagos ellenállást kell biztosítani; az üzemhőmérsékleten a szilárd MgO vagy más inert töltőanyag hatására gázt át nem eresztő réteget kell képeznie, amely viszont eléggé képlékeny a gáztömítés céljára; ugyancsak az üzemhőmérsékleten a pép szilárdsága olyan legyen, hogy az elektrolit formatest önsúlya alatt deformációt ne szenvedjen; végül a felfűtések és lehűtések alkalmával rideg törések helyett csak képlékeny, reverzibilis alakváltozások történjenek.

E követelmények kielégítésére részletes kutatás tárgyává kellett tenni a MgO és más szóbjöhethető töltőanyagok korrózióállóságát, kristályszerkezeti adottságait, szemcseméretének hatását az ömledékpép szilárdságára, villamos vezetőképességére, a sómledék felületi feszültség- és nedvesítési körülményeit a két- és háromalkotós (Li-Na-K-karbonát) eutektikumok, valamint az inert vázanyag mennyiségarányának korlátait, az eutektikum és az inert alkotó lehetőleg tökéletes homogenizálásának módjait, a formatest kialakításának, zsugorítási- és hőkezelési technikájának paramétereit stb.

Az elektród kialakításmódjára vonatkozó kutatás két párhuzamos úton halad, és pedig a porózus elektród porkohászati módszerrel való előállítása és az elektrolit formatesttel utólag történő egyesítés, valamint az elektrolit-formatest felületén közvetlenül történő kialakítás eljárásával. Az elektronvezető és az ionvezető alkatrészekre vonatkozó kutatásban is együttműködünk a Vasipari Kutató Intézzel, ahol a fém fizikai, röntgenográfiai és laser-spektrográfiai mérések, valamint a porkohászati kutatás folynak.

A tüzelőanyag-elem működését tekintve galvánelem, de a primer elemektől abban különbözik, hogy alkatrészei az energiaátalakítás során változatlanok maradnak, invariánsak, s a villamos energia csak a folyamatosan betáplált reagens anyagokból, esetünkben gázokból képződik. Az elem invarianciája első közelítésben az élettartamban tükröződik, közelebbről vizsgálva a kívánt elektrokémiai reakció reverzibilitása, a heterogén fázisú katalitikus folyamat időben állandó sebessége, a polarizációk időben állandó minimális mértéke stb. is e gyűjtőfogalommal írható le. A kutatásban tehát a működő elem egészében kell az invariancia feltételeit alkatrészeiről-alkatrészre biztosítani. A kritikus elektronátmenet az üzemanyag (gáz)—elektronvezető (szilárd)-ionvezető (folyadék) háromfázisú határfelületen megy végbe, a vizsgált folyamatok számára tehát közelebbről ezeket a helyeket kell definiálni, és ezek geometriai, valamint fizikokémiai állandóságát biztosítani.

Saját munkánkban és azonos módon, a párhuzamos területen dolgozó külföldi kutatók közleményei szerint, a nagy fajlagos terhelhetőségű elem élettartam-korlátja az elektródfém termodinamikai sajátságaiából következik, nevezetesen a rendszerben meghatározott fázis- és oldódási egyensúlyokból. Így az alapproblémát tekintve két út lehetséges a megoldásra:

a) az elektród kialakítása nemesebb fémből (palladium, platina),

b) kevésbé nemes, de legalább ezüst elektródfém alkalmazása félvezető oxid promotorok beépítésével.

További elvben lehetséges megoldás lenne, ha a fajlagos terhelhetőséget  $100 \text{ mA/cm}^2$ -nél kisebbnek és az üzemmódot csak folyamatosnak engedjük meg. Kutatásunkban a nagyobb terhelhetőségű és szakaszos üzemmódú (ciklikus fel-fűtések-lehűtések) típust vizsgáljuk, éspedig a *b*) úton. Az irodalomban között 20...100  $\text{mW/cm}^2$  fajlagos teljesítményekkel szemben típusaink 100...150  $\text{mW/cm}^2$  teljesítményűek. Az élettartam növelésére irányuló kutatásban az elektródfém felületének termodinamikai állapotát változtatjuk félvezető oxidok beépítésével, és a várható elméleti eredmények mellett a nagyhőmérsékletű elemtípus gyakorlati megvalósíthatóságát is ezzel közelebb hozzuk.

