

VKI

A VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET

KÖZLEMÉNYEI

7

1979

MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ

VKI

KÖZLEMÉNYEI

7

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET KÖZLEMÉNYEI

7

BUDAPEST, 1979

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

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET

KÖZLEMÉNYEI

7

KÖZZÉTESZI:

DR. LUKÁCS JÓZSEF

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

SZERKESZTETTE

a Szerkesztő Bizottság:

DR. BOGOLY ISTVÁN

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

†**DR. CSERNÁTONY-HOFFER ANDRÁS**

okl. villamosmérnök,
a műszaki tudományok kandidátusa,
a Szigeteléstechnikai Főosztály vezetője

DR. GANSZKY KÁROLY

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

KISS MIKLÓS

okl. gépészmérnök,
a Villamos Berendezés Főosztály vezetője

DR. KOCSIS ALBERT

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

DR. MOCSÁRY JÓZSEF

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

MOLNÁR ISTVÁN

okl. villamosmérnök,
a Villamos Technológiák I. Főosztály vezetője

DR. NÉVERI ISTVÁN

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

TAR FERENC

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

Felelős kiadó: Dr. Lukács József,
a VKI igazgatója

Megjelent a Műszaki Könyvkiadó gondozásában

ISBN: 963 10 2043 6

Felelős szerkesztő: Guller Jánosné villamosmérnök

A kézirat lezárva: 1978. november 30.

Műszaki vezető: Hegedűs Ernő

Tipográfus: Hegedűs Ernő

Műszaki szerkesztő: Mózer István

A könyv ábráit rajzolta: Baranyai Gábor és Pattantyus Á. István

Ívterjedelem: 31,375 (A5)

Példányszám: 800

Azonossági szám: 01002

036/1979. Franklin Nyomda, Budapest

Felelős vezető: Vágó Sándorné igazgató

A 30 éves Villamosipari Kutató Intézet köszöntése

Mint az Intézet felett felügyeletet gyakorló miniszterhelyettes a Kohó- és Gépipari Minisztérium, valamint a magam nevében szeretettel üdvözlöm az alapításának 30. évfordulóját ünneplő Villamosipari Kutató Intézet kollektíváját.

Kormányzatunk mind az Intézet alapításakor, mind további működése során azon alapelvből indult ki, hogy a kutatás lényeges és ki nem zárható eszköz az országban létrehozott termelési érték növelése szempontjából. Az intézeti munka hatásosságára lényeges befolyást gyakorol az, hogy a kutatómunka számára

- milyen célokat jelölünk ki,
- az ezzel kapcsolatos problémákat a kollektíva milyen eszközökkel, milyen gyorsan oldja meg,
- végül, milyen gyorsan sikerül a kutatási eredményt társadalmi terméké alakítani.

Céljelölések szempontjából az intézeti tevékenység kétszakaszban folyt. 1949-től 1968-ig a célokat a KGM és az Intézet vezetősége közösen határozta meg. 1968-tól kezdve az Intézet kapacitásának fenti meghatározási jellege célprogramok formájában kb. 15%-os részarányra redukálódott, míg a további domináns részét az ország erősáramú gyárai és egyéb ipari létesítményei határozták meg szerződéses útján.

Az 1949-es alapító határozat az Intézet tevékenységét az erősáramú ipar fejlesztésére koncentráltta, az 1968-as módosítás viszont az Intézet hatáskörébe utalta a villamos energia felhasználási területeivel kapcsolatos mindenfajta probléma megoldását.

Az intézeti munka problémamegoldó jellegére és minőségére vonatkozóan az Intézettel kapcsolatban álló hazai vállalatok, intézetek, valamint a KGST kooperáló partnerek is elismerően nyilatkoztak, főleg a megoldott problémák és megoldást végzők létszámának kedvező arányát kiemelve.

A társadalmi terméké változtatás — mint ismeretes — intézeti és gyári közös probléma. Az Intézet a maga részéről e kérdést ipari bevezetési osztály létrehozásával és más kezdeményezésekkel próbálta elősegíteni.

Az Intézet eredményei közül a nagyobb jelentőségűeket a következőkben emelem ki:

technológiai téren:

- az epoxigyanták széles körű alkalmazása sajtolóanyagként, öntőgyantaként és lakkokként;
- szigetelési rendszerek öregedésének vizsgálata és az ehhez szükséges berendezések kifejlesztése;
- nagyteljesítményű szilíciumdiódák és tirisztorok kifejlesztése;

- termovillamos ötvözetek kifejlesztése generátor és hűtési célokra;
- nemlineáris ellenállások kifejlesztése,
- meleg elektrodinamikusan technológiák kifejlesztése fémalakításra;
- áramkorlátozó biztosítók különböző típusainak kifejlesztése;
- vákuumkontaktorok technológiájának kifejlesztése;
- korszerű kerámia-fröccsöntési eljárás kifejlesztése;
- 1300 °C-on üzemelő kerámiai hőszigetelő anyag és kemencerendszer kifejlesztése.

áramköri vonatkozásban:

- elektrohidraulikus ívkemence-szabályozók kifejlesztése;
- 3000 LE-s villamos mozdony egyenirányítójának kifejlesztése;
- frekvenciaváltós közúti villamos motorkocsi táplálásának kifejlesztése;
- 6 MW-os duó hengerson szabályozásának fejlesztése,
- nagy megbízhatóságú áramellátó rendszerek kifejlesztése erőművi, számítástechnikai és vasútbiztosítási célokra.

Amikor az Intézet jövőjéről, valamint további munkájának kijelöléséről van szó, okvetlenül figyelembe kell venni az ország iparának és ezen belül az erősáramú iparnak a speciális helyzetét. Természetes, hogy az Intézetnek saját javaslataival, tanulmányaival fel kell készülnie arra, hogy a szocialista integráció keretében is, de a kapitalista piacon is megfelelő problémák megoldásával olyan cikkek piacra hozatalát tegye lehetővé, amelyek a jelenlegi cserearány-romlást kompenzálják, ill. a hozzáadott érték növelését jelentőssé teszik. Ugyanakkor azonban az erősáramú ipar vállalatainak is olyan problémák megoldását kell az Intézetre rábízni, amelyek nem marginálisak, megoldásuk és iparcikkben történő realizálásuk jelentős piaci konzekvenciát von maga után. Az Intézetben meglévő szellemi felkészültség és műszaki felszerelés rentábilis működtetése — az erősáramú ipar vezetőinek messzemenő támogatásával — az Intézet vezetőinek feladata.

Mint ismeretes, a kutatás az ipari versenyben bizonyítottan jelentős fegyver, ennek ésszerű felhasználása mind az erősáramú iparnak, mind hazánknek érdeke. Az országban meglévő szellemi és anyagi erőket egyirányúan, adott szelektív célok megvalósítására kell felhasználni.

E gondolatok jegyében kívánok az Intézet kollektívájának és vezetőségének további jó munkát és jó egészséget.

Müller István

Kohó- és Gépipari miniszterhelyettes

A 30 éves Villamosipari Kutató Intézet tevékenysége és eredményei

DR. LUKÁCS JÓZSEF

A Villamosipari Kutató Intézet 1979-ben ünnepli fennállásának 30 éves évfordulóját. Mindannyiunk előtt ismeretes az a tény, hogy egy ország jólétét a kereteiben létrehozott szellemi és fizikai munka mennyisége és minősége határozza meg. Az országunkban létrehozott érték felét az ipar adja és ezen ipari termelés 17%-át az erősáramú ipar szolgáltatja.

A Villamosipari Kutató Intézetre olyan problémák megoldása hárult, amely az erősáramú ipar termelési értékének növekedését, korszerű termékek előállítását szolgálták, szélesebb körben pedig minden olyan probléma megoldása, amely a villamos energiát, mint univerzális energiát különböző technológiai feladatok megoldására teszi alkalmassá.

A kutatóintézet munkáját három tényező határozza meg:

- megfelelő célok kijelölése;
- a célok elérése során felmerülő problémák megoldása (szűkebb értelemben ezt értjük kutatáson);
- a kutatás eredményének társadalmi terméké alakítása.

A kötetben munkatársaim a problémamegoldások folyamatáról és a létrehozott eredményekről adnak számot, részben áramköri, részben technológiai, részben konstrukciós aspektusból. Fontosnak tartjuk, hogy a továbbiakban három problémát részletesebben tárgyaljunk:

- milyen metodikával történjek a kutatási célok kijelölése;
- hogyan gyorsítható a megoldott problémáknak társadalmi terméké történő alakítása;
- milyen módon érhetünk el iparunkban a kutatás révén maximális konzekvenciát.

I. A célok meghatározása

Az előbbieken a kutatás komplex folyamatában a célok kijelölését, a problémák megoldását és az eredmény társadalmi terméké változtatását jelöltük meg. Érdemes ezen tevékenységek arányáról is szólni, akár pénzügyi, akár munkamennyiségi vonatkozásban. Az eddigi tapasztalatok szerint úgy véljük, hogy ha a kutatás teljes komplexumának munkamennyiségét 100 egységgel jelöljük, akkor a célkijelölés munkamennyiségileg 5 egységet, a problémamegoldás 15 egységet és a társadalmi terméké változtatás 80 munkaegységet képvisel. Láthatjuk, hogy a teljes folyamat munkamennyiségében a társadalmi terméké változtatás, ipari bevezetés kb. 5...6-szor annyi munkát igényel, mint maga a problémamegoldás folyamata.

Nem vitatható az, hogy a kutatóintézet tevékenységének irányításában a legkritikusabb rész a célok kijelölésének ténye és módszere. Két alaphelyzet lehetséges:

- a vonatkozó iparág kodifikált iparpolitikával bír és ebből a tevékenység iparcikkéig és az iparcikkek gyártásával kapcsolatos műszaki problémákig levezethető;
- amennyiben ilyen feltételek nem állnak fenn, akkor a kutatóintézet vezetése arra az álláspontra helyezkedhet, hogy olyan előre látható, de általános problémák megoldását dolgozza ki, amelyek igen nagy valószínűséggel a később kikristályosodó iparcikkekre adaptálhatók. Ezt a módszert nevezzük intervallumkutatás módszerének.

A fentiekben a hazai gyakorlatban fennálló két célkijelölési lehetőséget mutatunk be.

Teljes elvi alapon kezelve a kérdést, mind a kutatási cél kijelölése, mind a gyártási célok megjelölése terén azokat az elvi módszereket lenne szükséges alkalmazni, amelyeket prioritás—konzekvencia módszernek nevezhetnénk. Nem vitatható, hogy az emberiség gazdasági tevékenységében kezdettől egészen napjainkig szükséges a prioritások kijelölése, egyszerűen logikai alapon. Pl. nem szabad addig világszínvonalú villamos készülékek konstrukciójába befogni, amíg világszínvonalú alkatrészeink nincsenek, de továbbmenően nem szabad ilyen alkatrészeket tervezni, amíg nincsenek hasonló színvonalú alapanyagaink. A fentieket és ehhez hasonló prioritásokat röviden logikai prioritásoknak is nevezhetnénk.

A mai modern közgazdaságban azonban a prioritás meghatározása voltaképp a konzekvenciavizsgálatról csatolódik vissza. Elvét abban lehet összefoglalni, hogy első helyre olyan célkijelölésnek kell kerülni, amely cél elérésével, a probléma megoldásával és a kutatás eredményének társadalmi termékévé változtatásával a legnagyobb — természeti egységben vagy pénzegységben mérhető — konzekvencia jár.

A műszaki társadalomban ismeretes az a tény, hogy a probléma megoldására fordítandó idő általában laza összefüggésben van a termelési konzekvenciával.

A hazai kutatóintézetek céljainak kijelölésénél metodikai alapok tekintetében a következő kereteket vizsgálhatják:

- önálló piacorientáltság;
- dominánsan KGST integráció;
- más iparág termelését segítő vagy az erősáramú iparra zárt koncepció;
- karizmatikus termékekre történő kutatások;
- licenc alapon stabilizált koncepció;
- alacsony, közép vagy magas műszaki szintű célra történő orientáció.

A konkrétan kijelölendő kutatási témáknál azonban néhány elvi megkötöttséget mindenképpen figyelembe kell venni:

- a külföldi mintával azonos anyagmennyiség;
- zsaroló méretezés;
- olyan technológiák előnyben részesítése, ahol anyagnemesedés lép fel;
- reciklázási lehetőség biztosítása;
- lehetőleg karbantartásmentesség;
- a gyártás során a megmunkálást végző személy 1 munkaórájához lehetőleg 8...10 kWh álljon rendelkezésre.

A célok kijelölésénél igen erősen hangsúlyozni kell azt, hogy annak időben meg kell történnie. Sok esetben egész nyilvánvalónak látszik az, hogy bizonyos ipari pro-

duktumok gyártásától nem tekinthetünk el és annak szükségszerűvé válása kizárólag idő kérdése. A célok kijelölésénél tehát lényeges tényező az „időpozíció-faktor”. Ennek lényege a kutatás végső eredményének, tehát a társadalmi termék megjelenésének a világgiazi első termékhez viszonyított időpontja (ha egy germániumtranzisztor kutatásának és piacra hozatalának társadalmi értéke 1952-ben pl. 100 egység volt, akkor az mai szinten talán 5 egységgel jelölhető). Az időpozíció-faktort mind a kutatási célok kijelölésénél, mind a problémamegoldás időben történő megkezdésénél, főként azonban a társadalmi termék alakításánál kell a legnagyobb súllyal vizsgálni.

II. Kutatási eredmény társadalmi termékként való megvalósítása

A társadalmi termékké alakítás lényegében szervezési, beruházási és műszaki munka komplexuma. Az előbbieken említettük, hogy a társadalmi termékké változtatás munkamennyisége nyersen 5...6-szorosa a probléma megoldására fordított munkamennyiségnek.

Lényeges azt is megemlíteni, hogy az ipari bevezetésnél végzett munkát zömében más személyeknek kell végezniük, mint a probléma megoldását. A részvétel arányának megállapítása a bevezetés jellegétől (áramköri, technológiai, konstrukciós stb.) függően változhat, a problémát megoldó személyzet részvétele általában 5...20% között mozoghat.

A bevezetéssel kapcsolatban a következő paraméterek kijelölése lényeges:

- a termelés megindulásának időpozíciója;
- a be nem lépő termelés miatti kiesés számítása;
- milyen extraprofitsökkenés lép fel az idő függvényében;
- mit kell új beruházással és mit kell meglévő eszközök adaptálásával megoldani.

A bevezetésre megállapítandó időtartam objektív alapon a rendelkezésre álló műszaki kapacitás, ill. pénzügyi kapacitás függvénye. Hazánkban általában ez a gyakorlat, de ez nem fogadható el irányító elvnek. Hogyha hasonló termék külföldön már megjelent, akkor a prototípus és az ipari bevezetés között ott megvalósult időtartamot ajánlatos irányadónak venni. Az objektivitás érdekében rögzíteni kell az ipari bevezetéshez ott rendelkezésre bocsátott anyagi és szellemi eszközök volumenét. A beruházási kapacitás ilyen mértékű intenzifikálásának bizonyára akadnak ellenzői, de számukra csak a kb. 40%-ra nyitott magyar ipar versenyképességének lehetetlenülését és a később belépő termelésből adódó értékvesztéséget kell bemutatni.

Nézetünk szerint a társadalmi termékké változtatás 80...90%-ban a termelői egységek hatáskörébe tartozó feladat. Ennek ellenére a kutatóintézetek részéről is lényeges intézkedések szükségesek a jelenlegi nem kielégítő ütem javításához. Intézetünkön belül ehhez lényegében két módon járulunk hozzá:

- egyrészt a kutatói kapacitás ilyen célokra történő rezerválásával;
- másrészt ipari bevezetési csoport létrehozásával.

Az Intézet kutatási eredményeinek társadalmi termékként való megvalósítására és ennek rögzítésére olyan licencforgalmi rendszert dolgoztunk ki, amely inkább regisztráló, mint profit jellegű. Az általunk kidolgozott áramkörök, technológiák vagy konstrukciók használatával kapcsolatban a termelő egységekkel olyan szerződést kötünk, amely licencia fizetését írja elő, az eladási ár függvényében. Ezek az összegek az utóbbi években 5...6 millió Ft-ra rugtak, így nem vitatható, hogy az Intézet által fejlesztett technológiák, áramkörök a magyar iparban a termékekben realizálódnak. Törekszünk a fenti érték növelésére.

III. Maximális népgazdasági konzekvencia elérése

Úgy véljük, nem járunk messze az igazságtól, amikor a következő szöveges képletet felírjuk:

$$\text{Népgazdasági eredmény} = \frac{\text{a probléma megoldásának nehézsége}}{\text{a társadalmilag igényelt mennyiség}} \times \text{társadalmi preferencia}$$

Ha maximális eredményt akarunk elérni, akkor mindhárom tényezőnek nagy értékűnek kell lennie. Vizsgáljuk a tényezőket részletesen.

A külföldi gyakorlat azt mutatja, hogy nehezen megoldott műszaki problémák iparcikkben történő realizálása jelentős haszon forrása lehet. Az ilyen problémák szinguláris megoldása természetesen a termelőt monopol helyzetbe hozhatja. Közepesen nehéz, de a piacon újdonságnak számító probléma megoldása és realizálása esetén szakértők szerint a megvalósuló haszon 50%-ot is elérhet.

A szóban forgó téma megvilágítására mondjuk el lehetőségként pl. olyan villamos áramforrás megvalósítását, amely 1 kWh energiát 1...2 kg tömegben tárol. Ennek megléte lehetővé tenné a villamos repülőgépet, de talán helikoptert is. Mindannyiunk előtt világos, hogy egy ilyen megoldás — monopólium és természetesen gazdaságosság esetén — lényeges extraprofitot eredményez.

Második kérdésként említettük a tényezők között a társadalmilag igényelt mennyiséget. Miután akár természeti egységben, akár pénzben mért konzekvenciákat vizsgálunk, nyilvánvaló, hogy a teljes eredmény a fajlagosan elérhető eredmény és az eladható darabszám szorzata lesz. Az eladható darabszámot pedig a társadalom igényei szabják meg, tehát a megválasztandó kutatási témát a társadalmilag valóban igényelt és fizetőképes keresletre kell irányítani.

Végül — nem tekintve a beruházási javakat és főként a fogyasztási javakat tartva szem előtt — a maximális konzekvencia szempontjából nem érdektelen a társadalomnak az illető cikkekre vonatkozó preferenciája. Ez sok esetben objektív tényezőkkel nem magyarázható, több esetben divat, rosszul értelmezett társadalmi elvárások stb. indokolják.

Tekintettel arra, hogy a magyar ipar 40%-ra nyitott, árucikkeinkről az említett mértékben külföldi személyek állapítják meg azok értékét. Amennyiben ipari tekintetben maximális konzekvenciákra törekszünk, a kutatás megindításával egyidőben célszerű szem előtt tartani a külföldi társadalmi preferenciákat is.

*

Az elkövetkező oldalakon munkatársaim beszámolnak a legutóbbi években végzett problémamegoldásokról és eredményekről. Munkájukat, eredményeiket ehelyen is megköszönöm.

E bevezető vázlatosan igyekezett megvilágítani azokat a szempontokat, amelyek alkalmazásával a kutatás konzekvenciája maximalizálható. Mindnyájunk jólétének alapja az országban megvalósuló termelési érték. Csak ennek bázisán virágozhat mind a tudomány, mind a kultúra, mindnyájunk jóléte.

ERŐSÁRAMÚ
ELEKTRONIKA
ÉS IRÁNYÍTÁSTECHNIKA

1.

Áramforrás-inverterről táplált aszinkron motoros hajtás üzemi viszonyai és fordulatszám-szabályozása

BENCZE JÁNOS—DR. TÖRÖK ISTVÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

A váltakozóáramú, frekvenciaátalakítós hajtásoknak egy viszonylag új területe az áramgenerátoros táplálású inverteres hajtás. „Hagyományos” elődjéhez, a feszültség-inverterekhez képest számos előnyös tulajdonsága van.

Ezek közül a legfontosabbak:

- egyszerű felépítése, és
- az áramgenerátoros táplálásból adódó visszatápláló képessége.

A teljes fordulatszám-tartomány jó minőségű átfogásához különleges szabályozó-és vezérlőrendszer kidolgozása szükséges. E problémák tárgyalásával foglalkozik a közlemény.

РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧИСЛА ОБОРОТОВ В ПРИВОДЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ, ПИТАЕМОГО ОТ ИНВЕРТОРА ТОКА

Я. Бенце—д-р И. Терек

Резюме

Относительно новой областью приводов по переменному току с преобразователей частоты является привод с питанием от инвертора — генератора тока. Этот привод по сравнению с традиционным инвертором напряжения имеет ряд преимуществ, из которых важнейшими являются:

- простое построение,
- рекуперативная способность, благодаря схеме питания по генератору тока.

Для обеспечения качественного перекрытия полного диапазона числа оборотов потребуется разработка особой системы регулирования и управления. Статья занимается рассмотрением перечисленных проблем.

BETRIEBSVERHÄLTNISSE UND DREHZAHLREGELUNG VON UMRICHTERGESPEISTEN ASYNCHRONMOTOREN MIT EINGEPRÄGTEM STÄNDERSTROM

J. Bencze—dr. I. Török

Zusammenfassung

Ein verhältnismässig neues Gebiet der Frequenzumformerantriebe bildet derselbe mit eingepprägtem Strom. Im Vergleich zu seinem traditionellen Vorläufer, dem Spannungswechselrichter besitzt er zahlreiche günstige Eigenschaften. Die wichtigsten sind:

- sein einfacher Aufbau und
- seine aus der Stromeinprägung stammende Fähigkeit zur Nutzbremung.

Zur Erzielung eines breiten Drehzahlbereiches guter Qualität ist die Entwicklung eines speziellen Regelungs — und Steuerungssystems erforderlich. Mit der Erörterung dieser Probleme beschäftigt sich der Aufsatz.

OPERATION PERFORMANCES AND SPEED CONTROL OF CURRENT SOURCE INVERTER DRIVES

By J. Bencze — Dr. I. Török

Summary

A relatively new field of the a. c. frequency convertor drives is the current source inverter drive. In comparison with its „traditional” forgoer, the voltage inverter it possesses many advantageous properties. The most important ones are as follows:

- its simple circuit arrangement and
- its regenerative braking capability arising from the current source feeding.

In order to achieve a wide controlled speed range it is necessary to develop a special control system. The paper deals with these problems.

1. Bevezetés

A korszerű teljesítményelektronika és félvezetőtechnika, valamint az egyéb nagy megbízhatóságú elemek megjelenése ismét előtérbe helyezte a háromfázisú váltakozó-áramú motorok, de elsősorban a rendkívül előnyös tulajdonságokkal rendelkező aszinkron motorok alkalmazását változtatható fordulatszámú villamos hajtásokban.

A feladat megoldása, nevezetesen az aszinkron motorok jellemzőihez alkalmazkodó feszültség—frekvencia jelleggörbével rendelkező frekvenciaátalakító — áramköri elrendezését tekintve — többféle lehet. Ezen változatok között viszonylag új megoldás az ún. áramgenerátoros táplálású inverter, ill. frekvenciaátalakító. „Hagyományos” elődjéhez képest számos előnyös tulajdonsága van. Ezek közül legfontosabbak:

- az egyszerű felépítés és
- az áramgenerátoros táplálásból adódó visszatápláló képesség.

1977-ben egy 11 kW-os aszinkron motor táplálására alkalmas áramgenerátoros frekvenciaátalakító laboratóriumi példányát készítettük el.

E közlemény hasábjain rövid áttekintést adunk az áramgenerátoros táplálású váltóirányítós hajtás felépítéséről, üzemi viszonyairól, és ismertetjük azt a vezérlési módot, amelyet a kis fordulatszámok tartományában alkalmazunk a megbízható működés biztosítására.

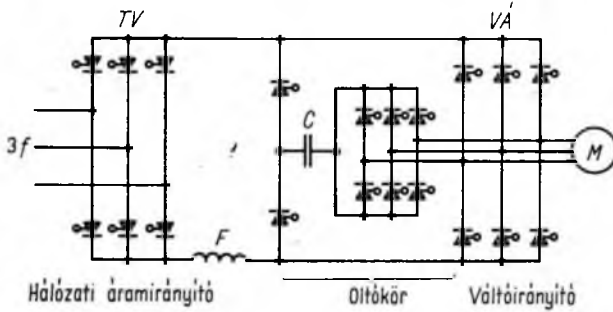
2. Az áramgenerátoros táplálású váltóirányító felépítése és szabályozása

Az áramgenerátoros frekvenciaátalakító hajtások fejlesztése napjainkban került előtérbe. Ezt bizonyítják az e témakörben közelmúltban megjelent publikációk, ill. a különböző nemzetközi konferenciákon elhangzott előadások nagy száma is.