#### 4. Kishőmérsékletű rendszer

A kishőmérsékletű elemtípusra vonatkozó, induló kutatásunkban a szénmonoxid—hidrogén keverék üzemanyagú rendszer elektródfolyamatainak és katalízis problémáinak vizsgálatát tűztük ki célul. A választott elemkonstrukció elektrolitja foszforsav, elektródjai pedig grafit-teflon vázas porózus hártayák, amelyekben a különböző aktív katalizátor-hordozópromotor rendszereket helyezük el. Az elem üzemhőmérséklete szobahőfoktól  $160 \text{ }^\circ\text{C}$ -ig terjed, szerkezeti anyaga teflon.

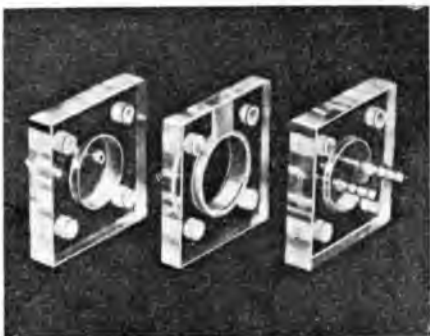
Ennek az elemtípusnak — várható előnyei ellenére — a kutatási eredmény-szintje viszonylag alacsony, azaz több elvi kérdés vár tisztázásra, mielőtt ilyen áramforrás-konstrukció gazdasági kérdései időszerűek lennének. Az invariancia feltétel kérdései a katalizátor aktivitásának problémakörébe tartoznak, esetünkben a szénmonoxidot tűrő aktív nemesfém-promotor rendszerek részletes vizsgálatával járunk hozzá a terület felderítéséhez.

A kutatás módszere az elektródtípusok ún. félcellában történő minősítése, polarizációs és coulometriás mérési rendszerekkel, továbbá egész elemeket alkotó elektródok részfolyamatainak követése különböző elektrokémiai vizsgálati eljárásokkal. A kutatásnak ebben az ágában az elektrokémia és a fizikai kémia mellett a heterogén katalízis ismeretanyagát is fokozottan igénybe kell venni a felmerülő kérdések megoldásához.

Gyakorlati méréseink során az anódokat tiszta hidrogénnel is, a katódokat oxigénnel és levegővel is minősítjük, ezzel a diffúziós és deszorpciós részfolyamatok

különválasztása válik lehetségessé. Ed-digi méréseinket  $80\text{...}100 \text{ mA/cm}^2$  határ-áramig végeztük szobahőfokon,  $6 \text{ cm}^2$ -es elektródokon, hidrogén-oxigén és hidrogén levegő teljes elemekben. Szobahőmérsékletű mérésekre szolgáló egyik elemünk szerkezeti összeállítása a 31-8. ábrán látható, ennek anyaga polimetil-metakrilát.

A kishőmérsékletű rendszerek területén, módunk volt a Siemens által gyártott hidrazin-oxigén elemtípuson is méréseket végezni. E mérések kapcsán az elem oxigénelektrodját saját előállítású aktív anyaggal is helyettesítettük, továbbá  $\text{O}_2$ -vel és levegővel való működését is minősítettük.



31-8. ábra

A konstrukció szobahőfokon  $30 \text{ mA/cm}^2$  határáramot tett lehetővé, ezen belül a polarizációk és az elektródok részfolyamatainak méréseit végeztük el. Az eredmény azt mutatta, hogy saját elektródanyagunk az eredetinek biztonsággal megfelel, az oxigénnek levegő alakjában való betáplálására kevésbé érzékeny, mint az eredeti. E típus továbbfejlesztésére részletes kutatást nem végeztünk, azonban a mérések tapasztalatai jól hasznosíthatók a kutatás metodikájában.