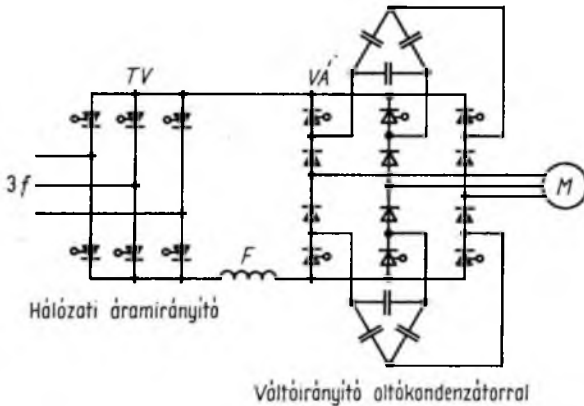
Különböző cikkek és előadások két alapvető áramköri elrendezést ismertetnek. Az egyik ilyen elrendezésben (1-1. ábra) közös oltókondenzátor és külön segédtrisztorokból álló kommutáló áramkör van, míg a másik (1-2. ábra), gyakrabban alkal-

mazott elrendezés fázisonként külön oltókapacitátorból és záródiódákból felépített kommutálóáramkört tartalmaz és fázissorrend-kommutációval üzemel. A kommutáció folyamatát mindkét esetben ugyanazon matematikai modell segítségével tudjuk leírni.

Az 1-1. ábra szerinti elrendezés a segédtirisztorok, valamint az annak vezérlési funkcióit ellátó áramkörök miatt lényegesen több áramköri elemet tartalmaz, mint az 1-2. ábra szerinti kapcsolás, ezért az intézetben fejlesztett kísérleti berendezés az 1-2. ábrának megfelelő kapcsolás alapján építettük fel.



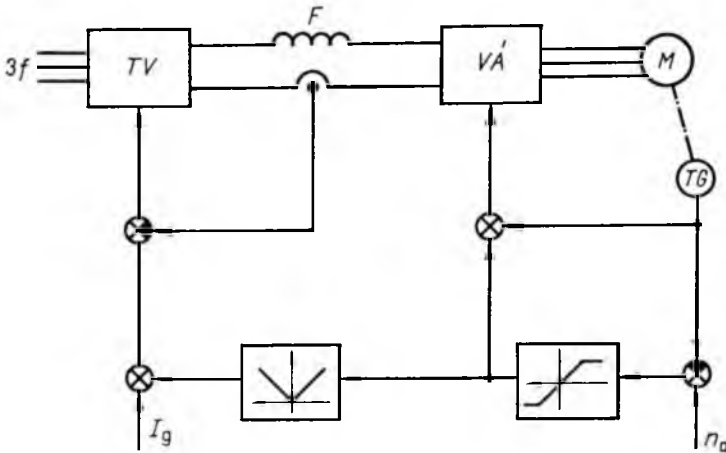
1-1. ábra. Áramgenerátoros táplálású frekvenciaátalakító áramköri elrendezése közös oltókörrrel



1-2. ábra. Áramgenerátoros táplálású frekvenciaátalakító áramköri elrendezése fázisonkénti oltókapacitátorral

A teljes rendszer szabályozását tekintve is számos megoldás ismeretes. Az általunk választott szabályozás bloksémája az 1-3. ábrán látható. A háromfázisú hálózatra csatlakozó TV teljesen vezérelt hídra F simító-fojtótekerccsen keresztül csatlakozik a $VÁ$ váltóirányító, amelynek kimeneti kapcsaira van kötve az M motor. A motor fordulatszámát a TG tachométerdinamó méri. A tachométerdinamó jelét az n_a fordulatszám-alapjelből kivonva és felerősítve kapjuk a szlipjelet. A szlipjel abszolút értéke szabja meg az áramalapjelet, amelyhez hozzá kell adni az I_g üresjárás áramot. Ebből az összegből kivonva a közbenső egyenáramú kör áramával arányos

jelet, a különbségi jellel állítjuk be a *TV* teljesen vezérelt híd gyújtáskésleltetését, ill. szabályozzuk a közbenső kör egyenfeszültségét úgy, hogy abban az előírt áram folyjon. Az inverter kimeneti frekvenciáját a szlip és a fordulatszám összegéből előállított jel határozza meg.



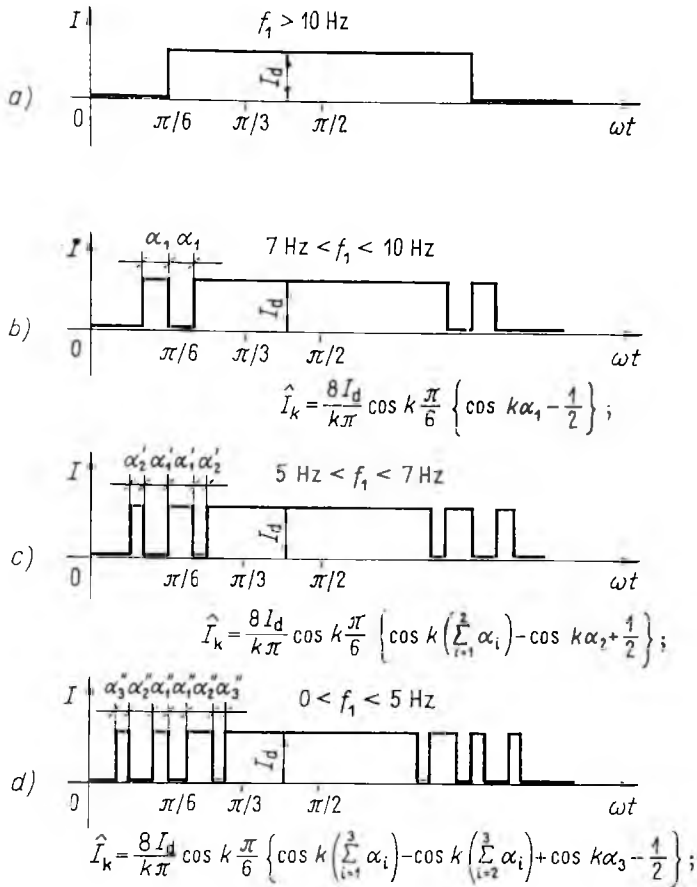
1-3. ábra. Áramgenerátoros táplálású frekvenciaátalakító szabályozási blokkismája

A rendszer felépítéséből adódóan a váltóirányító egyenfeszültségét a motor feszültségei szabadon alakítják ki. Ha a motor fordulatszáma a frekvenciaátalakító által előírt fordulatszám fölé kerül, vagyis a gép generátoros üzemmódban dolgozik, az egyenfeszültség előjelet vált. Az 1-3. ábra alapján vázlatosan ismertetett szabályozórendszer a *TV* áramirányítót inverteres üzembe vezérli, így az energia visszatáplálása automatikusan létrejön [1].

3. Áraminverterről táplált aszinkron motor üzemviszonyai a kis fordulatszámú tartományban

Az áramforrás-táplálásból adódóan kis fordulatszámokon a keletkező lüktetőnyomatékok hatására a motor „rázkódni” kezd. Ha ebben a fordulatszám-tartományban is tartósan üzemelni akarunk, a lüktetőnyomatékokat meg kell szüntetni, vagy olyan mértékben csökkenteni, hogy azok kis fordulatszámokon ne okozzanak káros jelenségeket. A lüktetőnyomatékok teljes megszüntetése gyakorlatilag nem lehetséges. A következőkben megoldást közlünk, amellyel a felharmonikus áramok által keltett lüktetőnyomatékokat kis fordulatszámokon is elfogadható érték alá csökkentjük. A módszer nem új. [2]-ben egy adott inverterkapcsolásra és szabályozási megoldáshoz kapcsolódó gyakorlati megvalósításra helyezük a súlyt és megvizsgáljuk a módszer erős-áramú kihatásait.

[2] alapján a fordulatszám csökkentésével a következő áramalakokat hozzuk létre a motorban (1-4. ábra). Az egyes áramalakok mellett feltüntettük a *k*-edik felharmonikus áram csúcsertékének kifejezését is, valamint azt, hogy mely frekvencia-tartományban használjuk.



1-4. ábra. Az egyes fokozatok áramalakjai

Az α , szögeket úgy állapítjuk meg, hogy az alsóbb rendű felharmonikus áramok zérusok legyenek.

Így	α_1 -hez	$k = 5;$
	α'_1 és α'_2 -höz	$k = 5, 7;$
	$\alpha'_{1'}, \alpha'_{2'}$ és $\alpha'_{3'}$ -höz	$k = 5, 7, 11;$

ezek a szögek [2]-ből adóttak.

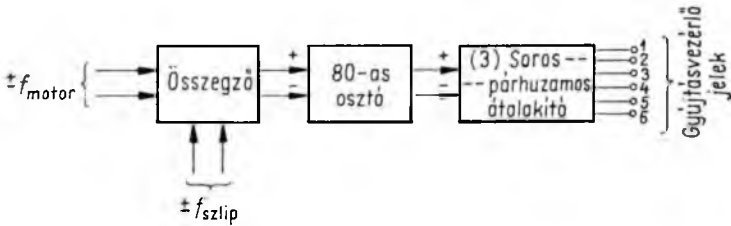
3.1 Gyűjtésvezérlő jel előállítás, gyakorlati megvalósítás

Az inverter gyűjtésvezérlő jeleinek előállítás az 1-5. ábra szerint történik.

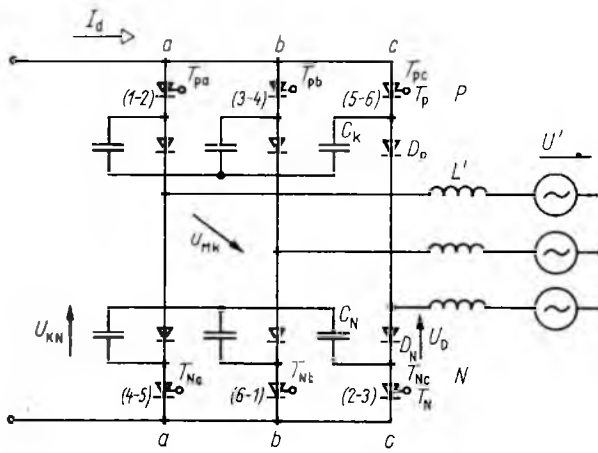
A motor fordulatszámát digitális tachométergenerátorral érzékeljük, amely 480 imp/ford osztású. Így f_{motor} impulzussorozat alakban van jelen, ugyanúgy az f_{szlip} is. A gyűjtésvezérlő jelek előállításához szükséges $6f_{\text{inverter}}$ frekvencia — mivel

egy perióduson belül hat tirisztort kell gyújtani — az összegeztet frekvencia 80-as osztásával áll elő.

Az egyes tirisztorok gyújtásvezérlő jeleit (3) soros—párhuzamos átalakítón keresztül (6-ig számláló reverzibilis számláló + dekóder) kapjuk meg. Reverzibilis számláló a két forgásirány miatt szükséges. Az így kapott gyújtásvezérlő jelek egy tirisztor vezetési idejének feléig, tehát 60° -ig jutnak a tirisztorra. Az indítás és reverzalás megkönnyítésére előnyösebb a 120° -os gyújtójelet, ezért két szomszédos gyújtásvezérlő jelet diódákon keresztül közösítettünk. A gyújtásrendet szemlélteti az 1-6. ábra, ahol az egyes tirisztorokra jutó közösített gyújtójeleket az 1-5. ábra gyújtásvezérlő jeleivel jelöltük.



1-5. ábra. A gyújtásvezérlő jeleket létrehozó áramkör blokkvázlata



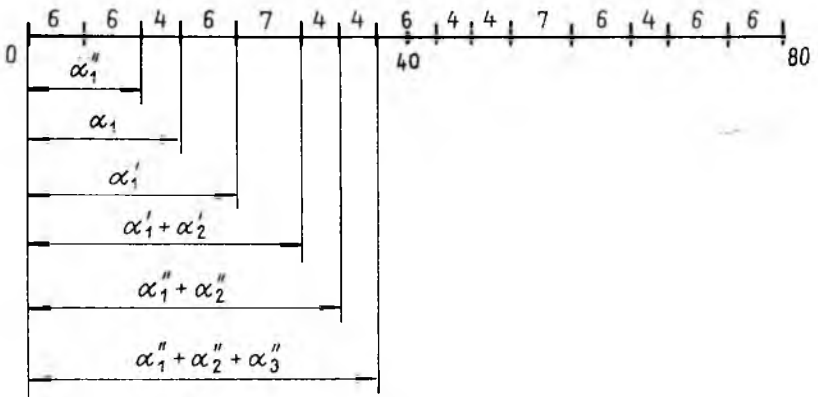
1-6. ábra. Az inverter és a motor helyettesítő kapcsolása

Legyen az 1-5. ábra (3) soros—párhuzamos átalakítója pl. a 3 állapotban. Ekkor az 1-6. ábra szerint a T_{pb} és a T_{nc} tirisztorok vezetnek. Ha most az átalakító bemenetére váltakozva negatív, majd pozitív jelet adunk, akkor ennek megfelelően az 1-6. ábra T_{pa} és T_{pb} tirisztor váltakozva kap gyújtójelet, hol a T_{pa} , hol a T_{pb} vezet az I_d egyenáramot. A 3 állapot normál esetben 60° -ig áll fenn. Most $0 \dots 30^\circ$ között a 2—3 állapotok között kapcsolgatunk, $30 \dots 60^\circ$ között eggyel előbbre, a 3—4 állapotok között. Ennek megfelelően az első esetben T_{pa} és T_{pb} tirisztorok vezetnek váltakozva, az utóbbi esetben T_{Nc} és T_{Na} tirisztorok. Most már csak az α_i szöveget kell beállítani. Az 1-5. ábra 80-as osztójában egy lépés a mondottak alapján $60^\circ/80 = 3/4$ -nak felel meg. A 80-as osztóban az α_i szögnek megfelelő számállapotokat érzékeljük

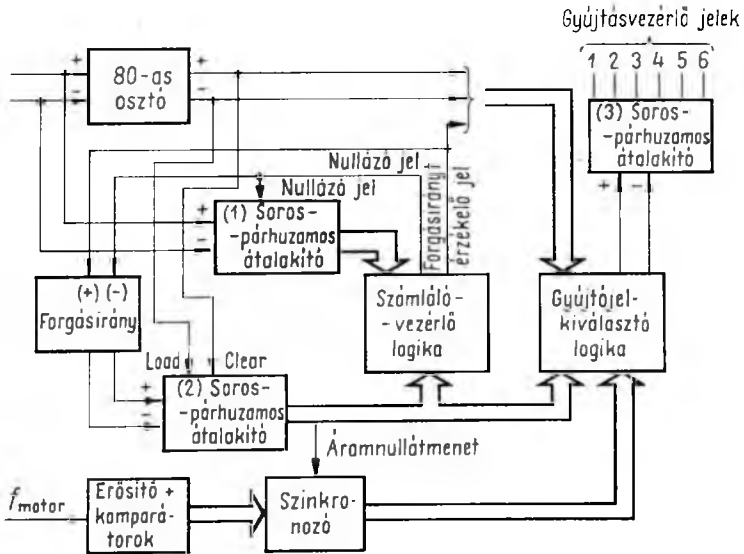
és megfelelő előjellel a (3) soros—párhuzamos átalakító bemenetére vezetjük. A 80-as számtartomány felosztását az 1-7. ábrán láthatjuk.

Ha minden egyes számot külön kapuval érzékelnénk, akkor a kétféle forgásirányban ez 26 számállapotot jelentve, 26 db nyolcbemenetű kaput igényelne. Az érzékelés kevesebb IC-vel is megvalósítható, a következők szerint. Nem magukat a számokat érzékeljük, hanem a két szám közötti különbséget számoljuk. Ezeket a szögérték-különbségeket számalakban bejelöltük az 1-7. ábrába. A megvalósítás az 1-8. ábrán látható.

Tegyük fel, hogy a 80-as osztó éppen 0-ról indul. Ennek bemenete egy másik (1) soros—párhuzamos átalakító (reverzibilis számláló) bemenetére is rákerül, így először az 1 jelű átalakító és az osztó számlálója együtt számol. A számláló—vezérlő



1-7. ábra. Az α szögek képzése a 80-as számtartomány felosztásával



1-8. ábra. A taktuson belüli szaggatást végrehajtó áramkör blokkvázlata

logikában be van állítva az első számlálandó taktus, mely az 1-7. ábrából láthatóan 6. Ha az 1 jelű átalakító 6-ig elszámolt, megjelenik a vezérlőlogikában egy nullázójel, amely ezt a számlálót nullázza, a 2 jelű átalakítót pedig a forgásiránynak megfelelően eggyel tovább lépteti, és ezzel beállítja a számláló—vezérlő logikát a következő számtartományra, amely esetünkben ismét 6. Az 1 átalakító 6 állásnál ismét nullázódik, a 2 tovább lép eggyel és beállítja a harmadik számtartományt, 4-et stb. A 2 soros—párhuzamos átalakító kimenetein párhuzamos alakban jelenik meg a számláló tartalma, a gyújtáskiválasztó logika meghatározza, hogy az adott állapot rákerülhet-e a 3 átalakító pozitív vagy negatív bemenetére, vagy sem. Ha igen, akkor a (3) átalakító kimenetén megjelenő gyújtójel a megfelelő irányba ugrik.

A motor fordulatszámát feszültség formájában érzékeljük, amely komparátorokat vezérel. A komparátorok pillanatnyi állása definiálja a kívánt fordulatszám-tartományt és ezzel együtt a kívánt áramalakot, így a gyújtójel-kiválasztó logika csak a kívánt 2 átalakító állapotait juttatja a gyújtásvezérlő 3 átalakítójára. Két hullám-alak közötti átmenet csak áramnullátmenetnél történhet zökkenőmentesen, ezért, ha a komparátorok állása megváltozott, azaz a fordulatszám már egy másik áramalakot igényel, a váltás csak áramnullátmenetnél jöhet létre. Így sima fokozatváltást érhetünk el mind gyorsuláskor, mind lassuláskor.

Negatív forgásirány esetén az 1 és 2 átalakítók is visszafelé számolnak, ezért mind a számláló—vezérlő logikában, mind a gyújtójel-kiválasztó logikában más kapuzásokat kell megvalósítani.

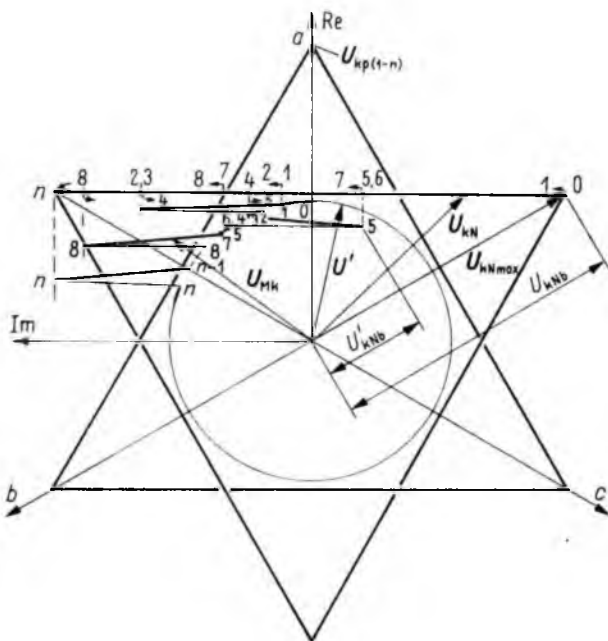
3.2 A kommutáció vizsgálata

Meg kell még vizsgálnunk a kommutációs viszonyokat a taktuson belüli kapcsolásokra. A kommutációs viszonyokat négyzöghullám-táplálás esetén [3]-ban megtaláljuk. Az érthetőség kedvéért átveszünk néhány fogalmat. A deltakapcsolású kommutáló kondenzátortelepet egyenértékű csillagkapcsolásúvá alakítottuk, a motort az ismert $L'-U'$ kapcsolással helyettesítettük. Az egyes mennyiségek ábrázolása Park-vektorral történik, így könnyebben tudjuk követni a háromfázisú mennyiségek változásait. A kommutációs folyamatok az 1-9. ábrán láthatók.

Negatív hídoldalon a b és c fázisok közötti kommutációkat vizsgálunk, amikor először a b fázis adja át a vezetést c -nek. A 0 pillanatban kezdődik a folyamat. A negatív oldali kondenzátorfeszültség-vektor a 0 pontban áll, míg az U' feszültség szintén a neki megfelelő 0 pontban. Az U' feszültség az ún. tranziens reaktancia mögötti feszültség, tiszta szinuszosnak tekinthető, ezért Park-vektora kör.

Mivel az a fázis kondenzátorában nincs változás, ezért a Park-vektor az a fázis tengelyére merőlegesen mozog. Az 1 pontban a kondenzátor- és az U' feszültségek $b-c$ vonali értékei, amelyek jelen esetben a vektorok imaginárius részével arányosak, egyenlők, így a negatív oldali c dióda (l. az 1-6. ábrát) kinyit, elkezdődik a *fedés*. A *fedés* [3] alapján gyakorlatilag a motor L' tranziens induktivitása és egy fázis C kapacitása alkotta rezgőkör negyedperiódus idejéig tart. A kondenzátor feszültsége az induktivitástól átvett energiának megfelelően alakul. A *fedés* alatt a b és c dióda is vezetésben van, ezért a kapacitáshűtés és a kondenzátorfeszültség $b-c$ vonali értékei megegyeznek. A 2 pontban megszűnik a motor b fázisában az áram, az első kommutáció befejeződött, $U_{MK} = U'$ lesz ismét. A 3 pontban a b fázis tirisztora kap gyújtójel, a c tirisztoron pedig megszűnik a gyújtójel. A kondenzátorfeszültség most ellentétesen változik, a *fedés* kezdete ismét a $b-c$ vonali értékek egyenlőségével esik egybe (4 pont). Látjuk, hogy az ezt követő c tirisztor gyújtásához már nem áll olyan nagy zárófeszültség a b tirisztor rendelkezésére, mint az első kommutáció esetében.

$U_{KN \max}$ értékét a taktuson belüli utolsó kommutáció határozza meg. Az oltókört tehát a taktuson belüli utolsó kommutációra kell méretezni, ekkor áll a legkisebb zárófeszültség és ezzel együtt a legrövidebb zárási idő rendelkezésre. Tekintettel arra, hogy ezt a közbülső kapcsolást csak alacsony fordulatszámoknál alkalmazzuk, az U' feszültség kicsi, az eltérés a zárófeszültségekben nem olyan nagy, mint azt az 1-9. ábra alapján gondolni lehetne.



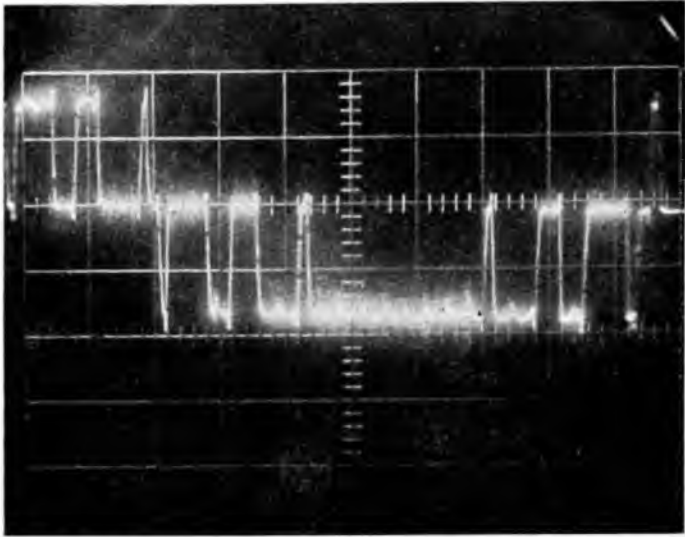
1-9. ábra. A kondenzátorfeszültségek és a motor kapcsolófeszültségeinek Park-vektora taktuson belüli kommutációk esetén

3.3 Mérési eredmények

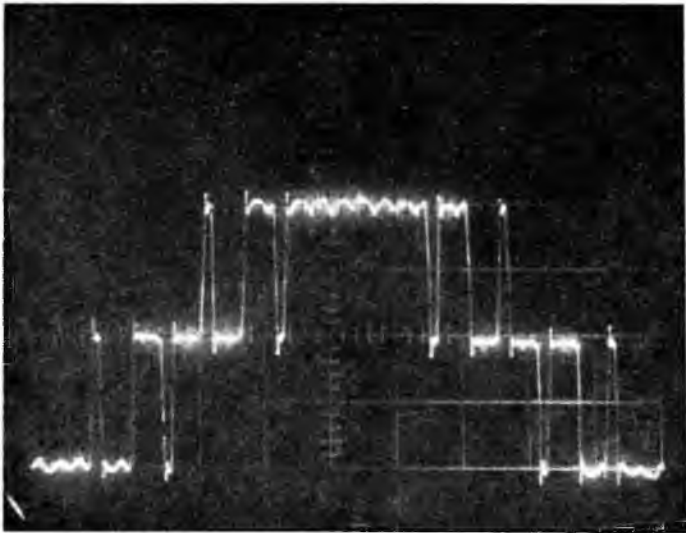
A fentiekben közölt kapcsolást megépítettük. A kísérleti berendezéssel 11 kW-os 110/190 V feszültségű DOR típusú aszinkron motort tápláltunk. Az inverter tirisztorai T 100-12 típusú szovjet tirisztorok voltak. A kommutáló kapacitás $40 \mu\text{F}/\text{fázis}$ volt. Az 1-10. – 1-13. ábrákon bemutatjuk a motoráram oszcilloszkópfelvételeit a négy különböző fordulatszám-tartományban. I_e minden esetben 50 A volt.

A többimpulzusú áramalak esetében üresjárásban időnként hibás kommutációk jöttek létre, az egyenkör rövidzárásba került. Terhelve a motort, ezek a hibás kommutációk eltűntek. A jelenség megfelel az elméletnek, hiszen üresjárásban a kondenzátorfeszültség kicsi, az áttöltődési idő nagy, még nem fejeződött be az egyik kommutáció, amikor a másik már elkezdődik, az oltandó tirisztor nem alszik ki. Nagyon kis fordulatszámon a hibás kommutációk gyakorisága csökken, de nem szűnik meg.

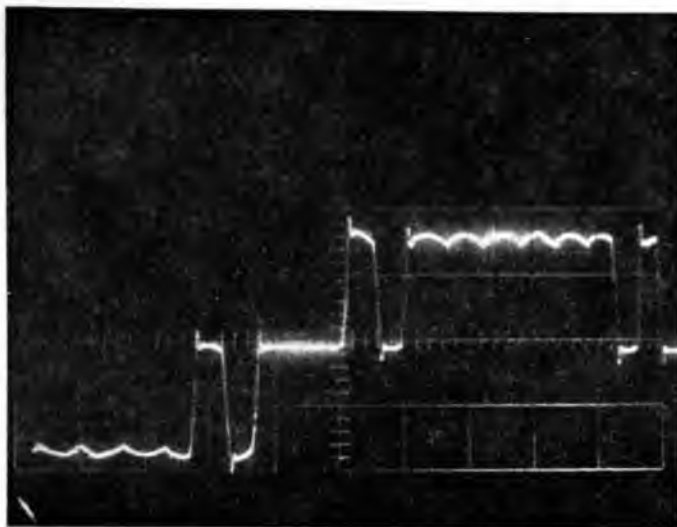
Az áttöltődési idő csökkentéséhez csökkenteni kellene a kommutáló kapacitás értékét, ez viszont csökkenti a tirisztorra jutó zárófeszültség idejét. Az üresjárási áram növelése nem vihető egy bizonyos határon túl, mert a motor telítésben üzemelne.



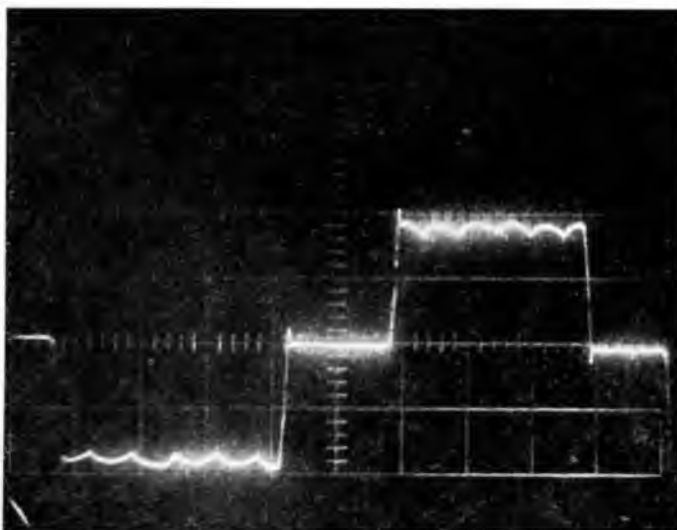
1-10. ábra. Áramalak $0 < f_1 < 5$ Hz esetén (10 ms/div; 30 A/div)



1-11. ábra. Áramalak $5 \text{ Hz} < f_1 < 7$ Hz esetén (10 ms/div; 30 A/div)



I-12. ábra. Áramalak $7 \text{ Hz} < f_1 < 10 \text{ Hz}$ esetén (5 ms/div; 30 A/div)



I-13. ábra. Áramalak $f_1 > 10 \text{ Hz}$ esetén (négyzöghullám) ($I_{\text{motor eff}} = 45 \text{ A}$; 5 ms/div; 30 A/div)

Kísérleteinkben a telítési határnak megfelelő üresjárású árammal és 35 μF fázis (Δ) kommutáló kapacitással értük el a legkedvezőbb eredményeket, bár még mindig nem szüntek meg teljesen üresjárás esetén a hibás kommutációk.

Az üresjárásban ritkán előforduló hibás kommutációk jelentős zavart nem okoznak a hajtás üzemében. A jó minőségű áramszabályozás megvédi a frekvenciaátalakító félvezetőit és félvezető biztosítóit egyaránt.

4. Konklúzió

Az előző fejezetben leírtak alapján a következő megállapításokat tehetjük az áramgenerátoros táplálású frekvenciaátalakító néhány jellemző, ill. alapvető tulajdonságai-
val kapcsolatban.

- Ellentétben a feszültségforrás-inverterekkel, az áramgenerátoros táplálású inverter üzeme nem választható külön a terheléstől, esetünkben az aszinkron motortól. A váltóirányító méretezéséhez a motor paramétereit, elsősorban annak szórási induktivitását és terhelőáramát figyelembe kell venni.
- Az áram kommutációja nem lehet gyors, mert a motor induktivitásán nagy feszültségek jönnének létre. Az időben elnyújtott kommutáció korlátozza az elérhető felső frekvenciahatárt (kb. 100 Hz), azonban azzal az előnnyel jár, hogy a váltóirányítóban közönséges hálózati tirisztorokat alkalmazhatunk.
- Az áramgenerátoros táplálásból adódóan jelentősen egyszerűsödik a rendszer védelme. Nem igényel különleges és költséges biztosítókat, a rendszer rövidzárbiztos.
- A visszatáplálás nem igényel ellenpárhuzamos egyenirányítós egységet, hiszen az áram mindig egyirányú, a teljesen vezérelt híd inverterüzembe vezérlésével létrejön a visszatáplálás.

A rendszer teljes határfoka kb. azonos a feszültségforrás-inverterekével: névleges fordulatszámon már 50% nyomatéknál eléri a 90%-ot, de 50% fordulatszám mellett, 50% nyomatéknál is eléri a 80%-ot.

Irodalom

- [1] *Tranoy, B.—de Fornel, B.—Grandpierre, M.*: Inversion of the rotating direction of a current-fed closed-loop controlled asynchronous machine. IFAC symposium on "Control in power electronics and electrical drives" 1977.
- [2] *Lienau, W.—Hellmann, A. M.*: Möglichkeiten zum Betrieb von stromeinprägenden Wechselrichtern ohne niederfrequente Oberschwingungen. ETZ-A 1976. Heft 11.
- [3] *Lázár J.—Marwan M.*: Frekvenciaváltós aszinkron motoros hajtás áramforrás jellegű inverterrel. Elektrotechnika. Budapest, 1977. március (81–93).
- [4] *Anders, Ék.*: Variable-speed a.c. drives for severe environments. ASEA Journal 1978. Vol. 51 pp 35–40.

2.

Vizsgálatok vontatási célú váltakozóáramú hajtások hálózati visszahatásának csökkentésére

BOGOSI GYÖRGY—LÁSZLÓ JÁNOS

ÖSSZEFOGLALÁS

A vontatásban alkalmazott frekvenciaátalakító hajtásokhoz a hálózati visszahatás csökkentésére, a teljesítménytényező javítására új rendszerű hálózati áramirányítót fejlesztettek ki (Vierquadranten — Steller — 4qS). Az Intézetben lefolytatott elméleti és egy kísérleti áramirányítón végzett gyakorlati vizsgálatok szerint a $16^{2/3}$ Hz-re kidolgozott eljárás 50 Hz-es hálózaton is alkalmazható bizonyos feltételekkel. Ezeket a feltételeket és a számítási, ill. mérési eredményeinket ismerteti a közlemény.

ИСПЫТАНИЯ НАПРАВЛЕННЫЕ НА УМЕНЬШЕНИЕ ОБРАТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СЕТЬ ПРИВООДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ ТЯГОВЫХ ЦЕЛЕЙ

Д. Богоши—Я. Ласло

Резюме

Для уменьшения обратного воздействия на сеть и улучшения коэффициента мощности разработана сетевой преобразователь тока по новой системе. По теоретическим и опытным испытаниям (опытные испытание выполнено на опытном преобразователе тока), проводимым в Институте, метод, разработанный на частоту $16^{2/3}$ Гц, при определенных условиях применим и к сети с частотой 50 Гц. В сообщении излагаются эти условия, а также результаты расчетов и измерений, проведенных в Институте.

PRÜFUNGEN ZUR VERMINDERUNG DER NETZRÜCKWIRKUNG DER FÜR TRAKTIONSZWECKE ANGEWANDTEN DREHSTROMANTRIEBE

Gy. Bogosi—J. László

Zusammenfassung

Zu den in der Traktion angewandten Drehstromantrieben wurde zur Verminderung der Netzurückwirkung und zur Erhöhung des Leistungsfaktors ein neuartiger Netzstromrichter entwickelt (Vierquadranten-Steller- 4qS). Gemäss den im Institut durchgeführten theoretischen und an einem experimentellen Stromrichter durchgeführten praktischen Prüfungen kann das auf $16^{2/3}$ Hz ausgearbeitete Verfahren unter gewissen Bedingungen auch am 50 Hz-Netz angewandt werden. Diese Bedingungen und Berechnungs-, bzw. Messergebnisse werden im Aufsatz dargelegt.

INVESTIGATIONS ON THE SUPPRESS OF MAINS DISTURBANCES OF A.C. TRACTION DRIVES

By Gy. Bogosi — J. László

Summary

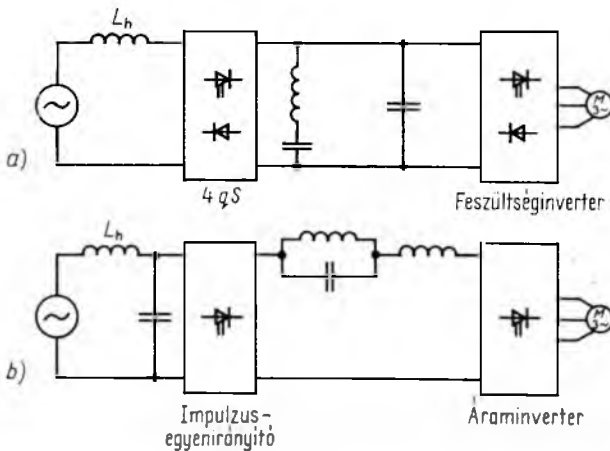
In order to suppress the mains disturbances of frequency converter drives used in the a. c. traction a new static converter was developed.

According to the theoretical investigations and practical tests of an experimental converter carried out in the Research Institute of the Electrical Industry the new method of improving the mains conditions developed originally for use in $16\frac{2}{3}$ cps mains can be used — on certain conditions — in 50 cps mains too. These conditions, calculation and test results are dealt with in the paper.

1. Bevezetés

A villamos vontatásban a növekvő járműteljesítményekkel nőnek az energiatermelés és -elosztás beruházási költségei, ezért nagyon fontos a járművek meddőteljesítmény-szükségletének csökkentése. A tirisztoros egyenáramú mozdonyok rossz ($\lambda = 0,75$) átlagos teljesítménytényezőjük miatt pl. 100 kw-onként 90 kvar meddő teljesítményt igényelnek. A DB 15 kV, $16\frac{2}{3}$ Hz-es vonalain eredményes megoldásokat fejlesztettek ki λ javítására [1] [2]. A legjobb eredményt aszinkron vontatómotoros kísérleti mozdonyon az ún. 4qS (Vierquadranten-steller) hálózatoldali áramirányítóval érték el, éspedig:

- $\lambda \approx 1$ a teljes terhelés- és sebességtartományban;
- a hálózati áram közel szinuszos, torzítása minimális;
- a hálózati $\cos \varphi$ tetszés szerint beállítható induktívra, kapacitívra vagy hatásosra;
- a hálózati feszültség ingadozása kiszabályozható, a közbensőköri egyenfeszültség állandó;
- energia-visszatáplálás minden további kiegészítés nélkül lehetséges;
- a 4qS a vontatómotorokat tápláló inverter egységeiből építhető fel.



2-1. ábra. A hálózati visszahatás csökkentésének lehetőségei aszinkron motoros vontatásnál

A teljes rendszer vázlatos kapcsolását a 2-1a ábra mutatja. A ma mindjobban előtérbe kerülő, áramforrás jellegű invertert a [3]-ban leírt impulzusüzemű egyenirányítóval lehet úgy táplálni, hogy $\lambda \approx 1$ és a hálózati áram közel szinuszos legyen (2-1b ábra).

Intézetünkben elméleti és gyakorlati vizsgálatokat végeztünk annak megállapítására, hogy a $16^{2/3}$ Hz-re kidolgozott eljárást 50 Hz-es hálózaton milyen feltételekkel alkalmazhatjuk.

2. Az áramirányítás elve

Az áramirányítást a hálózatra szinkronozott, egyfázisú, szinusz-impulzusmodulációs, kényszerkommutációs inverter (4qS) végzi (2-2a ábra). A hálózati periódus N számú, azonos hosszúságú részintervallumra oszlik. N -et kapcsolási aránynak nevezzük. Az egyes intervallumokban a bekapcsolási viszony szinuszosan változik, effektív értéke a K kivezérlés, amelynek maximális értéke a 4qS tulajdonságaitól függ.

$$K_{\max} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{T/N - t_{ki \min}}{T/N} = \frac{1}{\sqrt{2}} (1 - Nf t_{ki \min}). \quad (1)$$

A képletben $t_{ki \min}$ a tirisztorok oltásához és az oltókör újraeledéséhez szükséges minimális kikapcsolási idő, a hálózat frekvenciája f , periódusideje T . A 4qS bemeneti feszültségének alapharmonikusa:

$$u_{s1}(t) = \sqrt{2} K U_d \cos(\omega t + \delta). \quad (2)$$

A 4qS vezérlésével a K kivezérlés $0 \dots K_{\max}$, a δ terhelési szög $0 \dots 360^\circ$ között folyamatosan változtatható. Az alapharmonikus mennyiségekre a 2-2b vektorábrát rajzolhatjuk fel. A vonalkázott területek a hálózati áram, ill. az U_{s1} feszültség lehetséges és megengedhető értékeinek tartományát mutatják. Ha U_{h1} állandó, I_{h1} a teljesítmény-nyel arányos, így berajzolhatjuk az ábrába a P és Q teljesítmények tengelyeit. Látható, hogy egyaránt lehet a hálózatból hatásos teljesítményt felvenni és visszatáplálni, meddő teljesítményt felvenni és korlátozott mértékben leadni. U_{s1} és δ megfelelő beállításával minden terhelési állapotra $\cos \varphi = 1$ érhető el. Ekkor

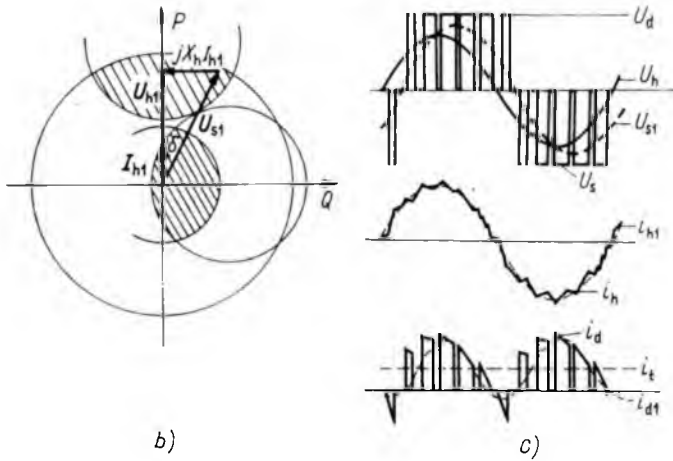
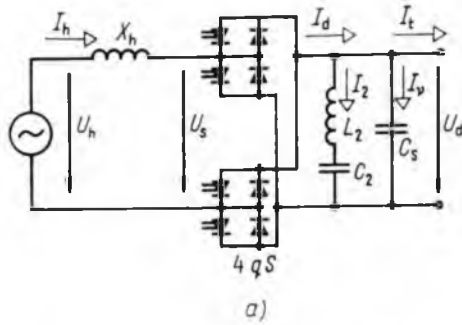
$$U_{s1} = \sqrt{U_h^2 + (I_h X_h)^2}. \quad (3)$$

A teljesítményegyenlőségek alapján írhatjuk, hogy

$$i_{d1}(t) = i_h(t) \frac{U_{s1}(t)}{U_d} = \sqrt{2} I_h \cos \omega t \cdot \sqrt{2} K \cos(\omega t + \delta) = I_h K [\cos \delta + \cos(2\omega t + \delta)]. \quad (4)$$

$i_{d1}(t)$ egyenáramú komponensét a terhelés, második harmonikus összetevőjét az $L_2 C_2$ szűrő veszi fel.

A 2-2c ábrán a fontosabb mennyiségek időfüggvényét rajzoltuk fel. Az ábrából látható, hogy az eddigiekben tárgyalt alapharmonikus mennyiségeken kívül a 4qS kapcsolási frekvenciájának megfelelő feszültség- és áramfelharmonikusok is jelentkeznek. Ezeket a váltakozóáramú oldalon az X_h hálózati fojtó, az egyenáramú oldalon a C_s kondenzátor veszi fel.



2-2. ábra. A 4qS a) kapcsolása, b) vektorábrája, c) fontosabb mennyiségeinek időfüggvénye

3. A hálózati fojtó meghatározásának szempontjai

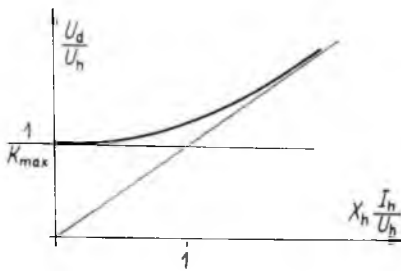
Fejezzük ki az (1) és a (3) egyenletekből U_d -t $U_{s1 \max} = K_{\max} U_d$ figyelembevételével:

$$U_d = \frac{\sqrt{U_h^2 + (I_h X_h)^2}}{K_{\max}} = \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{U_h^2 + (I_h X_h)^2}}{1 - N f t_{ki \min}} \quad (5)$$

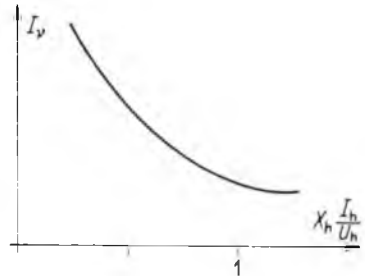
A 2-3. ábra szemlélteti az U_d egyenfeszültség változását X_h függvényében. Viszonylagos egységekkel számolva $X_h \ll 1$ tartományban U_d független a fojtó nagyságától, $X_h > 1$ tartományban pedig vele arányosan változik. Az $u_s(t)$ váltakozófeszültség felharmonikusai $U_v = K_v U_d$, ahol K_v az N kapcsolási aránytól és a K kivezérléstől függ. A feszültségfelharmonikusok áramfelharmonikusokat hoznak létre, amelyek a hálózati fojtón záródnak, a hálózat rájuk nézve rövidzárnak számít:

$$I_v = \frac{U_v}{v X_h} = \frac{K_v}{v} \sqrt{I_h^2 + \left(\frac{U_h}{X_h}\right)^2} \quad (6)$$

Ezt az összefüggést a 2-4. ábra szemlélteti. Ha $X_h \ll 1$, a fojtó növelésével a felharmonikusok csökkennek, míg $X_h > 1$ -nél a fojtó növelése hatástalan, U_d növekedése miatt az áramfelharmonikusok nem csökkennek lényegesen.



2-3. ábra. A közbenső körű egyenfeszültség a hálózati fojtó reaktanciájának függvényében



2-4. ábra. A hálózati áram felharmonikusai a hálózati fojtó reaktanciájának függvényében

Szinuszos hálózati feszültséget ($U_h = U_{h1}$) feltételezve a teljesítménytényező $\lambda = g_i \cos \varphi$, ahol $g_i = I_{h1}/I_h$. A 4qS vezérlésével $\cos \varphi = 1$ beállítható, így:

$$\lambda = g_i = \frac{I_{h1}}{\sqrt{I_{h1}^2 + \sum_{v=2}^{\infty} I_v^2}} \quad (7)$$

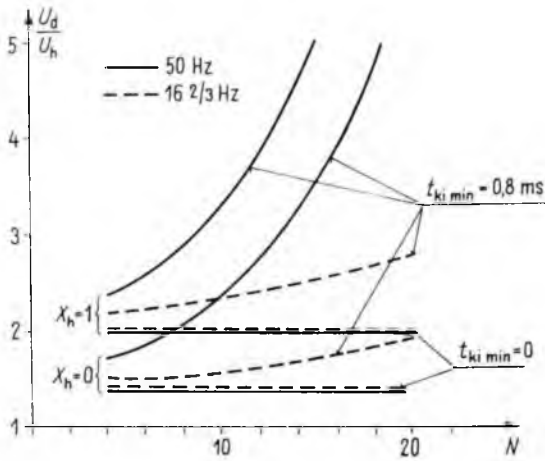
(7) szerint a teljesítménytényező $X_h \ll 1$ tartományban X_h -val nő, mert I_v csökken. $X_h > 1$ -nél λ alig függ X_h -tól.

X_h növelésével nő a δ terhelési szög. (4) alapján ekkor I_2 változatlan marad, de a második harmonikus szűrő teljesítménye U_d növekedése miatt nő. Az egyenáramú áramösszetevő csökken ($P_e = \text{állandó}$).

Az előzők alapján megállapíthatjuk, hogy a fojtó adott határon belüli növelése a hálózati áram felharmonikusait csökkentti, a teljesítménytényezőt javítja. 50 Hz-en kisebb méretekkel lehet adott X_h -t megvalósítani, mint $16^{2/3}$ Hz-en. Mint látni fogjuk a következő pontban, 50 Hz-en kisebb N -et kell választani, az ebből adódó teljesítménytényező-csökkenést X_h növelésével egyenlíthetjük ki. $16^{2/3}$ Hz-en $X_h = 0,3$ volt, 50 Hz-en $X_h \sim 0,5 \dots 0,6$ -del a kisebb kapcsolási arány ellenére is kielégítő áramalakot érhetünk el.

4. A kapcsolási arány megválasztása

$16^{2/3}$ Hz-en $N = 20$ volt. Ez 50 Hz-en is megvalósítható ugyan, de semmiképpen nem célszerű. Nagyobb hálózati frekvencián és nagyobb N -nel (1) szerint K_{\max} csökken, ezzel (5) alapján U_d nő. Az $U_d(N)$ függvényt a 2-5. ábrán láthatjuk különböző X_h és $I_{ki \min}$ paraméterekkel $16^{2/3}$ Hz és 50 Hz hálózati frekvencián. A görbéknek természetesen csak N egész értékeihez tartozó diszkrét pontokban van fizikai jelentésük. Az ábra szerint $N > 10$ tartományban U_d rohamosan nő, emiatt az áramfelharmonikusok nem csökkennek, λ nem javul, $N > 10$ alkalmazása tehát nem indokolt. 50 Hz-en $N = 10$ és $X_h = 0,5$ értékekkel hasonló hálózati áramalakot értünk el kísérleti beren-



2-5. ábra. A közbenső köri egyenfeszültség a kapcsolási arány függvényében

Paraméterek: hálózati frekvencia, hálózati fojtó, minimális kikapcsolási idő

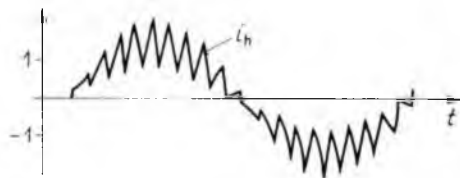
dezésünkkel, mint amilyent $16\frac{2}{3}$ Hz-en $N = 20$ és $X_h = 0,3$ értékek mellett közöltek (2-12. és 2-13. ábrák). 50 Hz-en nagyon lényeges a 4qS $t_{ki\ min}$ idejének kérdése. Az oltókörök tervezésénél törekedni kell ezek működésének gyorsítására.

Az U_d/U_h viszony megválasztásánál arra is tekintettel kell lenni, hogy a 4qS-t lehetőleg a terhelésoldali inverter egységeiből építhessük fel. A 4qS-nél egy fázison kell átvinni a teljesítményt, ezért szükség van több egység párhuzamos kapcsolására. Ekkor a teljesítménytényezőt hatásosan növelhetjük, ha két egység áramát $180^\circ/N$ szöggel eltoljuk, és ezzel a felharmonikusok nagy részét elimináljuk. A DB készülő BR 120 prototípus mozdonyán négy egység lesz párhuzamosan kötve és eltolva vezérelve [4].