## 5. Összefoglalás

A villamosenergia közvetlen, kémiai energiából való előállítására irányuló kutatás keretében kétféle tüzelőanyag-elem rendszer kísérletei folynak, éspedig:

- $\text{CO—H}_2$  üzemanyagú,  $700\text{...}800^\circ\text{C}$  üzemhőmérsékletű, sóolvadék elektrolitos, valamint
- $\text{H}_2$  és  $\text{CO—H}_2$  üzemanyagú,  $20\text{...}160^\circ\text{C}$  üzemhőmérsékletű, vizes savoldat elektrolitos típusokon.

A kutatás konkrét területe az invariancia feltételeinek tisztázása és fenntartása. A tárgyra vonatkozó hazai és külföldi kutatási együttműködés a létrehozandó gazdaságos konstrukció céljait szolgálja.





# Tartalomjegyzék

20 éves a Villamosipari Kutató Intézet (Dr. Urbanek J.) .....	5
Dr. Urbanek János 20 éven át vezette a Villamosipari Kutató Intézetet (Dr. Gágyor P.) .....	19

## Szigeteléstechikai Főosztály

1. A VKI Szigeteléstechikai Főosztályának munkássága (Leyrer R.) .....	25
2. A villamos ívet igénybevételi tényezőként alkalmazó szigetelőanyag-vizsgáló berendezés gyártmánycsaládja (Miszlivetz J.—Ober F.) .....	31
3. Csillámpapír alapú villamos szigetelőanyagok (Z. Dr. Windisch K.) .....	43
4. Termoanalitikai módszerek a szigetelések öregedésének vizsgálatára (Dávid P.) .....	55
5. Hazai anyagokból előállított üveg-epoxi rétegelt szigetelőlemez speciális vizsgálatai (Vizér M.) .....	77
6. Poliésztergyanták új típusú katalizátorai (Kopniczky Sz.) .....	87
7. Epoband bandázsszalag (Dr. Fazekas G.-né—Koronczay L.) .....	101

## Villamos Berendezés Főosztály

8. A VKI Villamos Berendezés Főosztályának munkássága (Dr. Gádor L.) .....	113
9. Szekunder hálózatok szabályozása (Dr. Gádor L.) .....	127
10. Párhuzamosan kapcsolt diódáknak vagy tirisztoroknak a készülék felépítésétől függő áramosztási hibája (Marti S.) .....	139
11. Tirisztor-gyűjtőáramkörök (Nemeskéry G.) .....	161
12. Tirisztoros inverterek szükségáramforrások céljára (Füzesi E.—Kondor T.) .....	175
13. Újrendszert elektronikus—hidraulikus ívkemenceszabályozó (Berend E.—Boér J.—Böjthe L.—Dr. Vitályos L.) .....	187
14. Tirisztoros egyenáramú szabályozott hajtás (Ballók I.—Nemeskéry G.) .....	195
15. Nagy pontosságú, háromfázisú feszültség- és frekvenciaszabályozó berendezés (Mlinkó T.) .....	209
16. Fénycsövek élettartamának meghosszabbítása (Lakatos Gy.) .....	223
17. Aszinkron törpemotorok számítógépes tervezésének algoritmusai (Pál L.) .....	231
18. Tirisztoros kapcsolások rendszerezése (Dr. Kövessi F.) .....	251

## Félvezető Főosztály

19. A VKI Félvezető főosztályának munkássága (Dr. Lukács J.) .....	281
20. Véges kontaktusátmérő figyelembevétele a Valdes-féle fajlagosellenállás-mérés során (Gadányi P.) .....	287
21. Elektromágneses fémalakítás (Göbl N.) .....	301
22. Mérési összeállítások vezérelt diódák kikapcsolási idejének mérésére (Pálffy M.) .....	313

## Villamos Készülék Főosztály

23. A VKI Villamos Készülék Főosztályának munkássága (Dr. Mocsáry J.) .....	323
24. Áramkorlátozó olvadóbiztosítók olvadószal-konstrukcióinak összehasonlítása (Dr. Mocsáry J.) .....	341

25. Kiszűrésű szinkronkapcsoló készülék kidolgozása (Dr. Néveri I.)	349
26. Zárlati vizsgálatok egyenárammal (Csáthy K.—Dr. Selmeczi V.)	361
27. Ívöltási viszonyok váltakozóáramú kontaktorokban (Polgár T.)	379
28. Érintkezők visszapattanása (Bóday O.)	391
29. Váltakozóáramú működtetőmágnes jelleggörbéi és mérése (Magyar Z.)	409

### **Klimatizációs Osztály**

30. Klimatizációs kutatások (Sulyok J.)	425
---	-----

### **Energiaátalakítási és Elektrofizikai Osztály**

31. A villamos energia közvetlen előállítása (Dr. Simó T.)	437
--	-----

## **Содержание**

Исследовательскому Институту Электротехнической Промышленности 20 лет (Др. Я. Урбанек)	5
Др. Янош Урбанек в течение 20 лет руководил Исследовательским Институтом Электротехнической Промышленности (Др. П. Гадёр)	19

### **Главотдел Изоляционной Техники**

1. Деятельность Главотдела Изоляционной Техники ИИЭП (Р. Лейпер)	25
2. Гамма оборудований для испытаний изоляционного материала, использующая в качестве нагрузки электрическую дугу (Й. Мисливец—Ф. Обер)	31
3. Электрические изоляционные материалы, изготовленные на слюдяной бумажной основе (Др. К. Виндиш)	43
4. Использование термоаналитических методов при испытании изоляции на старение (П. Давид)	55
5. Специальные испытания слоистых изоляционных пластин из эпоксидного стекла, изготовленного из отечественных материалов (М. Визер)	77
6. Новые типы катализаторов полиэфирных смол (С. Копницки)	87
7. Бандажная лента Эпобанд (Др. Г-не Фазекаш—Л. Коронца)	101

### **Главотдел Электрических Оборудований**

8. Деятельность Главотдела Электрических Оборудований ИИЭП (Др. Л. Гадор)	113
9. Регулирование напряжения вторичных сетей (Др. Л. Гадор)	127
10. Погрешность распределения тока параллельно включенных диодов или тиристоров в зависимости от конструкции устройства (Ш. Марти)	139
11. Схемы зажигания для тиристоров (Г. Немешкери)	161
12. Применение тиристорных инверторов напряжения в качестве резервных источников тока (Э. Фюзеш—Т. Кондор)	175
13. Гидравлический электронный регулятор дуговых печей нового типа (Э. Беренд—Е. Бозр—Л. Бёйте—Др. Л. Витайош)	187
14. Тиристорный регулируемый привод постоянного тока (И. Баллок—Г. Немешкери)	195
15. Оборудование для регулирования трехфазного напряжения и частоты высокой точности (Т. Млинко)	209
16. Увеличение срока службы люминисцентных ламп (Д. Лакатош)	223
17. Алгоритм проектирования асинхронных микродвигателей с применением цифровых вычислительных машин (Л. Пал)	231
18. Систематизирование тиристорных схем (Др. Ф. Кёвеш)	251

## Главотдел Полупроводников

19. Деятельность Главотдела Полупроводников ИИЭП (Др. Й. Лукач) ..... 281  
20. Принятие во внимание конечного диаметра контакта при измерении удельного сопротивления Вальдес (П. Гаданьи) ..... 287  
21. Электромагнитная обработка металла (Н. Гоебл) ..... 301  
22. Схемы для измерения времени восстановления управляемых диодов (М. Палфи) .... 313

## Главотдел Электрических Аппаратов

23. Деятельность Главотдела Электрических Аппаратов ИИЭП (Др. Й. Мочари) .... 323  
24. Сравнение конструкций плавкой нити ограничителей тока (Др. Й. Мочари) ..... 341  
25. Разработка низковольтного синхронного переключателя (Др. И. Невери) ..... 349  
26. Испытание на короткое замыкание постоянным током (К. Чати—Др. В. Шелмеци) 361  
27. Условия гашения дуги в контакторах переменного тока (Т. Полгар) ..... 379  
28. Вибрация контактов (О. Бодаи) ..... 391  
29. Характеристики и измерение пускового магнита переменного тока (З. Мадьяр) .... 409