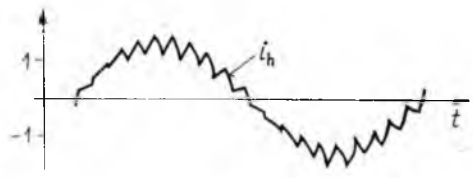
A második harmonikus szűrő 50 Hz-en kisebb méretekkel valósítható meg. A C_s szűrőkondenzátort elsősorban a terhelésoldali inverter határozza meg.

5. Számított és mért áramalakok

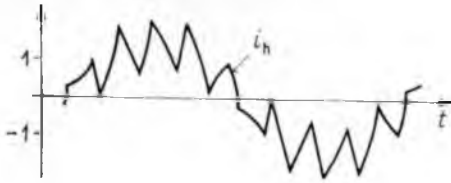
A 2-6. – 2-9 ábrákon a hálózati áram számítógéppel meghatározott görbéit láthatjuk, a 2-10–2-12. ábrákon egy 10 kVA-es kísérleti berendezésen mért áram oszcillogrammokat mutatunk be, végül a 2-13. ábra az irodalomban közölt $16\frac{2}{3}$ Hz-es áramot szemlélteti a két egység eltolt vezérlésével kapott eredő árammal együtt.



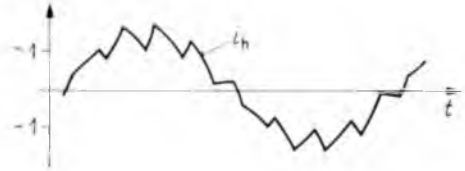
2-6. ábra. Számított áramalak
 $I_h = I_{hn} = 1$; $X_h = 0,2$; $N = 20$



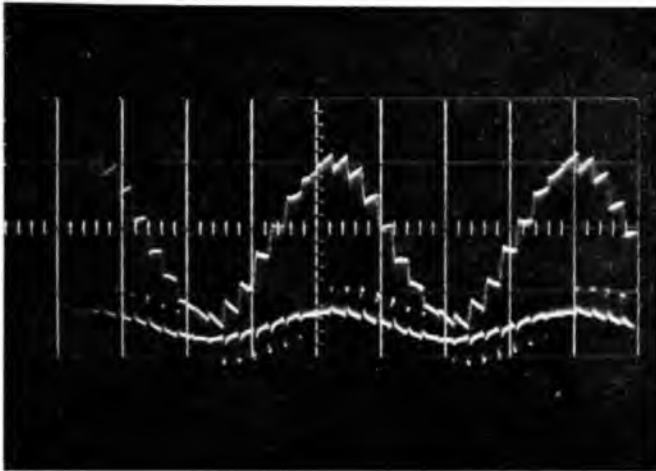
2-7. ábra. Számított áramalak
 $I_h = I_{hn} = 1$; $X_h = 0,5$; $N = 20$



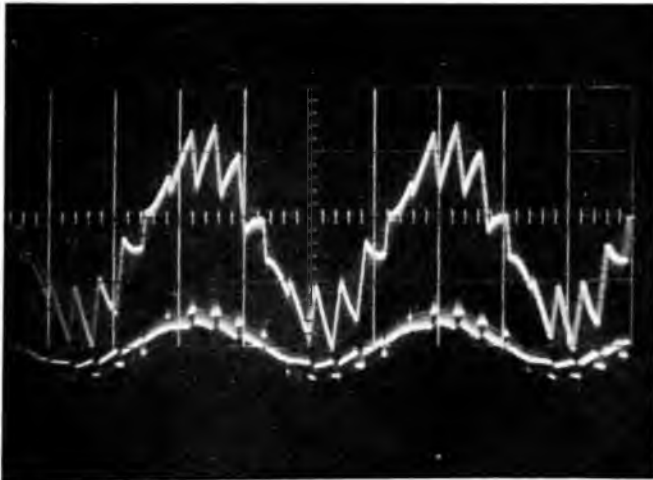
2-8. ábra. Számított áramalak
 $I_h = I_{hn} = 1$; $X_h = 0,2$; $N = 10$



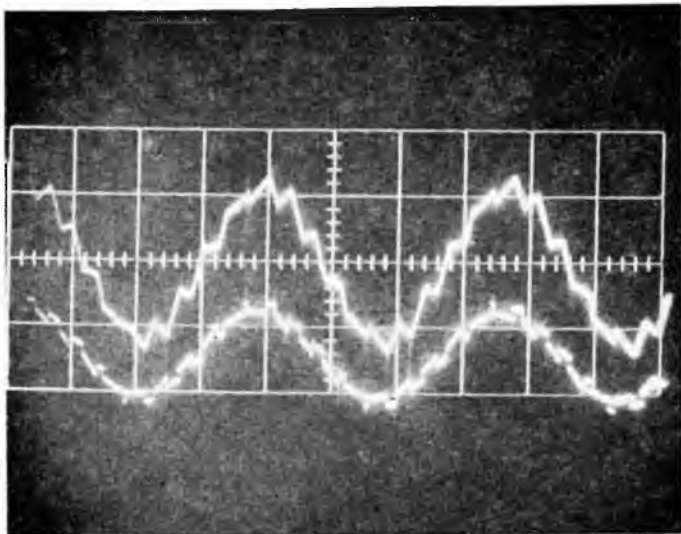
2-9. ábra. Számított áramalak
 $I_h = I_{hn} = 1$; $X_h = 0,5$; $N = 10$



2-10. ábra. Mért áramalak
 $I_h = I_{hn} = 100 \text{ A}$; $X_h = 0,5$; $N = 16$

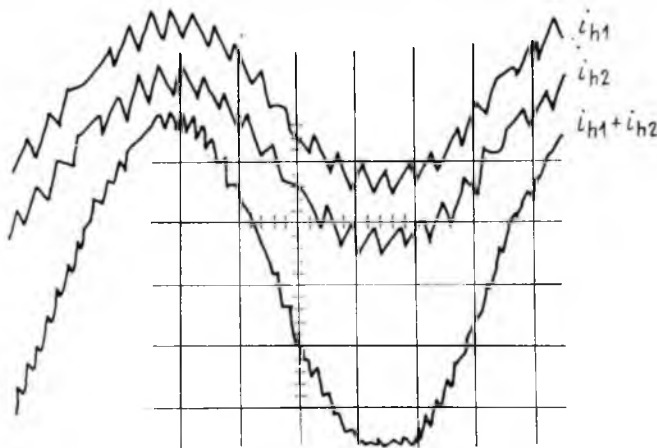


2-11. ábra. Mért áramalak
 $I_h = I_{hn} = 100 \text{ A}$; $X_h = 0,2$; $N = 10$



2-12. ábra. Mért áramalak

$I_h = I_{hn} = 100 \text{ A}$; $X_h = 0.5$; $N = 10$



2-13. ábra. Eredő hálózati áram két, egymáshoz képest eltolt vezérlésű áramirányító esetén

$I_h = I_{hn}$; $X_h = 0.3$; $N = 20$; $f_1 = 16\frac{2}{3} \text{ Hz}$

Irodalom

- [1] Schaefer, H.-H.: Vergleich der Netzurückwirkungen elektrischer Triebfahrzeuge mit Amplitudensteuerung, Anschnittsteuerung, Sektorsteuerung und Vierquadrantensteller. Elektrische Bahnen, 46. k. 12. sz. 1975. p: 299–303.
- [2] Becker, E.: Drehstromversuchsfahrzeug — DE 2500 mit Steuerwagen — Systemerprobung eines Drehstromantriebes an 15 kV $16\frac{2}{3}$ Hz. Elektrische Bahnen, 47. k. 1. sz. 1976. p: 18–24.
- [3] Götz, G.: Wirkungsweise neuartiger Pulsstromrichter. — Etz — a Bd., 98. k. 5. sz. 1977. p: 346–349.
- [4] Renger, W.: Anforderungen an eine Lokomotive in Drehstromtechnik. ETR, 26. k. $\frac{1}{2}$ sz. 1977. p: 25–32.

3.

Inverterüzemben dolgozó, hálózati kommutációjú áramirányító kényszeroltású zárlatvédelme

NATTÁN PÉTER—VEREBÉLYI GYÖRGY

ÖSSZEFOGLALÁS

A Dunai Vasmű érctéri bakdarujának rekonstrukciója keretében Intézetünk fejlesztette ki és készíti el a macskamozgatás és emelőmű tirisztoros egyenáramú négynegyedes hajtásait. A daru energiaellátása háromfázisú sínrendszerrel csúszóérintkezőkön keresztül történik. Az áramszedők a nagyfokú szennyeződés, a téli eljegesedés, és a daru mozgása következtében prelleznek. Ez a körülmény tette szükségessé a közleményben leírt védelem kifejlesztését. A prellés az áramirányítóban kommutációs zavarokat, és ezzel zárlatot idézhet elő. A kényszeroltású zárlatvédelem kifejlesztésének célja a zárlat megelőzése, ezáltal a daru üzembiztonságának fokozása.

ЗАЩИТА С ВЫНУЖДЕННЫМ ГАШЕНИЕМ ОТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ ТОКА С СЕТЕВОЙ КОММУТАЦИЕЙ, РАБОТАЮЩЕМ В ИНВЕРТОРНОМ РЕЖИМЕ

П. Наттан—Д. Веребейи

Резюме

В рамках реконструкции крана на козлах с вылетом Подунайского металлургического комбината в нашем институте разработаются и изготовляются тиристорные четырех-квадратичные привода грузоподъемным устройством и крановой тележкой. Энергопитание крана обеспечено с трехфазной рельсовой системой с помощью скользящих контактов. Из-за большого загрязнения и зимнего замерзания, при движении крана токоотводы вибрируются. Этим обстоятельством и потребовалась разработка защиты, описанной в статье. Вибрация может вызывать коммутационные недостатки, т. е. короткое замыкание в преобразователе тока. Целью разработки защиты с вынужденным гашением от короткого замыкания является предотвращение короткого замыкания, и при этом — увеличение надежности таботы крана.

THYRISTOR—SCHNELLSCHALTER FÜR NETZGEFÜHRTE STROMRICHTER

P. Nattán — Gy. Verebelyi

Zusammenfassung

Im Rahmen der Rekonstruktion einer Erzverladebrücke hat unser Institut die Vierquadrantenantriebe der Krankatze und des Hebewerkes entwickelt. Die Energieversorgung der Antriebe erfolgt durch Schleifkontakte von einem dreiphasigen Schienensystem. Die Stromabnehmer prellen infolge der grossen Verunreinigung, der Wintervereisung und der Bewegung des Krans. Dieser Umstand machte es notwendig, den im

Aufsatz beschriebenen Schutz zu entwickeln. Das Prellen kann im Stromrichter Kommutationsstörungen und damit Kurzschlüsse hervorrufen. Die Entwicklung eines zwangslöschenden Schutzkreises bezweckt die Vorbeugung des Kurzschlusses, dadurch die Steigerung der Betriebssicherheit des Krans.

AUXILIARY FORCED COMMUTATION CIRCUIT FOR SHORT-CIRCUIT PROTECTION TO LINE COMMUTATED CONVERTERS

By P. Nattán — Gy. Verebélyi

Summary

Under the task of the reconstruction in the Duna Iron Works, our Institute has developed a thyristorized reversing d.c. drive for the ore crane. Among these drives we have produced the cat-moving and lifting mechanism. The energy for the drives comes through a three-phase rail system. The current collectors bounce because of the high-grade contamination, the winter icing and the crane moving. This circumstance made it necessary to develop the protection described in the paper. The bouncing of the contacts can cause commutation disturbances and a short-circuit in the converter. The aim of the development of the forced quenching short-circuit protection is to prevent the short-circuit and so to increase the reliability of the crane.

1. Bevezetés

Négynegyedes hajtások alkalmazásánál az egyébként jól működő berendezések megbízhatóságát jelentősen csökkenti az a körülmény, ha az áramirányító és a hálózat közötti kapcsolat nem folyamatos, egy vagy több fázis időszakosan megszakad.

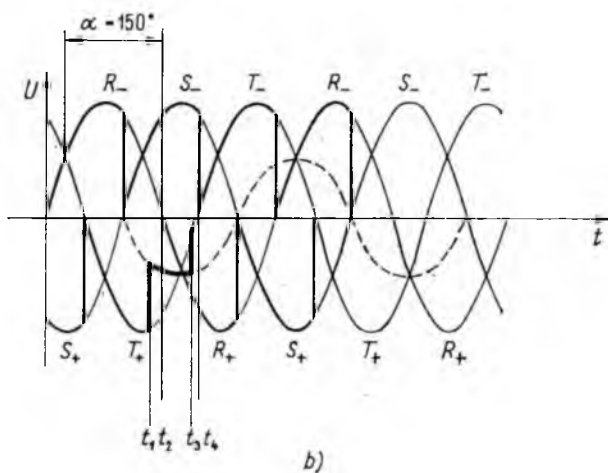
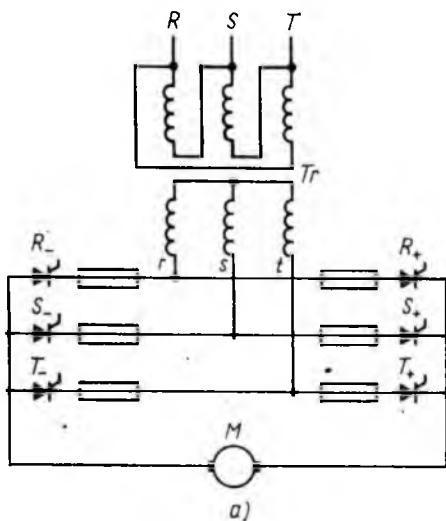
Esetünkben ez a veszély annál is inkább fennáll, mert a Dunai Vasmű érctéri bakdarujára tervezett négynegyedes hajtások táplálása pályamenti sínrendszerről, áramszedőkkel történik. A daru egy markolásra 15...20 t ércet képes emelni. A teher súlylyesztésekor a markolónyitó és -záró, valamint a markolóemelő hajtások, a macska fékezésekor pedig a macskamozgató hajtás működik inverterüzemben.

A hajtások 220 V-os, 150 kW-os egyenáramú motorokat táplálnak. A névleges áram 750 A, a maximális áram 1500 A.

2. A jelenség és a védelem kapcsolásának ismertetése

A táphálózat ismertetett kimaradása egyenirányító üzemben is problémát okozhat, mert a híd egyenfeszültségét időszakosan csökkenti, ami a motornál esetleg rángatást idéz elő. Az áramirányító ebben az esetben nem károsodik. Inverterüzem esetén már néhány ms-ig fennálló fáziskimaradás könnyen armatúraköri zárlatot okozhat, ami biztosítókiváradással jár együtt.

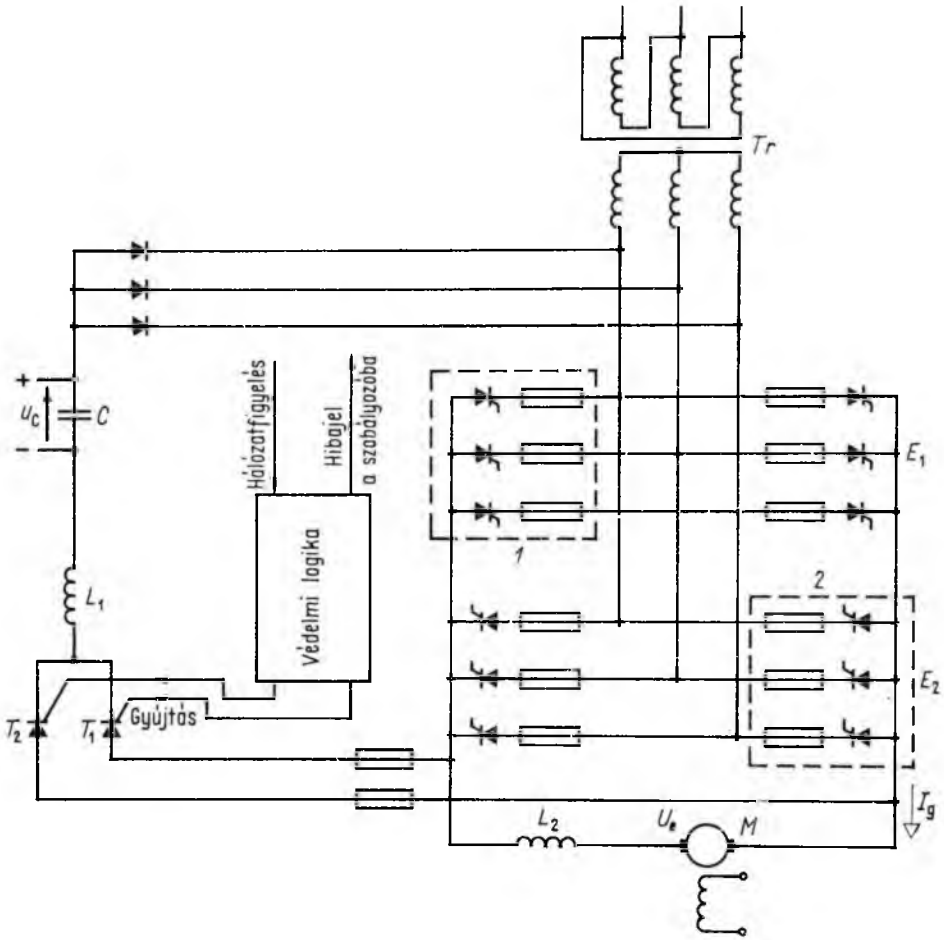
A vizsgált kapcsolás egy Dy5 kapcsolási csoportú transzformátorról táplált háromfázisú teljesen vezérelt áramirányítót tartalmaz (3-1/a ábra). Tétélezzük fel, hogy a gyújtáskésleltetési szög $\alpha = 150^\circ$ (3-1/b ábra). A t_1 időpontban megszakad a primer R fázis, ezért a szekunder r és t fázisok t_1 -től azonos fázisúak lesznek és feszültségük felére csökken. Előzőleg a T_+ és S_- tirisztorok vezettek. A hiba bekövetkezésének pillanatában a híd kimeneti feszültsége lecsökken, a motorfeszültség ezt nem tudja követni, tehát az áram megnő. A t_2 időpillanatban gyújtóimpulzust kap



3-1. ábra. Fáziskimaradás inverter üzem esetén
a) kapcsolási rajz; b) egyenirányított feszültség időfüggvénye, $\alpha = 150^\circ$

az R_+ tirisztor, amely az addig vezető T_+ tirisztorról venné át a vezetést. Mivel R_+ nyitóirányú feszültsége megegyezik T_+ feszültségesésével — a legkedvezőtlenebb esetet feltételezve — az R_+ tirisztor nem veszi át a vezetést. Ha a t_3 időpontban a hálózat hibája megszűnik — amint az az ábrából is látható — a híd feszültsége ismét ugrásszerűen lecsökken, mert a híd kimeneti feszültsége a hibamentes állapotnak megfelelő fázisfeszültséget követi. Ez az áram további növekedését idézi elő. A t_1 időpillanatban gyújtjuk a T_- tirisztorot és ugyanekkor ismét gyújtóimpulzust kap R_+ is. R_+ itt már biztosan nem veszi át T_+ -tól a vezetést, mert záróirányú feszültség van rajta. A tovább vezető T_+ és a begyújtott T_- tirisztorok rövidre zárják a motort.

Belátható, hogy más kapcsolási csoportú transzformátorok esetén is felléphetnek zavarok. A hiba okozóját — az áramszedők pattogását — megszüntetni nem tudjuk, de a biztosítók cseréjéhez szükséges időt megtakaríthatjuk, ha a zárlatot nem engedjük kialakulni. Ez a feladat az áramirányító kényszeroltásával oldható meg. A védelem főáramkörének kapcsolási rajza a 3-2. ábrán látható.



3-2. ábra. A védelem főáramkörének kapcsolási rajza

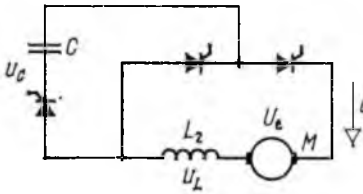
Fáziskimaradás esetén a védelmi logika gyújtóimpulzust ad a $T1$ vagy a $T2$ tirisztornak, attól függően, hogy $E1$ vagy $E2$ híd vezet. Az oltáshoz szükséges energiát tápegységről biztosítjuk a C kondenzátor számára, az U_{C0} kezdeti feszültség beállításával. Ha a hiba bekövetkezésekor az $E1$ jelű híd vezet, akkor gyújtjuk a $T1$ jelű tirisztort, és letiltjuk a híd gyújtóimpulsusait. Az oltás elején az 1 jelű félhídra U_{C0} nagyságú zárófeszültség kerül, ezáltal az $E1$ jelű híd megszűnik vezetni. Biztosítani kell U_{C0} és C értékek beállításával, hogy a félhídra a $C-L_2$ rezgőkör megfelelő ideig kényszerítően zárófeszültséget. Az L_1 induktivitás feladata, hogy a $T1$ és $T2$ tirisztort

rok árammeredekségét a megengedhető szintre korlátozza (L_1 értéke L_2 mellett elhanyagolhatóan kicsi). Ha a hiba az $E 2$ jelű áramirányító vezetése közben következik be, akkor $T 2$ tirisztor gyűjtjük, az oltás lefolyása megegyezik az előzővel.

3. Csillapítás nélküli oltókör számítása

A számítás során a differenciálegyenletek megoldását az egyszerűség és könnyű áttekinthetőség miatt fázis-sík módszerrel végeztük. A számításhoz 3-2. ábra kapcsolási rajzát egyszerűsítjük (3-3. ábra), és a következő feltételezésekkel élünk :

- a) L_2 armatúraköri induktivitás értéke nem függ az áramtól;
- b) a motor feszültsége (fordulatszama) az oltás folyamán nem változik;
- c) a körben levő félvezetők feszültségeséseit elhanyagoljuk.



3-3. ábra. Csillapítatlan oltókör egyszerűsített kapcsolási rajza

A 3-3. ábrán látható hurokra felírható a következő feszültségegyenlet :

$$U_e = u_C + u_L = u_C + L_2 \frac{di}{dt} \quad (1)$$

Mivel: $i = i_C = C \frac{du_C}{dt}$, ezért

$$U_e = u_C + L_2 C \frac{d^2 u_C}{dt^2} \quad (2)$$

Bevezetve a következő helyettesítéseket :

$$x = \frac{u_C}{U_e} \quad \text{és} \quad t_1 = \omega_0 t = \frac{1}{\sqrt{L_2 C}} t,$$

valamint $y = \frac{dx}{dt_1}$

és a (2) egyenletet U_e -vel végigosztva :

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{x-1}{y} \quad (3)$$

A (3) egyenlet egy $y = 0$; $x = 1$ középpontú kör egyenlete, amely megadja az oltókör áramának és feszültségének változását a fázissíkon, a következő összefüggések szerint (3-4. ábra):

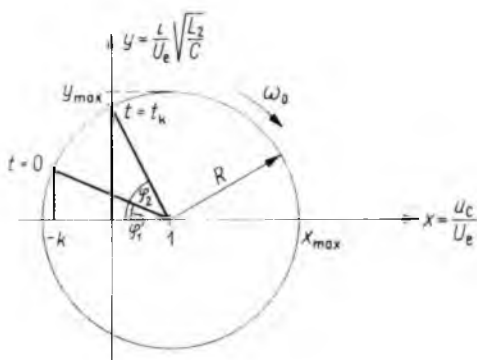
$$x = \frac{u_C}{U_e}, \quad y = \frac{i}{U_e} \sqrt{\frac{L_2}{C}},$$

a kör sugara:

$$R = \sqrt{\left(\frac{I_e}{U_e} \sqrt{\frac{L_2}{C}}\right)^2 + (1+k)^2}$$

ahol I_e az oltás kezdetén a motor árama, azaz az oltandó áram értéke;

$k = \frac{U_{C0}}{U_e}$ a kondenzátor kezdeti feszültségének és a motor egyenfeszültségének aránya.



3-4. ábra. Csillapítatlan oltókör kondenzátorának fázisgörbéje

A 3-4. ábra alapján könnyen számítható a kíméleti idő, az oltás közben fellépő legnagyobb kondenzátoráram $I_{C \max}$ és kondenzátorfeszültség $U_{C \max}$:

$$t_k = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{\omega_0} = \frac{1}{\omega_0} \left(\arccos \frac{1}{R} - \arccos \frac{1+k}{R} \right), \quad (4)$$

$$I_{C \max} = U_e \sqrt{\frac{C}{L_2}} R, \quad (5)$$

$$U_{C \max} = U_e(1+R). \quad (6)$$

Különböző kapacitású C oltókondenzátor és U_{C0} kezdeti feszültség megválasztásával kiszámítottuk t_k értékét úgy, hogy a következő egyenlőtlenség teljesüljön:

$$t_q \leq t_k,$$

ahol t_q az áramirányítóban alkalmazott tirisztorok nyitóirányú szabaddáválási ideje.

Esetünkben az armatúraáram 1500 A, amit az oltókörnek még ki kell tudni oltani. Az armatúrafeszültség 220 V. A méretezés alapjául T 400 típusú csehszlovák tárcsatirisztorok szolgáltak, melyekre a $t_q = 400 \mu s$. Az armatúraköri simító—fojtó $L_2 = 1$ mH.

A különböző értékek közül

$$C = 5000 \mu\text{F} \text{ és}$$

$$U_{C0} = 400 \text{ V} \text{ választásával a}$$

kíméleti idő: $t_k = 1,12 \text{ ms}$ -ra adódik, ami biztonsággal megfelelő. (5) és (6) képletek alapján a maximális kondenzátoráram és -feszültség értékei:

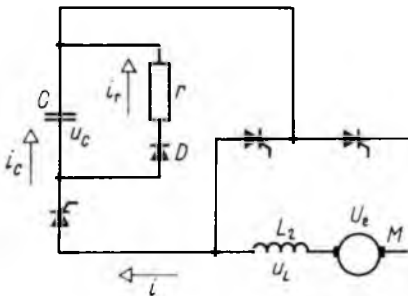
$$I_{C \max} = 2040 \text{ A}, \quad U_{C \max} = 1133 \text{ V}.$$

Az így adódott $U_{C \max}$ értéke igen nagy, tehát nagyméretű kondenzátorok alkalmazását teszi szükségessé. Ez a feszültségérték a berendezésben alkalmazott elemekre sem engedhető meg. Azonos t_k idő beállítása mellett más C és U_{C0} értékek választásával $U_{C \max}$ értéke csökkenthető, de ez nagyobb kapacitású kondenzátortelep igényel. Ezt a megoldást jelentős többletköltsége és helyigénye miatt elvetettük.

$U_{C \max}$ értékének korlátozása a kondenzátorral párhuzamosan kapcsolt szelénnel is lehetséges. Ennek alkalmazásáról lemondunk a szelén nehéz hozzáférhetősége, valamint azon körülmény miatt, hogy a megfelelő szelénegységet csak több típussal végzett mérésorozat alapján választhattuk volna ki. E megfontolások után az oltókör csillapítása mellett döntöttünk.

4. Csillapított oltókör számítása

A csillapított rezgőkör egyszerűsített kapcsolási rajza a 3-5. ábrán látható.



3-5. ábra. Csillapított oltókör egyszerűsített kapcsolási rajza

Az r csillapítóellenállás t_1 ideig a D dióda miatt nem befolyásolja az oltás folyamatát, tehát hatása csak az $u_C = 0$ értékhez tartozó időpillanatban kezdődik. A számítás során alkalmazott feltételezések és elhanyagolások megegyeznek a csillapítatlan rezgőkörnél alkalmazottakkal.

A körre felírható a következő hurokegyenlet:

$$U_e = u_L + u_C = L_2 \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i_C dt. \quad (7)$$

Fennállnak a következő összefüggések :

$$ri_r = u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt,$$

$$i_r = \frac{u_r}{r} = \frac{u_C}{r},$$

$$i = i_C + i_r,$$

$$i_C = C \frac{du_C}{dt},$$

amelyeknek behelyettesítése után:

$$U_e = u_C + \frac{L_2}{R} \frac{du_C}{dt} + L_2 C \frac{d^2 u_C}{dt^2}. \quad (8)$$

Bevezetve a következő helyettesítéseket:

$$x = u_C - U_e, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C}},$$

$$\zeta = \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{L_2}{C}} \quad \text{és} \quad v = \frac{dx}{dt},$$

a (8) egyenlet a következő alakban írható fel:

$$\frac{dv}{dx} = -2\zeta\omega_0 - \omega_0^2 \frac{x}{v}.$$

A $w = \frac{v}{x}$ helyettesítéssel az egyenlet szétválasztható:

$$\frac{dx}{x} = -\frac{w dw}{w^2 + 2\zeta\omega_0 w - \omega_0^2}. \quad (9)$$

A (9) egyenletet integrálva, és a $w = \frac{v}{x}$ visszahelyettesítésével az egyenletre ζ függvényében két megoldás adódik:

$|\zeta| < 1$ esetén

$$v^2 + 2\zeta\omega_0 x v + \omega_0^2 x^2 = C_1 \exp\left(\frac{2\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \arctg \frac{v + \zeta\omega_0 x}{x\omega_0 \sqrt{1-\zeta^2}}\right). \quad (10)$$

$|\zeta| > 1$ esetén

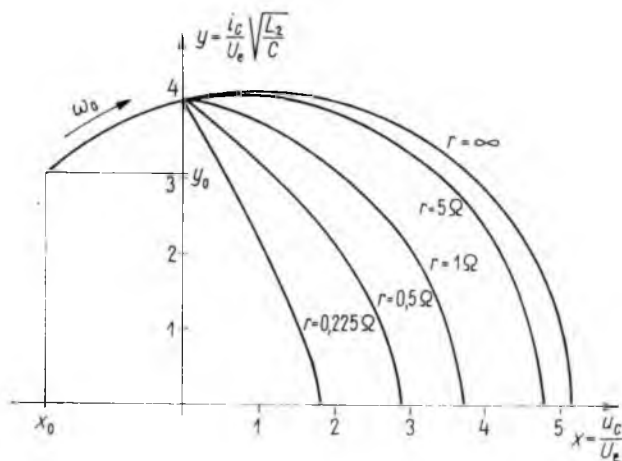
$$\frac{(v - s_1 x)^{s_1}}{(v - s_2 x)^{s_2}} = C_2, \quad (11)$$

ahol

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_0 \pm \omega_0 \sqrt{\zeta^2 - 1}.$$

A (10) egyenlet fázisportréja logaritmikusspirális, a (11) egyenleté parabola, mert s_1 és s_2 értékei valósak. A $|\zeta| < 1$ esetén érvényes (10) egyenlet grafikus megoldása a 3-6. ábrán látható.

A (10) egyenlet r minden értékére egy spirális ad, de fizikailag — az áramkörben alkalmazott félvezetők miatt — csak az $y \geq 0$ tartomány értelmezhető, mivel az áramirány megváltozása nem lehetséges.



3-6. ábra. Az oltókör kondenzátorának fázisgörbéje a teljes oltási folyamatra

A 3-6. ábra tartalmazza az i_c kondenzátoráram és u_c kondenzátorfeszültség változását az oltás teljes folyamata alatt. Az ábrából leolvasható, hogy $r = 0,5 \Omega$ csilapítóellenállás alkalmazása esetén az $U_{C \max}$ értéke közelítően felére csökken a csilapítatlan esethez viszonyítva. Az $r = 0,225 \Omega$ -ra felrajzolt görbe a $\zeta = 1$ határesethez tartozik.

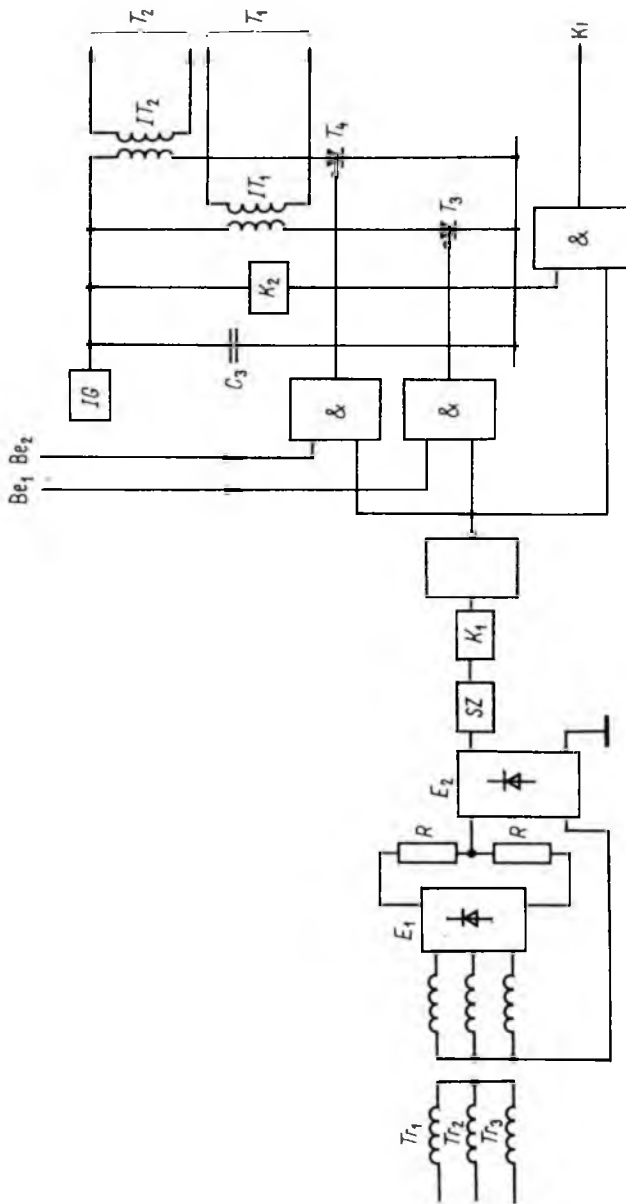
Az egyenletek numerikus és grafikus megoldásait intézetünk Számítástechnikai Csoportja készítette.

5. Érzékelés és védelmi logika

A fáziskimaradás érzékelésének gyorsasága jelentősen befolyásolja a védelem hatékonyságát. A hiba bekövetkezésekor az armatúraáram azonnal növekedni kezd, a pillanatnyi fázisviszonyoknak és a kör inuktivitásának függvényében. Késedelmes érzékelés esetén a kioltandó áram értéke jelentősen nagyobb lehet, mint gyors észlelés esetén.

Az általunk megvalósított érzékelés és logika hatásvázlata a 3-7. ábrán látható.

Azt a körülményt használtuk ki, hogy a betáplálás egy fázisának megszakadása esetén a rendszer egyfázisúvá válik. A $Tr1$, $Tr2$ és $Tr3$ egyfázisú transzformátorok Yy kapcsolásban háromfázisú transzformátort alkotnak. A szekunder fázisfeszültségek a vas nemlinearitása miatt harmadik felharmonikust tartalmaznak. Az $E1$ és $E2$ diódás hidakkal történő egyenirányítás után a jel 150 Hz-es váltakozófeszültség egyenirányított formája. Egyfázisú üzemben — fázisszakadás esetén — a 150 Hz-es



3-7. ábra. Érzékelés és védelmi logika hatásvázlata

feszültség azonnal megszűnik. Az *SZ* szűrő után következő *K1* komparátor kimeneti feszültsége már digitális jelként mutatja a táphálózat ép vagy hibás állapotát. A *Be 1* és *Be 2* bemeneten keresztül az áramiránytól függően tiltjuk a *T3* vagy *T4* tirisztorok gyújtását. Hiba esetén *T3* vagy *T4* begyújt és a C_3 kondenzátor *IT1* vagy *IT2* impulzustranzformátoron keresztül vezérli az oltókör *T1*, ill. *T2* tirisztorát. A C_3 kondenzátor feltöltéséről az *IG* áramgenerátor gondoskodik, amelynek áramát úgy állítjuk be, hogy C_3 töltődése ne legyen gyorsabb, mint a *C* oltókondenzátoré. A *Ki* kimeneten a hibajel akkor szűnik meg, amikor a hálózat helyreállt, és a C_3 kondenzátor feszültsége elért egy meghatározott értéket. Hosszan tartó fáziskimaradás esetén *T3* vagy *T4* folyamatosan nyitva van, így C_3 nem tud feltöltődni.

A számítás eredményeit és a védelmi logikát modellméréssel ellenőriztük. A védelem megszólalásával egyidőben működésbe lépnek a mechanikus fékezőberendezések, és rögzítik a terhet. A hiba megszűnése után újraindulás csak a védelem visszaállításával lehetséges. A feszültségkimaradás-védelem alkalmas arra, hogy az áramirányító tirisztorait és biztosítóit megvédje. A daru üzeme szempontjából azonban az kívánatos, hogy a védelem működési gyakorisága lehetőleg a minimumra csökkenjen. Ennek érdekében célszerű a párhuzamosan kapcsolt csúszóérintkezők számát növelni.

Irodalom

- [1] *Csáki Frigyes*: Korszerű szabályozásmélelet.
- [2] *Dipl.-Ing. Friedrich Kramer*: BBC, Mannheim Thyristor — Schnellschalter für Umkehrstromrichter — Etz-b Bd. 28 (1976) H. 5.

4.

Középfrekvenciás, rezgőkörös inverter 15 kV-os, szinuszos kimeneti feszültséggel

MOLNÁR KÁROLY—BOGNÁR ENDRE

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk egy középfrekvenciás, rezgőkörrel kommutáló tirisztoros inverter kapcsolást mutat be.

A szerzők röviden ismertetik az áramkör elvi működését, valamint kísérleti tapasztalatok alapján elemzik az egyes üzemállapotokat. Alkalmazási példaként egy konkrét fogyasztói igényt ellátó, műanyag fólia felületkezelésére szolgáló 10 kHz; 2 kVA; 15 kV névleges kimeneti jellemzőkkel rendelkező készülék ismertetésére kerül sor.

Bemutatásra kerülnek az inverter jellemző jelalakjairól készült fényképfelvételek és a mérési eredményeket ábrázoló diagramok induktív, rezisztív és kapacitív terhelések esetén.

ИНВЕРТОР С СРЕДНЕЧАСТОТНЫМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРОМ И 15 КВ-НЫМ СИНУСОИДАЛЬНЫМ ВЫХОДНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Э. К. Молнар—Богнар

Резюме

В статье излагается тиристорный среднечастотный инвертор, коммутирующий с колебательным контуром.

Авторы кратко излагают принцип работы схемы, и на основе экспериментальных опытов анализируют некоторые режимы работы. К примеру применения описывается аппаратура с выходными характеристиками 10 кГц; 2 кВА; 15 кВ, предназначенная для поверхностной обработки пластмассовой фольги.

Доклад иллюстрируется фотоснимками характерных сигналов инвертора и диаграммами, изображающими результаты измерений в случаях индуктивной, омической и емкостной нагрузки.

MITTELFREQUENZ—WECHSELRICHTER MIT SINUSFÖRMIGER 15 kV-AUSGANGSSPANNUNG UND SCHWINGKREISLÖSCHUNG

E. K. Molnár — Bognár

Zusammenfassung

Der Aufsatz stellt die Schaltung eines mit Schwingkreis kommutierenden thyristorisierten Mittelfrequenz-Wechselrichter vor.

Die Verfasser erörtern kurz das prinzipielle Funktionieren des Stromkreises, analysieren die einzelnen Betriebszustände auf Grund der Versuchserfahrungen. Als Anwendungsbeispiel wird ein einen konkreten Verbraucheranspruch befriedigendes

Gerät dargelegt, das zur Kunststoffolie-Oberflächenbehandlung dient und 10 kHz; 2 kVA; 15 kV nominelle Ausgangs-Nennwerte besitzt.

Es werden Aufnahmen über die charakteristischen Wellenformen des Wechselrichters und die Messergebnisse bei induktiven, ohmischen und kapazitiven Belastungen gezeigt.

A MEDIUM-FREQUENCY INVERTER WITH A PARALLEL LC TANK COMMUTATIONAL CIRCUIT HAVING A SINUSOIDAL OUTPUT VOLTAGE OF 15 kV

By K. Molnár — E. Bognár

Summary

The paper introduces a medium-frequency inverter commutating by a parallel LC tank circuit.

The authors briefly write about the principal operation of the circuit. The different operational conditions are analysed on the basis of experimental experiences. As an applicational example an equipment satisfying the concrete claim of a customer is introduced with the output ratings of 10 kHz; 2 kVA; 15 kV for the surface treatment of synthetic material foils.

The paper introduces some photographs about the characteristic signals of the inverter and typical diagrams for the case of inductive, ohmic and capacitive load.

1. Bevezetés

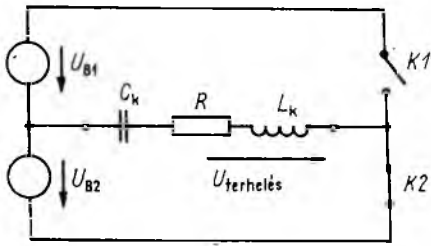
Az elmúlt évek óta mind gyakrabban alkalmaznak tirisztoros, középfrekvenciás, rezgőkörös invertereket [2] [3]. Elterjedésük oka egyszerű felépítésük, nagy megbízhatóságuk, a hagyományos berendezésekhez viszonyított kis méretük, és az elérhető viszonylag nagy működési frekvencia.

E cikkben egy ilyen áramkör elvi működését ismertetjük, kitérve az egyes üzemiállapotokra. Alkalmazási példaként bemutatunk egy konkrét fogyasztói igényt ellátó — műanyagfólia felületkezelésre szolgáló — 10 kHz, 2 kVA, 15 kV névleges kimeneti jellemzőkkel rendelkező készüléket.

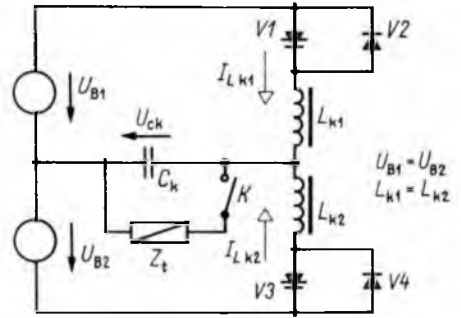
2. Az alápáramkör elvi felépítése

Az invertereket különféleképpen csoportosítja az irodalom. Megkülönböztetésük az alkalmazott kommutációs eljárás alapján történik. E közleményben ismertetett rezgőkörös inverter olyan váltóirányító, amelynek szerves részét képezi maga a terhelés is, így az inverter vizsgálatánál a mindenkori terheléssel is számolni kell. Feszültség-generátoros táplálású rezgőkörös inverter elvi alapkapcsolása látható a 4-1. ábrán. Ennek tirisztoros megvalósítását mutatja a 4-2. ábra [1]. Az inverter terhelését a C_k kondenzátorral párhuzamosan kapcsolt terhelőimpedancia képezi. A továbbiakban a 4-2. ábra szerinti kéttelepes, félhidas alapkapcsolás elemzésével foglalkozunk. A vizsgálat eredményei alkalmazhatók természetesen teljes híd, ill. középpont-kapcsolású inverterre is, azonban ebben az esetben az egyes áramköri elemeket az adott kapcsolási elrendezésnek megfelelően transzformálni kell.

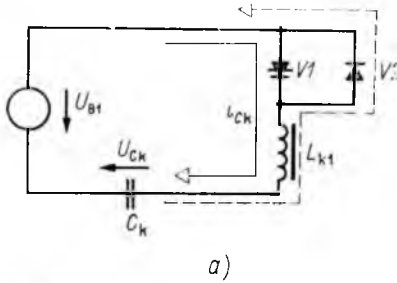
Az elvi működés vizsgálatához ragadjuk ki először a 4-2. ábrából a 4-3a ábrán látható részletet és tételezzük fel, hogy a rezgőkör energia- és veszteségmentes. A folyamatot — amelynek jellemző időfüggvényeit a 4-3/b ábrán ábrázoltuk — a t_0 idő-



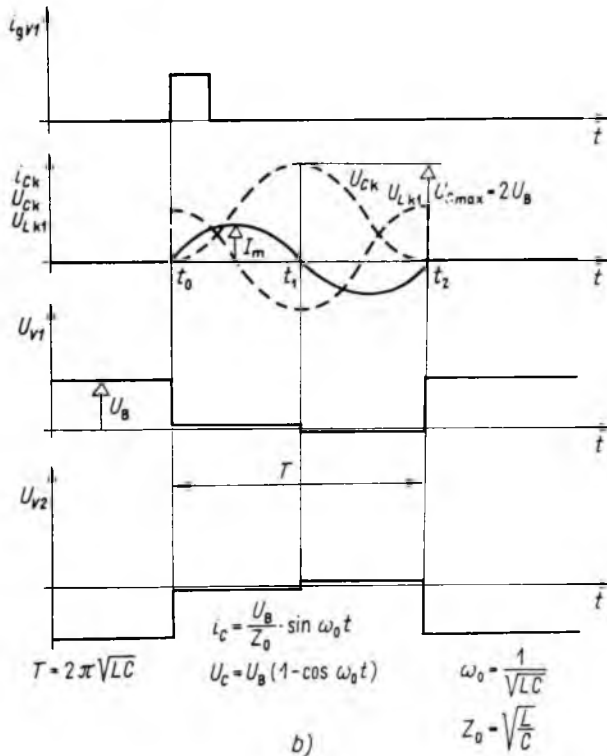
4-1. ábra. Rezgőkörös inverter elvi alapkapcsolása



4-2. ábra. Tirisztoros rezgőkörös inverter



a)



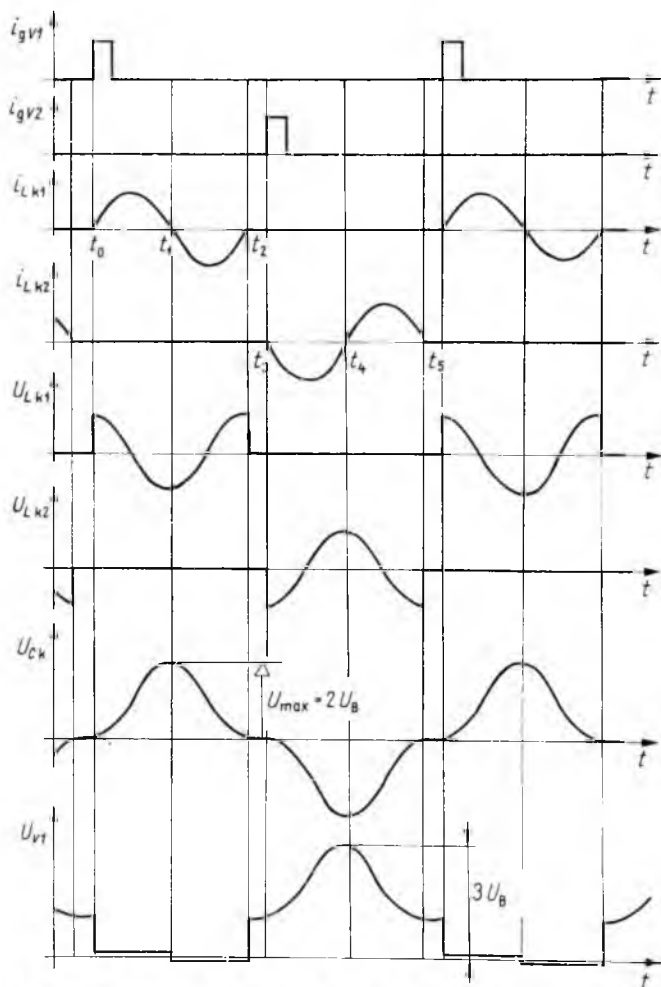
b)

4-3. ábra. Tirisztoros alapáramkör és jelalakjai

pontban a $V1$ tirisztor bekapcsolásával indítjuk. A kialakult szinuszos áram a t_1 időpontban irányt vált, és a negatív áramfélperiódust a t_2 időpontig a $V1$ tiriszttal párhuzamosan kapcsolt $V2$ dióda vezeti. A $V2$ dióda vezetése alatt a $V1$ tirisztra zárófeszültségként a dióda vezetőirányú feszültségesése jut. Ha a $t_2 - t_1$ időintervallum — amelyet a rezgőköri elemek értékei határoznak meg — nagyobb, mint a tirisztor-típus szabaddá válási ideje, a tirisztor lezár, további lengések a körben nem tudnak kialakulni.

3. Az inverter kommutációjának vizsgálata

Visszatérve a 4-2. ábrán látható alapkapcsoláshoz, megállapíthatjuk, hogy abban az esetben, ha a tirisztorokat az ellentétes hurokban levő visszavezető dióda vezetéből való kilépése után gyűjtjük, mind a $C_k - L_{k2}$, mind a $C_k - L_{k1}$ rezgőkörben az ismertett folyamat játszódik le. Az erre az esetre vonatkozó jelalakok a 4-4. ábrán láthatók.



4-4. ábra. A rezgőkörös inverter jelalakjai ($t_e = 0$)

Mivel a két rezgőkörben (C_k-L_{k1} ; C_k-L_{k2}) ugyanazok a jelenségek játszódnak le, de a két rezgőkör árama a kondenzátoron ellentétes irányú, a kondenzátor feszültsége váltakozófeszültség. Ebben az esetben a két hurokban végbemenő folyamatok egymástól függetlenek.