## Отдел Климатизации

30. Исследования в области климатизации (Й. Шуёк) ..... 425

## Отдел Преобразования Энергии и Электрофизики

31. Непосредственная выработка электрической энергии (Др. Т. Шимо) ..... 437

## Inhalt

- Zwanzig Jahre des Forschungsinstituts der Elektroindustrie (Dr. J. Urbanek) ..... 5  
Dr. János Urbanek leitete durch 20 Jahren das Forschungsinstitut der Elektroindustrie (Dr. P. Gágyor) ..... 19

## Hauptabteilung für elektrische Isolationsmaterialien

1. Die Tätigkeit der Hauptabteilung für elektrische Isolationsmaterialien des Forschungsinstituts der Elektroindustrie (R. Leyrer) ..... 25  
2. Erzeugnisgruppe von Isolierstoffprüfanlagen, die als Beanspruchungsfaktor den elektrischen Lichtbogen anwenden (J. Mislivetz—F. Ober) ..... 31  
3. Elektroisierstoffe auf Glimmerpapierbasis (Frau Z. Dr. K. Windisch) ..... 43  
4. Thermoanalytische Methoden zur Prüfung der Alterung von Isolierungen (P. Dávid) ..... 55  
5. Spezielle Untersuchungen der aus ungarischen Rohstoffen hergestellten geschichteten Glas-Epoxy-Isolierplatten (M. Vizér) ..... 77  
6. Neuartige Katalisatoren für Polyesterharze (Sz. Kopniczky) ..... 87  
7. Epoband Wickelband (Frau Dr. G. Fazekas—L. Koronczay) ..... 101

## Hauptabteilung für elektrische Einrichtungen

8. Die Tätigkeit der Hauptabteilung für elektrische Einrichtungen des Forschungsinstituts der Elektroindustrie (Dr. L. Gádor) ..... 113  
9. Regelung von Sekundärnetzen (Dr. L. Gádor) ..... 127  
10. Aufbaubedingte Stromverteilungsfehler bei parallelgeschalteten Dioden oder Thyristoren (S. Marti) ..... 139  
11. Steuereinrichtungen für Thyristoren (G. Nemeskéry) ..... 161

12. Thyristorwechselrichter als Notstromquellen (E. Füzési—T. Kondor) .....	175
13. Neuartige Elektronisch-hydraulische Regler für Lichtbogenöfen (E. Berend—J. Boér— L. Bőjthe—Dr. L. Vitályos) .....	187
14. Geregelter Gleichstromantrieb mit Thyristoren (I. Ballók—G. Nemeskéry) .....	195
15. Dreiphasen Spannungs- und Frequenzregler hoher Genauigkeit (T. Mlinkó) .....	209
16. Verlängerung der Lebensdauer von Leuchtlampen (Gy. Lakatos) .....	223
17. Algorithmus der Projektierung von Asynchronzweigmotoren durch Elektronenrechner (L. Pál) .....	231
18. Systematisierung von Thyristorenschaltungen (Dr. F. Kövessi) .....	251

#### Hauptabteilung für Halbleiter

19. Die Tätigkeit der Hauptabteilung für Halbleiter des Forschungsinstituts der Elektroindustrie (Dr. J. Lukács) .....	281
20. Berücksichtigung des endlichen Kontaktdurchmessers bei der spezifischen Widerstandsmes- sung nach Valdes (P. Gadányi) .....	287
21. Elektromagnetische Metallformung (N. Göbl) .....	301
22. Messanordnungen zur Messung der Freiwerdezeit von gesteuerten Dioden (M. Pálffy) ....	313

#### Hauptabteilung für Schaltgeräte

23. Die Tätigkeit der Hauptabteilung für Schaltgeräte des Forschungsinstituts der Elektroin- dustrie (Dr. J. Mocsáry) .....	323
24. Vergleich der Schmelzleiterkonstruktionen strombegrenzender Schmelzsicherungen (Dr. J. Mocsáry) .....	341
25. Entwicklung eines Niederspannungs-Synchron Draufschalters (Dr. I. Néveri) .....	349
26. Kurzschlussprüfungen mit Gleichstrom (K. Csáthy—Dr. V. Selmeczi) .....	361
27. Über das Verhalten der Lichtbogenlöschung in Wechselstromschützen (T. Polgár) .....	379
28. Prellung der Kontakte (O. Bóday) .....	391
29. Kennlinien und Messungen der Wechselstrom — Steuermagneten (Z. Magyar) .....	409