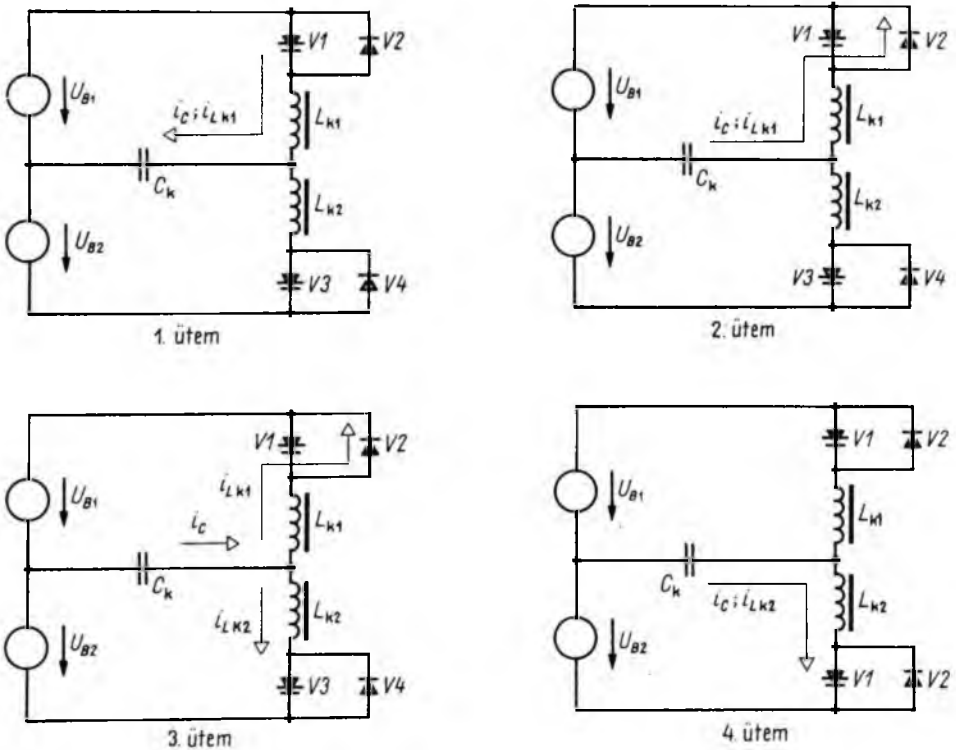
Abban az esetben, ha a tirisztorokat az ellentétes oldali visszavezető dióda vezetése alatt gyújtjuk, a két ágban együttvezetési állapotok is létrejönnek. Ilyen esetben egy teljes periódus a 4-5. ábrán látható hat ütemre bontható.

Allandósult állapotot feltételezve kövessük végig a 4-6. ábrán az egyes ütemek alatt lejátszódó folyamatokat.

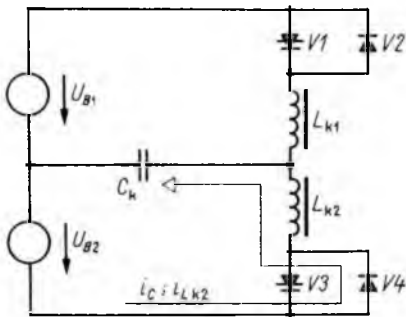
- A t_0-t_1 időtartam alatt a $V1$ tirisztor vezet (1. ütem).
- Az áram a t_1 időpontban irányt vált és az áramot a $V2$ dióda vezeti (2. ütem).
- $V2$ vezetése alatt a t_2 időpillanatban gyújtjuk a $V3$ tiriszort. Ebben az esetben a t_3 időpontig mindkét hurokban egyidejűleg áramvezetés van (3.ütem).

A t_3 időpontban a $V2$ dióda kilép a vezetésből, csak a $V3$ tirisztor vezet. A t_3-t_6 időintervallumban az áramköri szimmetria miatt a másik hurokban az előbb ismertett három ütemnek megfelelő jelenség játszódik le.

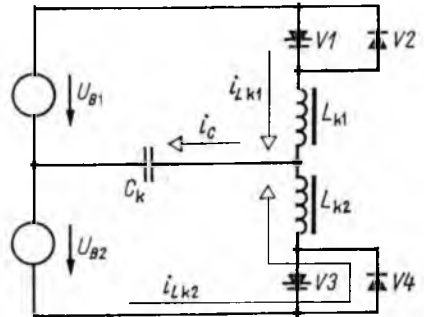
A 4-5. ábra ütemdiagramjaiból és a 4-6. ábra időfüggvényeiből látható, hogy a kondenzátor feszültségének időfüggvénye több darabból tevődik össze.



4-5. ábra. A rezgőkörös inverter kommutációjának ütemábrái

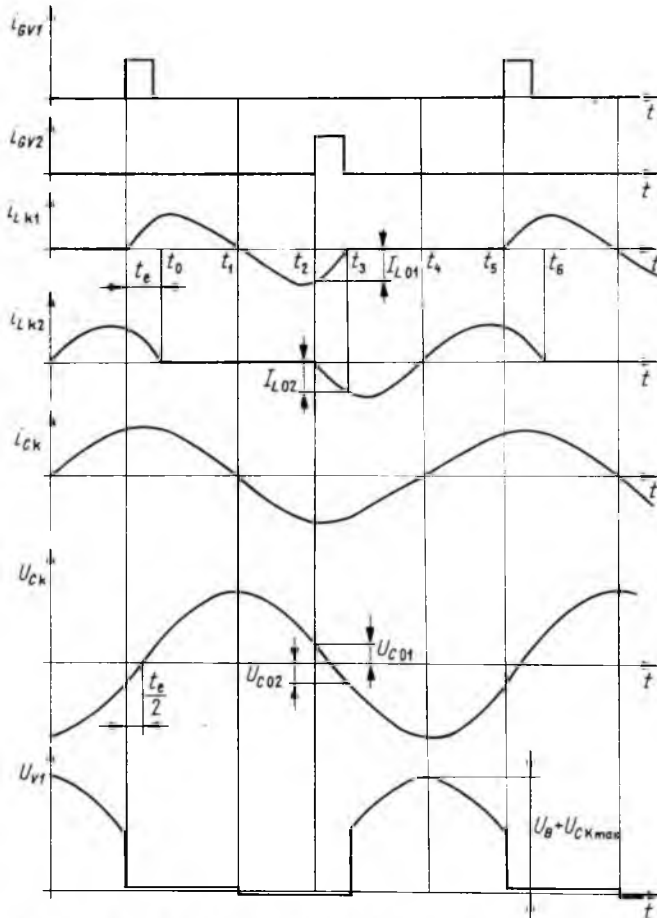


5. ütem



6. ütem

4-5. ábra.



4-6. ábra. Rezgőkörös inverter jelalakjai ($t_e > 0$)

A t_e együttvezetési idő alatt kialakult rezgőkörben mindkét fojtó szerepet játszik. A kondenzátor feszültségének időfüggvénye állandósult állapotban

$$U_{CK}(t) = U_{C01} \cos \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} t - I_{L01} \sqrt{\frac{L_K}{2C_K}} \sin \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} t \quad (t_2 \leq t \leq t_3),$$

ahol U_{C01} a kondenzátor feszültsége az együttvezetés kezdetekor;

I_{L01} az együttvezetés kezdetekor a korábban vezető fojtó árama.

A $t_3 - t_5$ időintervallumban, amikor csak egy fojtó vesz részt az áramvezetésben, a kondenzátor feszültsége:

$$U_{CK}(t) = -U_B + |U_B - U_{C02}| \cos \frac{1}{\sqrt{L_K C_K}} t - I_{L02} \sqrt{\frac{L_K}{C_K}} \sin \frac{1}{\sqrt{L_K C_K}} t \quad (t_3 \leq t \leq t_5),$$

ahol U_{C02} a kondenzátor feszültsége az együttvezetés utáni időpillanatban;

I_{L02} az áramvezetésben továbbra is részt vevő fojtó árama az együttvezetés megszűnése utáni időpillanatban.

A 4-6. ábrán látható, hogy a kondenzátor feszültségének frekvenciája megegyezik a gyújtóimpulzusok frekvenciájával, de a kondenzátorfeszültség nullátmenete a gyújtójelhez képest $\alpha = \frac{\omega t_e}{2}$ szöggel késik.

A rezgőkörök elméletéből ismert, hogyha a gerjesztőjel frekvenciájával közelítünk a rezgőkör rezonanciafrekvenciájához, a rezgések amplitúdója monoton nő. Az inverter kimeneti feszültsége tehát nemcsak a tápláló egyenfeszültség nagyságával, hanem a gyújtóimpulzusok frekvenciájával is változtatható. Növelve a kondenzátor feszültségét, növekszik a tirisztorra jutó zárófeszültség is (4-6. ábra).

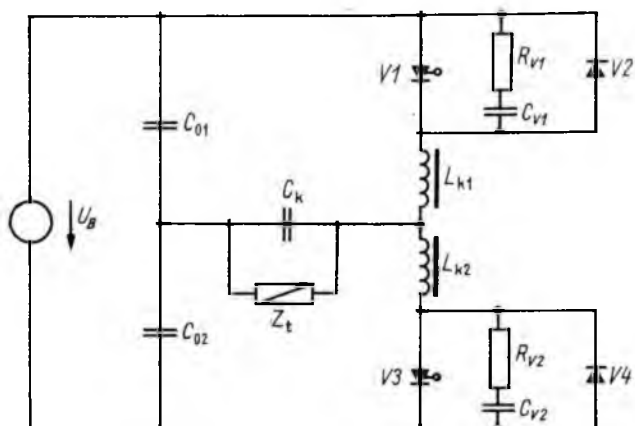
A visszavezető diódák vezetésének megszűnése után a tirisztorra ugrásszerűen tér vissza a pozitív zárófeszültség, amely túlzottan nagy feszültségmeredekséget eredményezhet és a tirisztorok nem szándékolt bekapcsolásához, ill. zárlat kialakulásához vezethet.

A nagy $\frac{dU}{dt}$ ellen a félvezetővel párhuzamosan kapcsolt $R_v - C_v$ taggal védekezünk. Az $R_v - C_v$ elemek a gyakorlatban olyan értékűek, hogy az inverter kommutációját és egyes üzemállapotait gyakorlatilag nem befolyásolják.

4. A megépített mintakapcsolás mérési eredményei

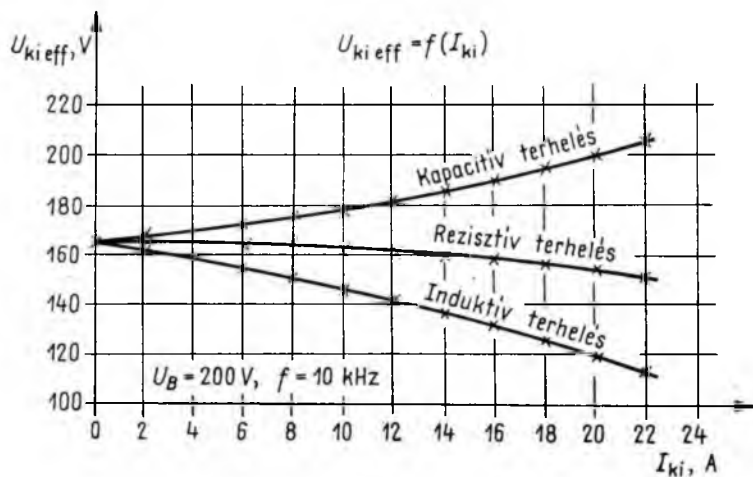
A 4-7. ábrán látható áramköri elemekkel megépített inverterkapcsoláson végeztünk méréseket ohmos, induktív és kapacitív terhelések esetén.

A mérési eredményeket a 4-8a-d ábrák foglalják össze, míg a 4-9a-c ábrákon a megépített inverter jellemző jelalakjainak fényképfelvételei láthatók. A mérési eredményekből is látszik, hogy a különböző terhelések megváltoztatják a rezgőkör rezonanciafrekvenciáját, ill. csillapítását, így a kimeneti feszültség nagysága, csúcs- és formatényezője függ a terheléstől.



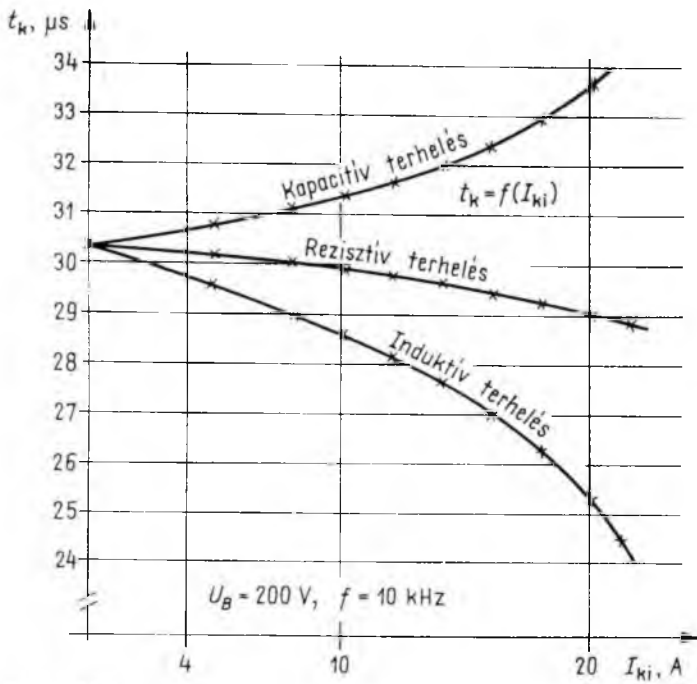
4-7. ábra. A mintakapcsolás kapcsolási rajza

$C_{V1}; C_{V2} = 0,22 \mu\text{F}; C_{01}; C_{02} = 68 \mu\text{F}$
 $C_k = 4,4 \mu\text{F}; L_{k1}; L_{k2} = 30 \mu\text{H}$
 $R_{V1}; R_{V2} = 16 \Omega; V1; V3 = \text{T } 20 \text{ F}$
 $V2; V4 = 1\text{R } 70 \text{ HFL}; U_B = 200 \text{ V}$

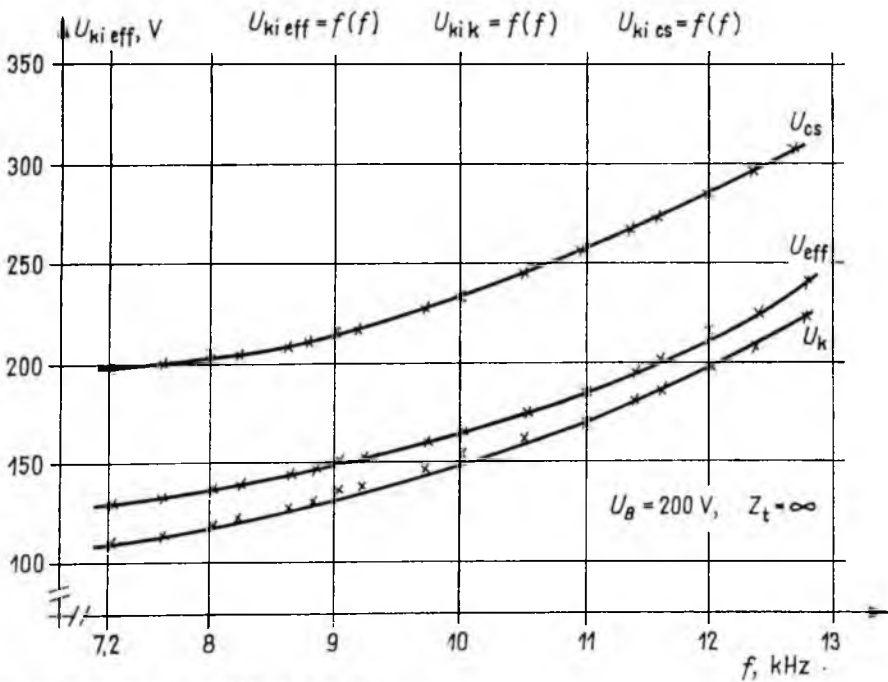


4-8. ábra. Jelleggörbéi

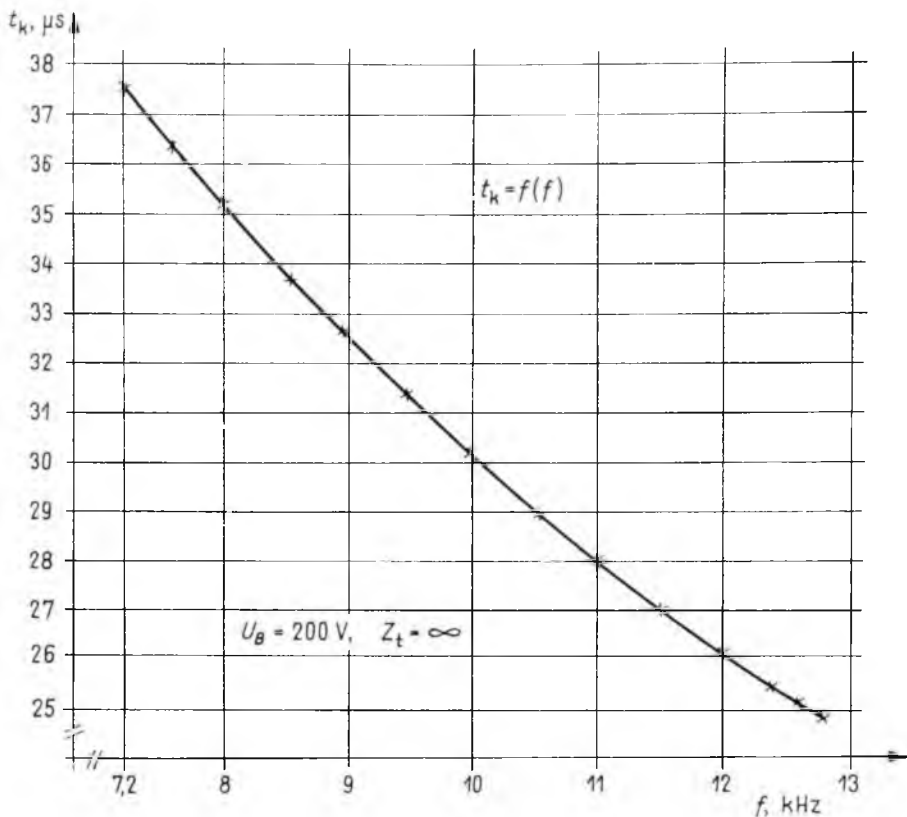
a) $U_{ki \text{ eff}} = f(I_{ki})$



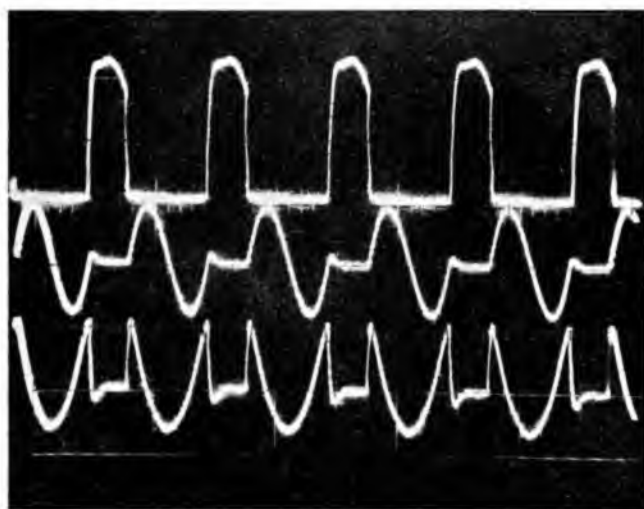
b) $t_k = f(I_{ki})$



c) $U_{ki \text{ eff}} = f(f)$; $U_{ki k} = f(f)$; $U_{ki cs} = f(f)$



4-8. ábra.
d) $t_k = f(f)$



4-9a ábra. A rezgőkörös inverter jelalakjai

Felső jelalak: a $V1$ tirisztor feszültsége

$\left(150 \frac{\text{V}}{\text{osztás}} ; 50 \frac{\mu\text{s}}{\text{osztás}} \right)$

Középső jelalak: az L_{k1} fojtótekerccsen átfolyó áram

$\left(53 \frac{\text{A}}{\text{osztás}} ; 50 \frac{\mu\text{s}}{\text{osztás}} \right)$

Alsó jelalak: az L_{k1} fojtótekerccsen levő feszültség

$\left(195 \frac{\text{V}}{\text{osztás}} ; 50 \frac{\mu\text{s}}{\text{osztás}} \right)$

4-9b ábra. A rezgőkörös inverter jelalakjai

Felső jelalak: az L_{k1} fojtótekerccsen átfolyó áram

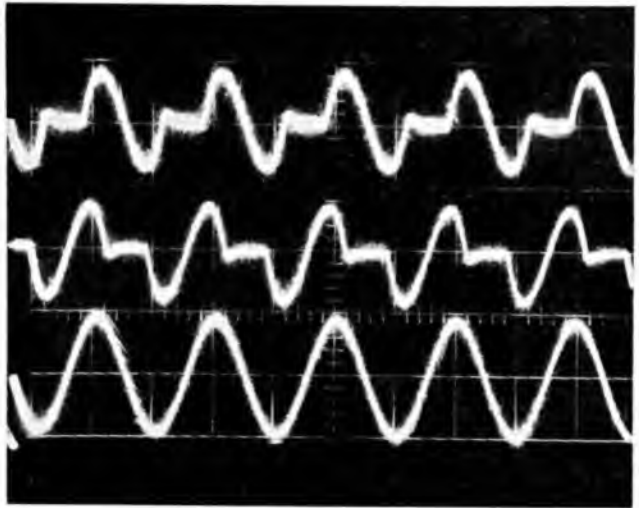
$$\left(60 \frac{\text{A}}{\text{osztás}} ; 50 \frac{\mu\text{s}}{\text{osztás}} \right)$$

Középső jelalak: az L_{k2} fojtótekerccsen átfolyó áram

$$\left(60 \frac{\text{A}}{\text{osztás}} ; 50 \frac{\mu\text{s}}{\text{osztás}} \right)$$

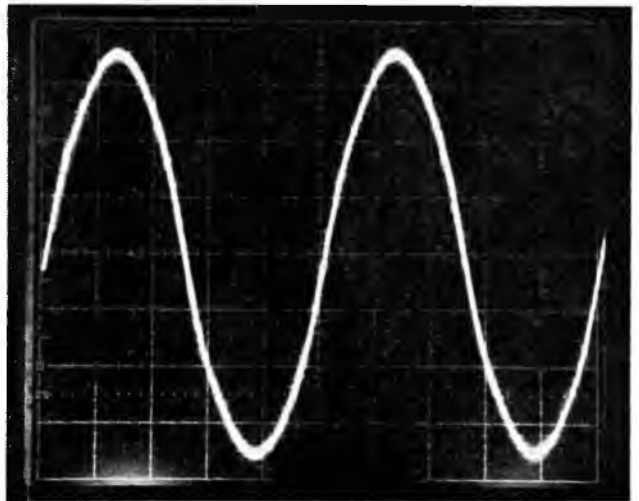
Alsó jelalak: a C_k kondenzátoron átfolyó áram

$$\left(60 \frac{\text{A}}{\text{osztás}} ; 50 \frac{\mu\text{s}}{\text{osztás}} \right)$$



4-9c ábra. A kimeneti feszültség

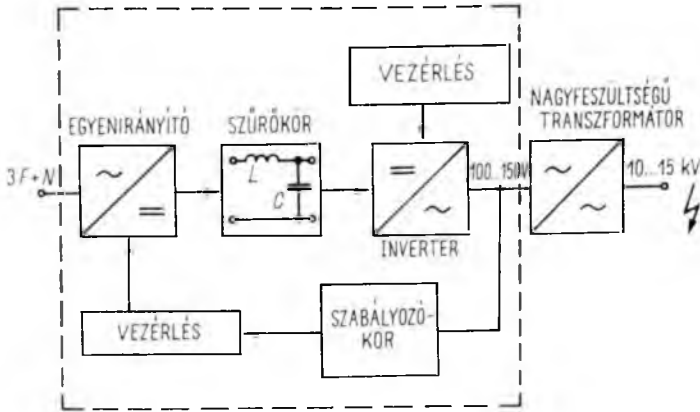
$$\left(66 \frac{\text{V}}{\text{osztás}} ; 20 \frac{\mu\text{s}}{\text{osztás}} \right)$$



5. Ipari alkalmazás

Az inverter felhasználásra került egy változtatható frekvenciájú és kimeneti feszültségű, 2 kVA, 15 kV, 10 kHz névleges kimeneti jellemzőkkel rendelkező, nagyfeszültségű műanyagfólia-felületkezelő berendezésben. A berendezés blokkvázlata a 4-10. ábrán látható.

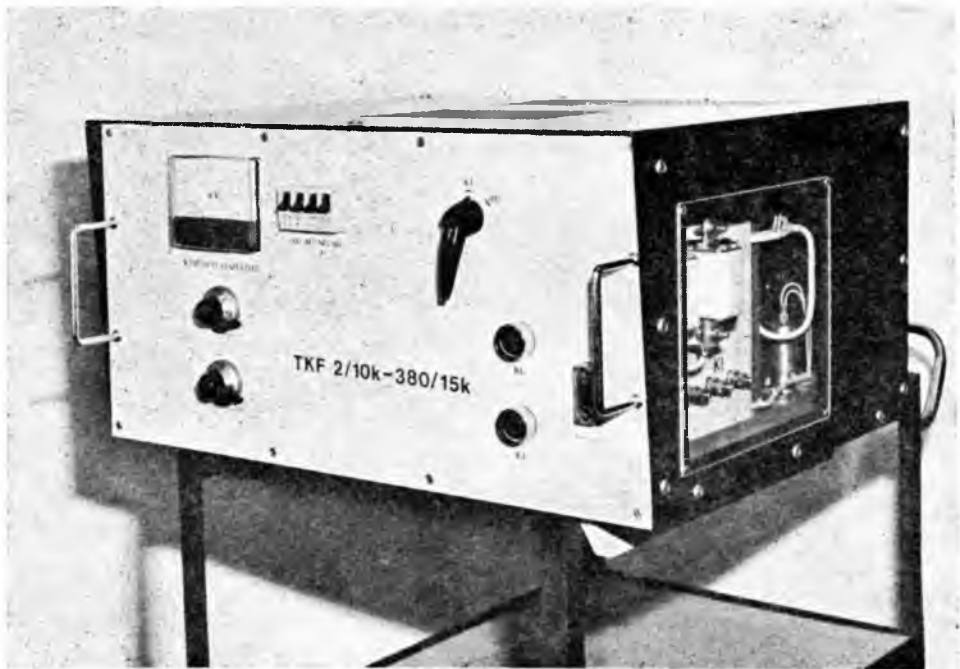
A készülék frekvenciáját a gyújtóimpulzusok frekvenciájával, kimeneti feszültségét pedig a vezérelt egyenirányító kimeneti feszültségével lehet változtatni. Az inverter kimenetére kötött nagyfeszültségű, középfrekvenciás transzformátor állítja elő a felületkezeléshez szükséges nagyfeszültséget.

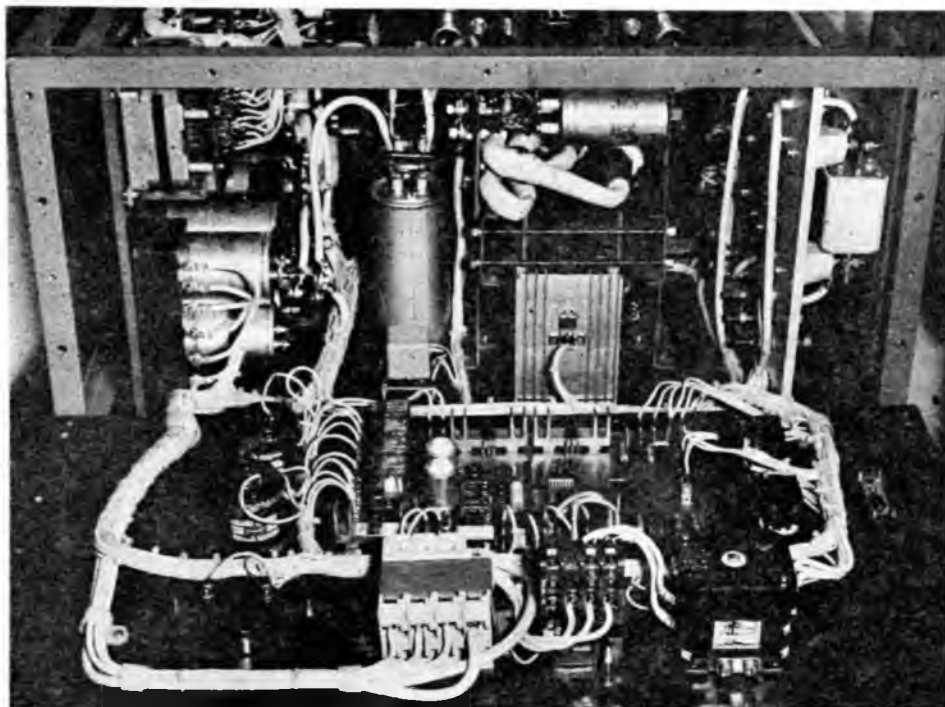


4-10. ábra. A felületkezelő berendezés blokkvázlata

A konstrukciós kialakításnál figyelembe kellett venni a viszonylag nagy működési frekvencián adódó járulékos veszteségek (skin-hatás; örvényáramú és hiszterézisvesztések) hatását, ezért az inverterrészben alkalmazott induktív elemek ferritmagra, extrahajlékony lapos szalagfonat-tekerccseléssel készültek. A párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok minimális áramosztási hibáját a sínezés geometriai szimmetriájával biztosítottuk. A melegendő alkatrészek hűtésére a kisebb készülék méret érdekében forszírozott (ventillátoros) levegőhűtés szolgál.

A készülék fényképfelvételei a 4-11a–b ábrákon láthatók.

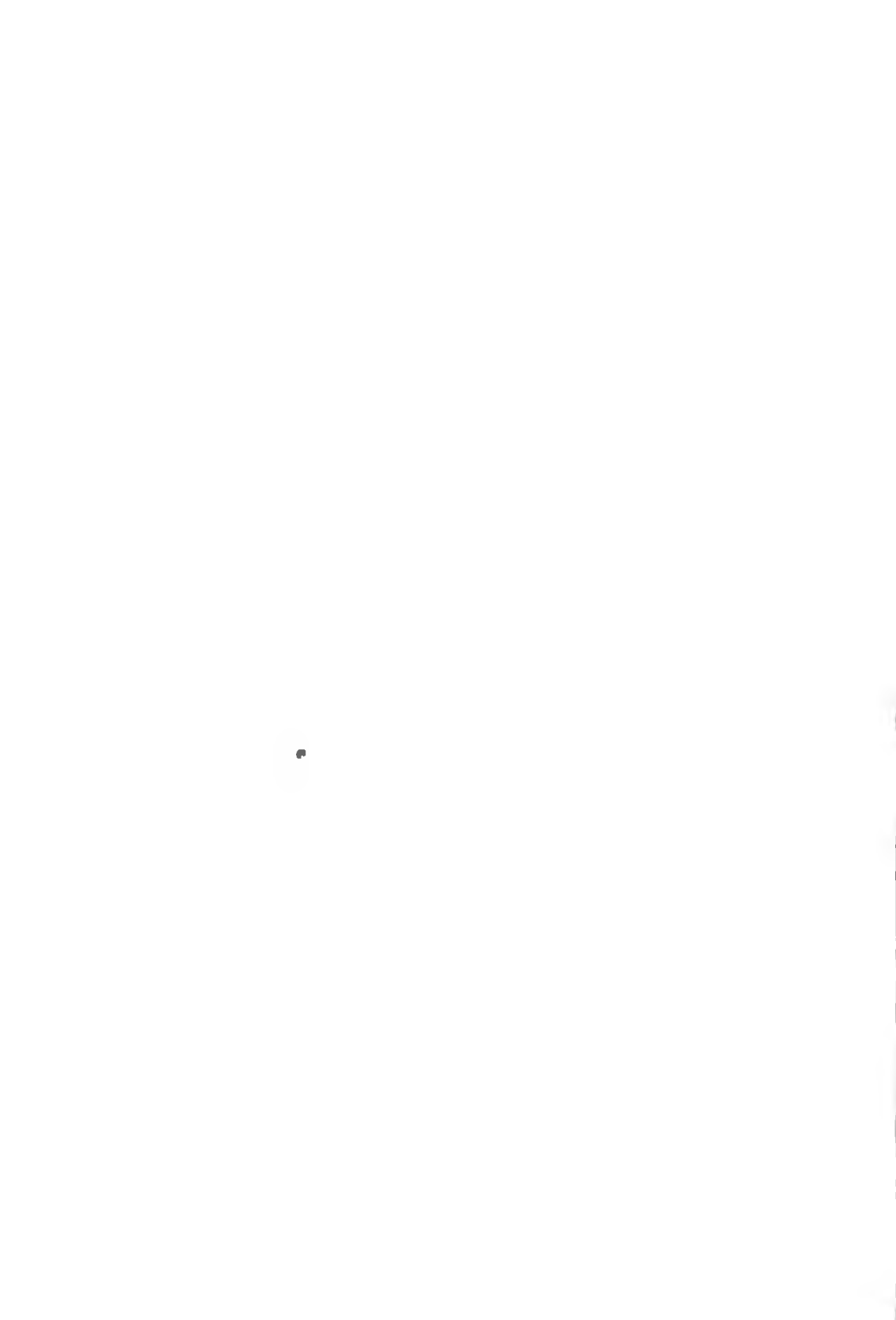




4-11. a-b ábra. A felületkezelő berendezés

Irodalom

- [1] *Neville Napham*: An SCR Inverter with Good Regulation and Sine-Wave output. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY AND GENERAL APPLICATIONS Marc/Apr. 1967. (176–187. old.)
- [2] *Л. С. Байрыева – и. г. Буре – в. в. Шевченко*: Статический преобразователь для питания низковольтных потребителей электропоездов постоянного тока. Электротехника, 5. 1975. (38–41).
- [3] *By John C. Hey*: The Widening World of the scr. Electronics/September 21. 1964. (78–85. old.)



5.

Külső impulzussal kommutáló inverter

SOÓS LÁSZLÓ—VÖRÖS MIKLÓS

ÖSSZEFOGLALÁS

A külső impulzussal kommutáló inverter működésének és főbb üzemiállapotainak ismertetése. A kapcsolásban szereplő tirisztorok kiválasztásának szempontjai, a tirisztorok oltás alatti zárófeszültsége növelésének lehetőségei ohmos vagy induktív reaktancia alkalmazása esetén. A különböző áramköri megoldások összehasonlítása az oltóképesség szempontjából. Különböző méretezési eljárások áttekintése. A főáramköri elemek igénybevételének, ill. az oltási folyamat minőségének változása az oltóköri tirisztorok vezérlésének függvényében.

ИНВЕРТОР, КОММУТИРУЮЩИЙ ПОСРЕДСТВОМ ВНЕШНЕГО ИМПУЛЬСА

Л. Шош—М. Вөрös

Резюме

Описание работы и режимов инвертора, коммутирующий посредством внешнего импульса. Соображения по выбору тиристоров схемы, возможности увеличения запирающего напряжения при запираии тиристоров в случаях применения омической или индуктивной реактанций. Сравнение различных схем с точки зрения запираемости. Обзор различных расчетных методик. Изменение нагрузки элементов главного контура и качества процесса запираия в зависимости управления тиристорами контура запираия.

ZWANGKOMMUTIERTER WECHSELRICHTER MIT ÄUSSERER LÖSCHUNG

L. Soós — M. Vörös

Zusammenfassung

Die Darlegung der Realisierung des mit äusserer Löschung kommutierenden Wechselrichters und der wichtigeren Betriebszustände. Die Auswahlgesichtspunkte der Thyristoren, die Erhöhungsmöglichkeiten der Sperrspannung der Thyristoren während der Löschung bei Anwendung von Widerstand oder induktiver Reaktanz. Der Vergleich der verschiedenen Stromkreislösungen in Anbetracht der Löschfähigkeit. Überblick von verschiedenen Bemessungsverfahren. Änderung der Beanspruchung der Hauptstromkreis-Elemente bzw. die der Qualität des Löschvorganges in Abhängigkeit von der Steuerung der Löschstromkreisthyristoren.

INVERTER COMMUTATING BY AN AUXILIARY IMPULSE

By L. Soós — M. Vörös

Summary

The most important operational conditions of the inverter commutating with external impulse are introduced in the paper, as well as the methods of selecting thyristors and possibilities of increasing the inverse voltage of the thyristors during the commutation by the application of ohmic or inductive reactance. Comparison of the different solutions as regards the commutational capability. Survey of different methods. The qualitative change of the commutation and the load of the main circuit elements as a function of the control of the auxiliary thyristors.

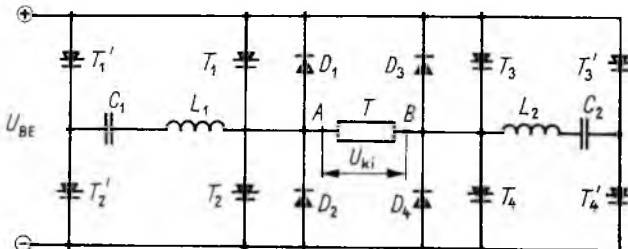
Bevezetés

Az elektronikus fogyasztók, számítógépek, folyamatirányító számítógépek szigorú minőségi követelményeket támasztanak a váltakozóáramú táphálózattal szemben. Ezeket az ipari hálózattól részben független, szünetmentes áramellátó rendszerekkel tudjuk biztosítani. Az áramellátó rendszer váltakozóáramú részének minőségi jellemzőit az inverterek felépítése és működési módja határozza meg. A szigorú statikus és dinamikus követelmények kielégítésének egyik módja, ha a félperióduson belül többször kommutáló impulzusszélesség-modulált invertert alkalmaznak. A viszonylag magas kapcsolási szám miatt olyan kapcsolást célszerű alkalmazni, amelyben a kommutációs veszteségek a lehető legkisebbek. Ennek a célnak az irodalomból ismert Mc Murray [1] által bemutatott segédimpulzussal kommutáló inverterkapcsolás felel meg.

1. Segédimpulzussal kommutáló inverter

Az inverterkapcsolás az 5-1. ábra jelöléseivel a következő áramköri elemeket tartalmazza:

- $T_1 - T_4$ főtirisztorok
- $D_1 - D_4$ nulldiódák
- $T'_1 - T'_4$ oltótirisztorok
- C_1, C_2 kommutáló kondenzátorok
- L_1, L_2 kommutáló fojtótekercek
- T terhelés.

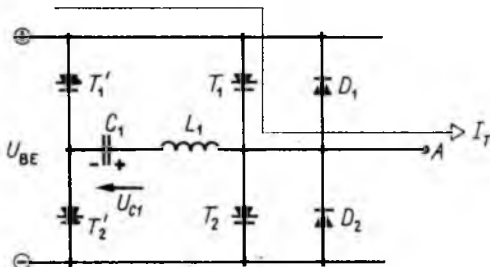


5-1. ábra. Hídkapcsolású, segédimpulzussal kommutáló inverter

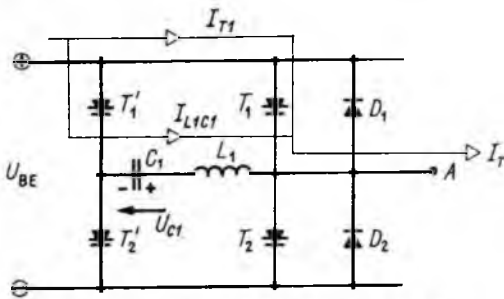
A hídkapcsolás alkalmas pozitív, negatív és nulla kimeneti feszültség előállítására. A kapcsolás működése, a kommutáció szempontjából a vizsgálatokat elég egyik félhídra elvégezni. Tételizzük fel, hogy a terhelés végtelen nagyságú induktivitás, és így az oltás ideje alatt a terhelőáram értéke nem változik. A működést a következő egyszerűsítő feltételekkel vizsgáljuk, amelyek hatását később vesszük figyelembe:

- a) a huzalozás rezisztenciája, szórási induktivitása nulla;
- b) a rezgőkör veszteségmentes;
- c) a diódák ideálisak (nyitóirányban U_D értékű feszültséggenerátorral helyettesíthetők);
- d) a tirisztorok ideálisak, kikapcsolásukhoz szükséges a megfelelő nagyságú kíméleti idő.

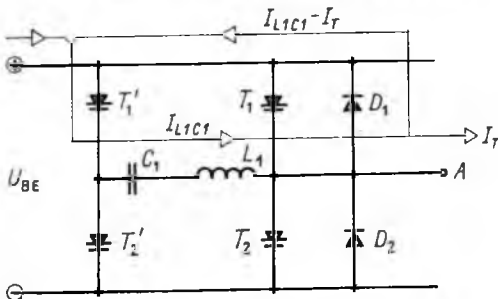
Az oltás folyamán a vezetési állapotokat az 5-2 – 5-6. ábrán ábrázoltuk.



5-2. ábra. Áramvezetés a félhídban, $t < t_0$

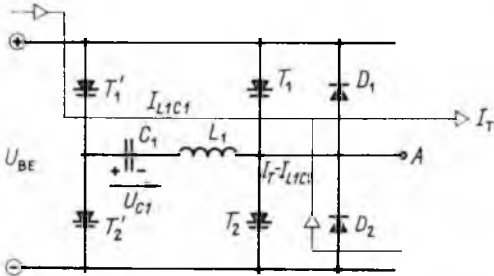


5-3. ábra. Áramvezetés a félhídban, $t_0 < t < t_1$

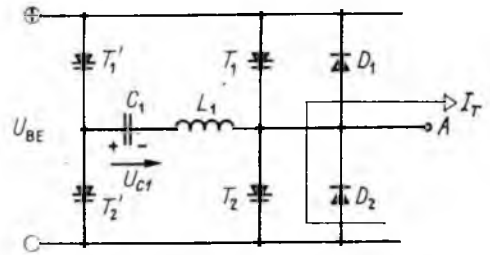


5-4. ábra. Áramvezetés a félhídban, $t_1 < t < t_2$

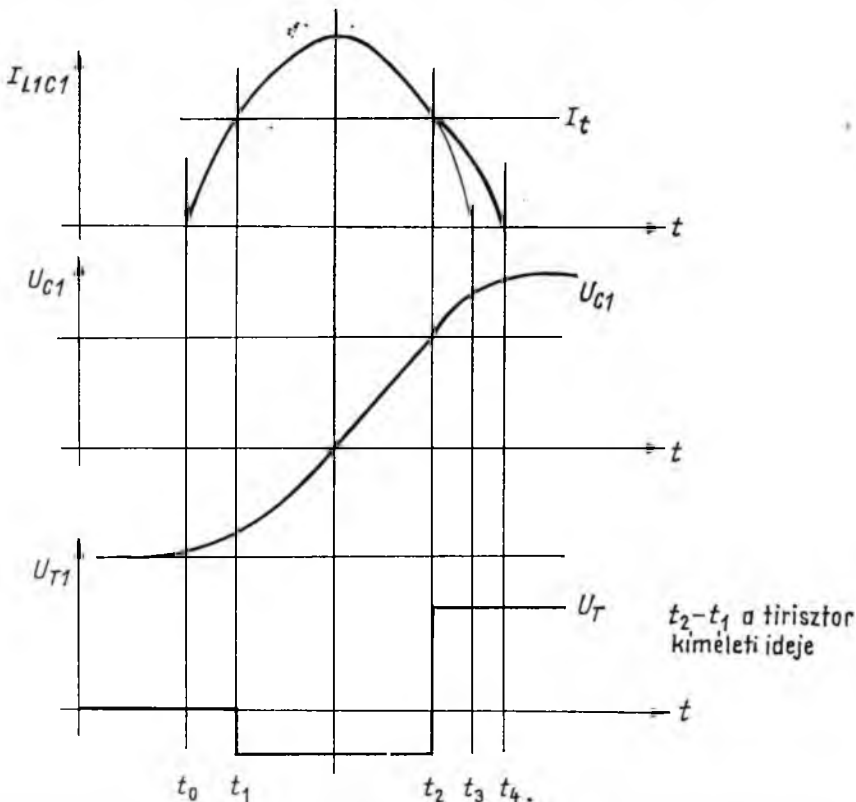
A kommutáció előtt a T_1 tirisztor vezeti az induktív jellegű terhelőáramot (5-2. ábra). A feltöltött C_1 kondenzátor feszültsége U_{C1} . A kommutáció T_1' tirisztor gyújtásával kezdődik. A rezgőkör árama szinuszosan nő (5-3. ábra). Amikor $i_{L1C1} = I_T$ -vel a T_1 tirisztor I_{T1} árama nullára csökken és i_{L1C1} további növekedésekor a D_1 dióda nyit (5-4. ábra). Amíg $i_{L1C1} > I_T$ a D_1 dióda vezeti $i_{L1C1} - I_T$ áramot, a dióda nyitóirányú feszültségesése kapcsolódik a $T1$ tirisztorra záróirányban. Amikor $i_{L1C1} = I_{L1C1\max}$, akkor a C_1 kondenzátor feszültsége nulla, és i_{L1C1} csökkenésekor a feszültség iránya megfordul. Ha a rezgőköri i_{L1C1} áram a terhelőáram I_T



5-5. ábra. Áramvezetés a félhídban, $t_2 < t < t_4$



5-6. ábra. Áramvezetés a félhídban, $t_4 < t$



5-7. ábra. Feszültség- és áramviszonyok a félhídban, kommutáció alatt, ideális esetben

értéke alá csökken a D_1 dióda lezár, D_2 dióda kinyit és vezet az $I_T - i_{L_1 C_1}$ áramot (5-5. ábra).

A kommutáló árama — a C_1, L_1 áramkörü elemek által meghatározott félperiódus végén — nullára csökken és a teljes terhelőáramot a D_2 dióda vezet (5-6. ábra). Az egyszerűsítések figyelembevételével a kommutáló áramot ($i_{L_1 C_1}$) a kondenzátor feszültségét (U_{C_1}) és a főtirisztor feszültségének (U_{T_1}) időbeli lefolyását az 5-7. ábrán láthatjuk.

2. A valóságos viszonyok figyelembevétele

a) A huzalozás szórás inductivitása

A nulldióda (D_1) huzalozásának szórás inductivitásán indukálódó $L_1 \frac{di_{L_1 C_1}}{dt}$ feszültség előjelhelyesen hozzáadódik a tirisztorra jutó zárófeszültséghez és csökkenti a tirisztor feléledésére rendelkezésre álló időt (5-8. ábra, 5-9. ábra).

A valóságban mindig meglévő szórás inductivitások miatt a méretezésnél

$$\frac{t_2 - t_1}{2} = \frac{T}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \arcsin \frac{I_T}{I_{L_1 C_1 \max}} \right)$$

idővel számolhatunk, ahol

$$T = 2\pi \sqrt{L_1 C_1}; \quad I_{L_1 C_1 \max} = \frac{U_{C_1} - U_{D_1}}{\sqrt{\frac{L_1}{C_1}}}$$

b) Veszteséges rezgőkör

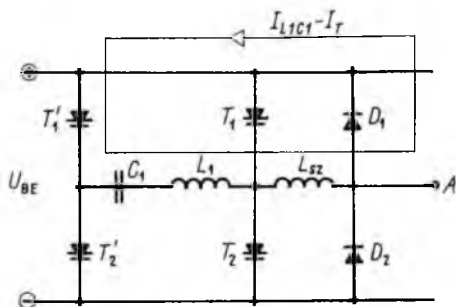
A veszteségek miatt a kondenzátor feszültsége az átpolarizálódás után kisebb lesz, mint a kezdeti értéke. Induktív terhelés esetén ezt a hatást ellensúlyozza (5-7. ábra $t_2 - t_4$ idő) a kondenzátor utántöltése. Ettől eltérő általános esetben azonban gondoskodnunk kell a veszteségek pótlásáról a kondenzátorok periodikus utántöltésével. Ez a $T'_1 T_2$ tirisztorok (vagy T'_2 és T_1) egyidejű gyújtásával lehetséges. A kondenzátor feszültsége ekkor $2U_{BE} - U_{C_1 E}$ lesz, ahol $U_{C_1 E}$ a kondenzátor feszültsége az utántöltő periódus előtt.

c) Valóságos diódák

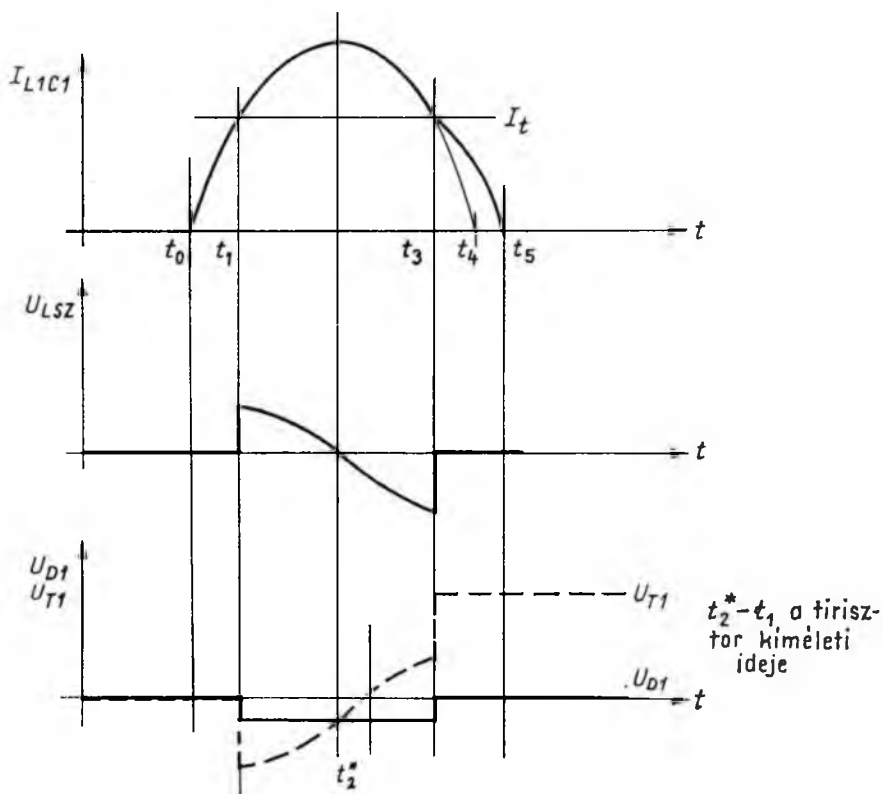
A diódák nem pillanatszerű kikapcsolása miatt az éppen nyugalomban levő oltótirisztoron — T_1 oltásakor T'_2 -ön — a $U_{BE} + U_{C_1}$ feszültség jelenik meg nyitóirányban az oltókörü áram nullátmenetekor D_1 diódazáróirányú feléledési ideje alatt. Az oltótirisztorok feszültség-igénybevételét U_{C_1} értékre csökkenthetjük, ha t_3 időpontelőtt kezdjük az utántöltést.

d) Valóságos tirisztorok

A valóságos tirisztorok az 1. pontban leírt ideális tirisztorokkal szemben a dinamikus ellenállásuk, nyitóirányú feszültségességük és nem végtelen gyors átkapcsolásuk miatt a kommutálókörü veszteségeket növelik. Hatásuk a rezgőkörü veszteségek hatásával egyezik meg.