#### Klimatisationsabteilung

30. Forschungen auf dem Gebiet des Klimaschutzes (J. Sulyok) .....	425
--	-----

#### Energieumwandlung und Elektrophysikalische Abteilung

31. Die unmittelbare Herstellung elektrischer Energie (Dr. T. Simó) .....	437
---	-----

## Contents

Twenty years of the Research Institute of the Electrical Industry (Dr. J. Urbánek) .....	5
Dr. J. Urbánek was the leader of the Research Institute of the Electrical Industry for twenty years (Dr. P. Gágyor) .....	19

#### Department of Insulation Materials

1. The activities of the Department of Insulation Materials of the Research Institute of the Electrical Industry (R. Leyrer) .....	25
2. A series of insulation testing equipment using electric arc as a load factor (J. Miszlivetz— F. Ober) .....	31
3. Mica paper-base electric insulation materials (Z. Dr. K. Windisch) .....	43
4. Thermoanalytical method for the examination of the ageing of insulations (P. Dávid) ....	55

5. Special examinations on laminated glass-epoxy insulation boards made of domestic materials (M. Vizér) .....	77
6. New catalyst types for polyester resins (Sz. Kopniczky) .....	87
7. Epoband bandage tape (Dr. Mrs. G. Fazekas—L. Koronczay) .....	101

#### Department of Electrical Equipment

8. The activities of the Department of Electrical Equipment of the Research Institute of the Electrical Industry (Dr. L. Gádor) .....	113
9. Control of secondary networks (Dr. L. Gádor) .....	127
10. Current division errors of parallel-connected diodes or thyristors depending on the design of the device (S. Marti) .....	139
11. Firing circuit of thyristors (G. Nemeskéry) .....	161
12. Thyristor inverters for emergency supplies (E. Füzési—T. Kondor) .....	175
13. A new electronic-hydraulic arc furnace regulator (E. Berend—J. Boér—L. Bőjthe—Dr. L. Vitályos) .....	187
14. Thyristor-controlled d. c. drive (I. Ballók—G. Nemeskéry) .....	195
15. High-accuracy three-phase voltage and frequency control equipment (T. Mlinkó) .....	209
16. Extending the endurance of fluorescent lamps (Gy. Lakatos) .....	223
17. Algorithm of the computer design of asynchronous fractional electric motor (L. Pál) .....	231
18. Systematization of thyristor circuits (Dr. F. Kövessi) .....	251

#### Semiconductor Department

19. The activities of Semiconductor Department of the Research Institute of the Electrical Industry (Dr. J. Lukács) .....	281
20. Consideration of the finite contact diameter in Valdes' specific resistance measurement (P. Gadányi) .....	287
21. Electromagnetic metalforming (N. Göbl) .....	301
22. Measuring set-ups for measuring the turn off time of controlled diodes (M. Pálffy) .....	313

#### Switchgear Department

23. The activities of Switchgear Department of the Research Institute of the Electrical Industry (Dr. J. Mocsáry) .....	323
24. Comparison of the fuse element constructions of current-limiting fuses (Dr. J. Mocsáry) ..	341
25. Development of a low-voltage making-switch (Dr. I. Néveri) .....	349
26. D. c. short circuit testing (K. Csáthy—Dr. V. Selmeczi) .....	361
27. Arc quenching conditions in a. c. contactors (T. Polgár) .....	379
28. The bounce of the contacts (O. Bóday) .....	391
29. Characteristics of a. c. actuating magnets and their measurement (Z. Magyar) .....	409

#### Climatization Section

30. Research in design for environmental conditions (J. Sulyok) .....	425
---	-----

#### Energy Conversion and Electrophysical Section

31. The direct electric energy production (Dr. T. Simó) .....	437
---	-----