5-8. ábra. Feszültség- és áramviszonyok a kommutáció alatt a huzalozás szórási inductivitásának figyelembevételével

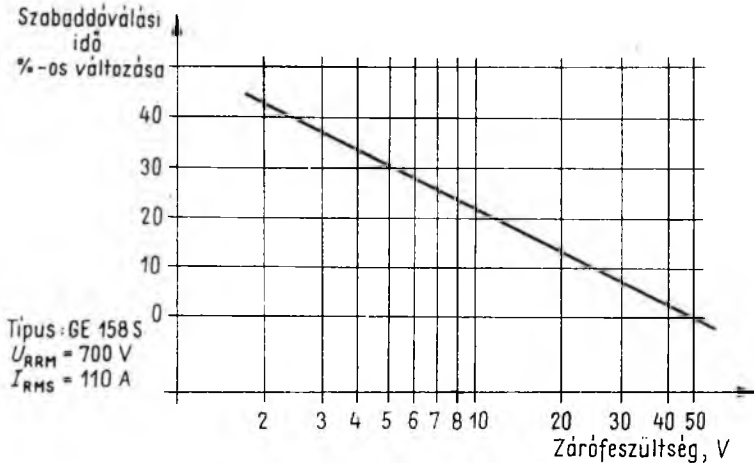


5-9. ábra. A kommutáló áramkör a szórási inductivitások figyelembevételével

3. A tirisztorra jutó zárófeszültség növelésének lehetőségei

A gyártó cégek a tirisztorok szabadvávási idejét a zárófeszültség függvényében adják meg [2]. Erre mutat példát az 5-10. ábra. Az ábrából is látható, hogy a méretezés szempontjából fontos, hogy mekkora zárófeszültség kerül a tirisztorra.

A tirisztorra jutó zárófeszültséget növelhetjük, ha a diódával sorbakötünk egy olyan áramköri elemet, amelynek feszültségesése a dióda feszültségéhez hozzáadódik.



5-10. ábra. A szabadvávási idő változása a tirisztorra jutó zárófeszültség függvényében

a) Soros ellenállás közbeiktatása (5-11. ábra)

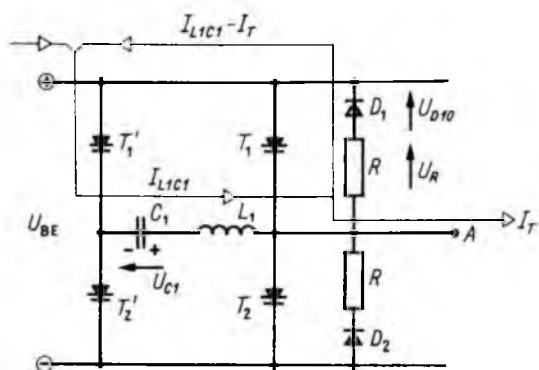
A tirisztorra $U_{D1} + (i_{L1} C1 - I_T)R$ feszültség kerül záróirányban, amelynek időbeli változását az 5-12. ábrán mutatjuk be.

A megoldás hátránya az, hogy a rezgőkör jósági tényezője rontja és a főáramköri veszteségeket is növeli, mert meddő terhelés esetén a nulldiódák árama az ellenállásokon is átfolyik.

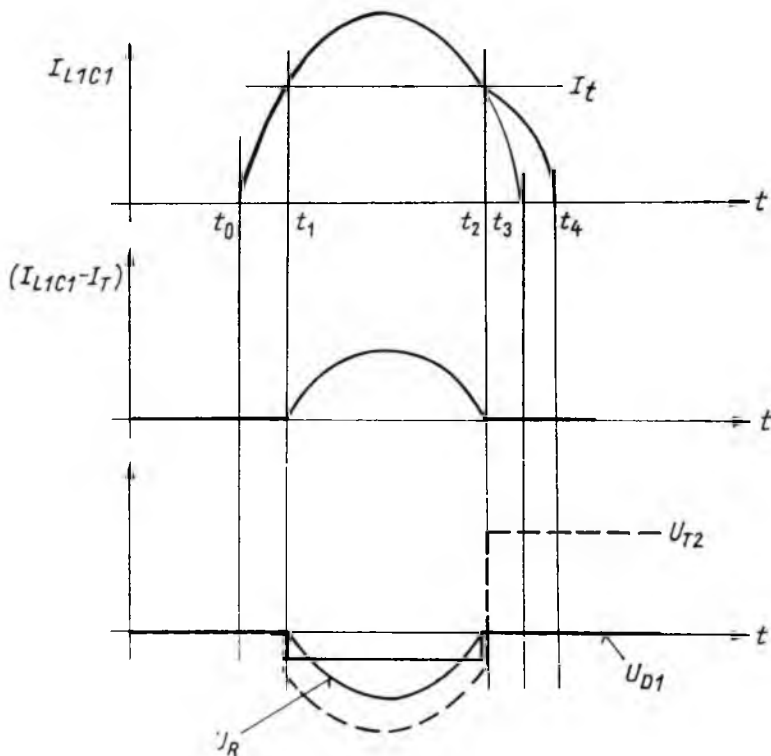
b) Soros fojtótekercs közbeiktatása (5-13. ábra)

A tirisztorra jutó feszültség időbeli változását az 5-14. ábrán mutatjuk be. Az L_f fojtótekercsek méretezésekor figyelembe kell venni, hogy a soros induktivitás hozzáadódik L_1 , L_2 kommutáló fojtótekercsek induktivitásához és így megváltoztatja a kommutáló áram csúcserőértékét és periódusidejét. Ebben a megoldásban a felére csökken az az idő, amíg a tirisztoron zárófeszültség van, de a megnövelt zárófeszültség miatt csökken a tirisztor feléledési ideje (5-10. ábra). Meddő terhelés esetén a nulldióda árama átfolyik az induktivitáson.

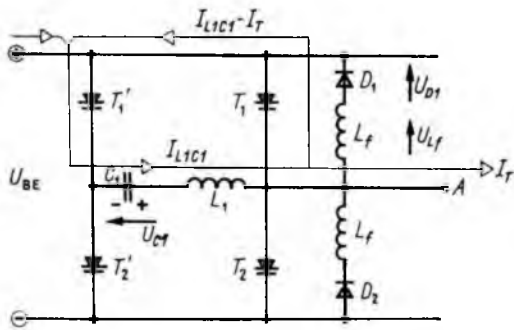
Összehasonlítva a két megoldást, a diódákkal sorbakötött fojtótekercs alkalmazása a kedvezőbb a hatásfok szempontjából, mert többletvesztésként csak a kötések és a fojtótekercs vesztesége jelentkezik.



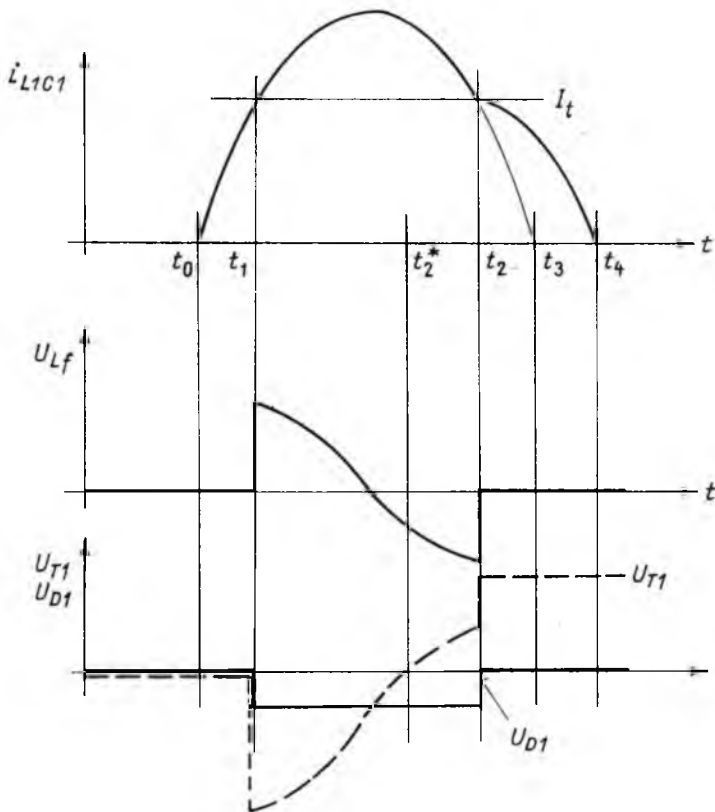
5-11. ábra. Kommutáló áramkör soros ellenállás közbeiktatásával



5-12. ábra. Feszültség- és áramviszonyok a kommutáció alatt soros ellenállás közbeiktatása esetén



5-13. ábra. Kommutáló áramkör soros fojtótekercs közbeiktatásával



5-14. ábra. Feszültség- és áramviszonyok a kommutáció alatt soros fojtótekercs közbeiktatása esetén

4. Méretezési szempontok

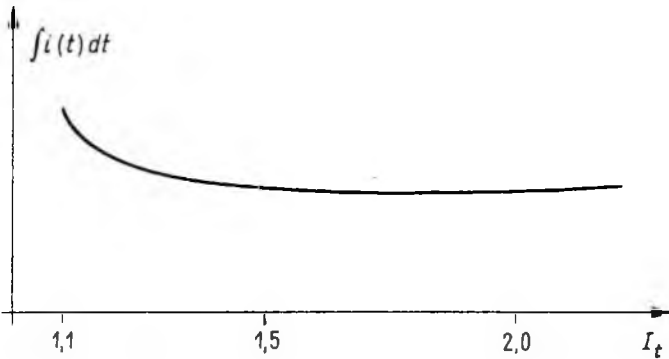
A kommutálókör veszteségeit a félvezetők veszteségei és az ohmos veszteségek jelentik. Egy kommutáció alatt a veszteségeket a következő képlettel számolhatjuk

$$W = \int_{t_0}^{t_1} i_{L1\ C1}^2(t) R \, dt + \int_{t_0}^{t_1} u(t) i_{L1\ C1}(t) \, dt \quad \text{Ws,}$$

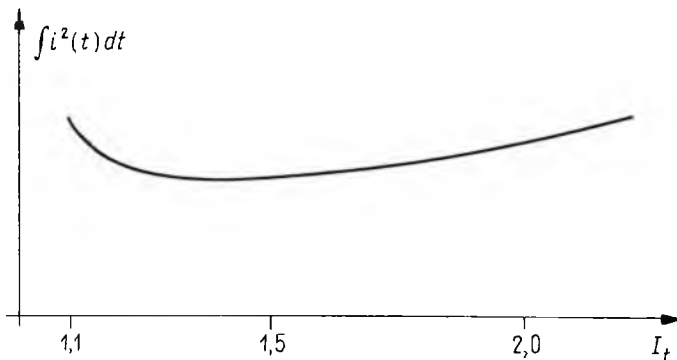
ahol R a kommutáló kör rezisztenciája;

$U(t)$ a félvezetők nyitóirányú feszültségesése (T_1 és D_1).

Az alkalmazott kapcsolástól és elrendezéstől függ, hogy a veszteségek szempontjából melyik rész a meghatározó jellegű. A minél jobb hatásfok elérése céljából érdemes a kommutáló áramcsúcsot ennek megfelelően megválasztani. Egy kommutáció alatt a veszteség két összetevőjének alakulását az 5-15. és 5-16. ábrán mutatjuk be az $\frac{I_{L1\ C1\ \max}}{I_T}$ hányados függvényében.



5-15. ábra. Az egy kommutáció alatti áram középértékének változása a kommutáló áram csúcsértékének függvényében



5-16. ábra. Az egy kommutáció alatti áram effektív értékének változása a kommutáló áram csúcsértékének függvényében

A számításnál a veszteségek hatását az áram jelalakjára elhanyagoltuk, és így a következő egyenletek adódtak

$$i_{L1 C1}(t) = \frac{U_{C1}}{\sqrt{\frac{L1}{C1}}} \sin \omega t \quad t_0 \leq t \leq t_2$$

$$i_{L1 C1}(t) = \frac{U_{BE} - U_{C1}}{\sqrt{\frac{L1}{C1}}} \sin \omega t + I_T \cdot \cos \omega t \quad t_2 \leq t \leq t_4.$$

Az 5-15 ábrán az

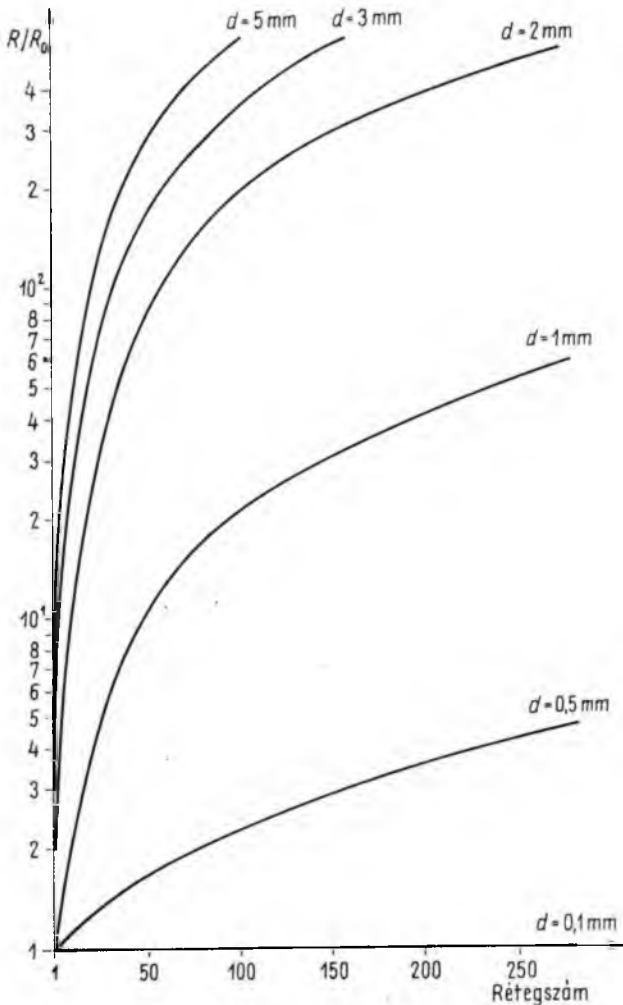
$$\int_{t_0}^{t_4} i_{L1 C1}(t) dt,$$

az 5-16. ábrán pedig az $\int_{t_0}^{t_4} i_{L1 C1}(t) dt$ változását ábrázoltuk. A kommutáló áramkör kialakításától függ, hogy a veszteségek melyik összetevője a meghatározó. Az 5-15. ábra szerint az árammal arányos veszteségeknek tág tartományban, míg az 5-12. ábra szerint az áram négyzetével arányos veszteségeknek $(1,3 \dots 1,8) \times I_T$ kommutáló áramcsúcsnál van minimuma.

A veszteségek csökkentése céljából a kommutáló áramot érdemes minél kisebbre beállítani, annak figyelembevételével, hogy még biztosítsuk a tirisztorok számára szükséges feléledési időt. Irodalomból [3] ismert olyan megoldás, amikor a kommutáló áram közel négyzetű lefolyású, amelyet egy késleltető művonallal biztosítanak. A megoldás hátránya, hogy sok hangolt áramkörelemet tartalmaz.

4. Kommutáló fojtótekerics igénybevétele

Gyakorlati esetekben a kommutáló áram 4...6 kHz frekvenciájú, így a tekercsekben jelentős az áramkiszorítás. Ennek hatása a tekercs ellenállásváltozásában jelentkezik [4]. Az 5-17. ábrán az R/R_0 rezisztenciaváltozást ábrázoltuk (R_0 a tekercs egyenáramú rezisztenciája). A huzalátmérő függvényében, többretegű tekercsek esetén, 5 kHz-es frekvenciánál. Az ábrából az látható, hogy a veszteségek csökkentése céljából a szükséges keresztmetszetet többérű vezetőből érdemes kialakítani.



5-17. ábra. A kommutáló fojtótekercs rezisztenciájának változása 5 kHz frekvencián különböző huzalátmérő és menetszám esetén

Irodalom

- [1] Murray, W. Mc.: SCR Inverter Commutated by an Auxiliary Impulse. IEEE Trans. Commun. Electron. Vol. 83. Nov. 1964. pp. 824–829.
- [2] General Electric: Semiconductor Data. Handbook Third Edition.
- [3] Palaniappan: Abrol Datta and Joseph Vithaythil. Modified Mc Murray. Inverter with Pulse Forming Network commutation circuits. IEEE Trans on Industrial Electronics and Control Instrumentation. Vol. IECI—24 No. 1. Febr. 1977. pp. 66–73.
- [4] Simonyi Károly: Elméleti villamosságtan. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.
- [5] Bedford, B. D.—Hoft, R. G.: Principles of Inverter Circuits. Wiley, 1964.

6.

Követő szabályozással ellátott szinuszos kimeneti feszültségű inverterek analízise

HUSZTI GYÖRGY—DR. NAGY LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben a szerzők a relés követőszabályozással megvalósított szinuszos kimenet-feszültségű inverterek gyakorlati megvalósítása során jelentkező néhány problémával foglalkoznak. A jelenségek vizsgálata számítógépes modellezés segítségével történik. Az analízis elsősorban a belső áramszabályzó hurokra terjed ki és feltárja a kimeneten jelentkező lassan változó feszültség-összetevő eredetének okát.

АНАЛИЗ ИНВЕРТОРОВ С СИНУСОИДАЛЬНЫМ ВЫХОДНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ, СНАБЖЕННЫХ СЛЕДЯЩИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Д-р. Хусзти—д-р Л. Надь

Резюме

В статье авторы занимаются некоторыми проблемами, возникающими при практической реализации инверторов синусоидального выходного напряжения, по релейной следящей схеме управления. Исследование явлений выполняется моделированием на вычислительной машине. Анализ охватывает в первую очередь замкнутую схему управления током и скрывает причину возникновения медленноменяющегося составляющего напряжения.

ANALYSE DER MIT RELAIS-FOLGEREGELUNG VERSEHENEN WECHSELRICHTER MIT SINUSFÖRMIGER AUSGANGSSPANNUNG

Gy. Huszti — Dr. L. Nagy

Zusammenfassung

Im Aufsatz befassen sich die Verfasser mit einigen Problemen, die im Laufe der praktischen Verwirklichung der durch Relais-Folgerregelung verwirklichten sinusförmigen Ausgangsspannungs-Wechselrichter vorkommen. Die Führung der Erscheinungen findet durch Rechenautomaten-Modellbau statt. Die Analyse erstreckt sich vor allem auf die innere, stromregelnde Schleife und deckt die Ursache der Entstehung der am Ausgang vorkommenden, sich langsam ändernden Spannungskomponente auf.

ANALYSIS OF INVERTERS REALIZING A SINUSOIDAL OUTPUT VOLTAGE BY THE APPLICATION OF A BANG-BANG CONTROL

By Gy. Huszti — Dr. L. Nagy

Summary

In this paper the authors deal with some problems emerging during the practical realization of sinusoidal output voltage inverters realized by a Bang-Bang control. The analysis comprises — first of all — the internal current control loop and reveals the cause of the slowly changing voltage-components emerging at the output.

1. Bevezetés

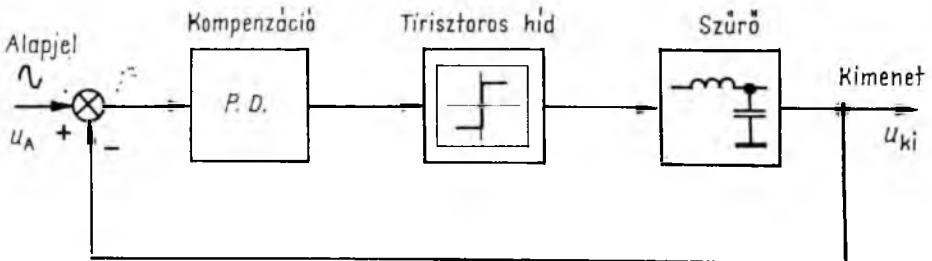
A szünetmentes energiaellátó rendszerek egyik alapvető elemét képező inverterek működési sajátosságainak vizsgálata, jobb paramétereket biztosító, új műszaki megoldások keresése napjainkban a teljesítményelektronikai kutatások egyik fontos területe. Ennek nem utolsósorban a nagy adatfeldolgozó és folyamatirányító számítógép-rendszerek elterjedése az oka, amelyek fokozott minőségi követelményeket támasztanak az energiaellátással szemben. Lényeges jellemző az inverter kimeneti feszültségének terhelésugrásokra bekövetkező tranzienst változása. Az említett területen való alkalmazás esetén a feszültségletörés és túllövés, valamint a szabályozási idő minél kisebb értékben való tartására kell törekedni. Az ez irányban folyó kutató- és fejlesztőmunka néhány alapkérdéséről a Budapesten megrendezett 3. Erősáramú Elektronikai Konferencián számoltak be a szerzők.

E cikkben a szerzők az ott bemutatott megoldás gyakorlati megvalósítása során felmerült problémákkal kívánnak foglalkozni, kiemelve ezek közül a kimeneti feszültségben megjelenő lassan változó komponensek kérdéskörét.

2. A követőszabályozással ellátott inverter elvi felépítése és realizálása

Először az [1]-ben javasolt szabályozókör felépítését kívánjuk bemutatni a részletes ismertetés mellőzésével. Az elvi felépítés a 6-1. ábrán látható.

Az ábra szerinti relés követő szabályozás gyakorlati realizálásakor az ideális kapcsoló karakterisztikáját nem lehet megvalósítani, mivel a „relét” alkotó tirisztoros hídkapcsolás véges határfrekvenciával rendelkezik és a bemutatott elvi megoldásban — mint ahogy azt [1]-ben igazoltuk — a követés végtelen frekvenciáig terjedő „segéd-



6-1. ábra. Követő szabályozással ellátott inverter elvi felépítése

rezgésekkel” történik. Az említett véges határfrekvencia a tirisztorok biztonságos kommutációjához szükséges időminimumból adódik, ezenkívül a kapcsolások számának leszorítása a veszteségek csökkentése szempontjából is indokolt. A megvalósítás során így feltétlenül gondoskodni kell két, egymást követő kapcsolat közötti időtartam minimalizálásáról.

3. A két kapcsolat közötti időtartam minimalizálása

A két kapcsolat közötti időtartam minimális értékének beállítására több lehetőség kínálkozik. Ezek közül — műszaki szempontokat is figyelembe véve — a következő két módszert vizsgáltuk meg:

- a) Egy külön erre a célra kialakított járulékos áramkör biztosítja, hogy a tirisztoros híd egy meghatározott időtartamnál rövidebb ismétlődési idejű kapcsolási parancsokra érzéketlen maradjon.
- b) A minimális időtartamot hiszterézises reléjelleggörbe állítja be.

Mindkét megoldás jellegzetessége, hogy a beavatkozások helye a szinuszos alapjelhez viszonyítva tetszőleges lehet, de kapcsolások egy jól definiált időnél rövidebb ütemben nem történhetnek.

A kísérleti körülmények közötti vizsgálatok eredményei a dinamikus tulajdonságok tekintetében kedvezők voltak, igazolták az elvi modellre alapozott elvárásokat. Állandósult állapotban viszont egy lassan változó összetevő jelent meg a kimeneti feszültségben. A továbbiak során ennek keletkezési körülményeivel foglalkozunk.

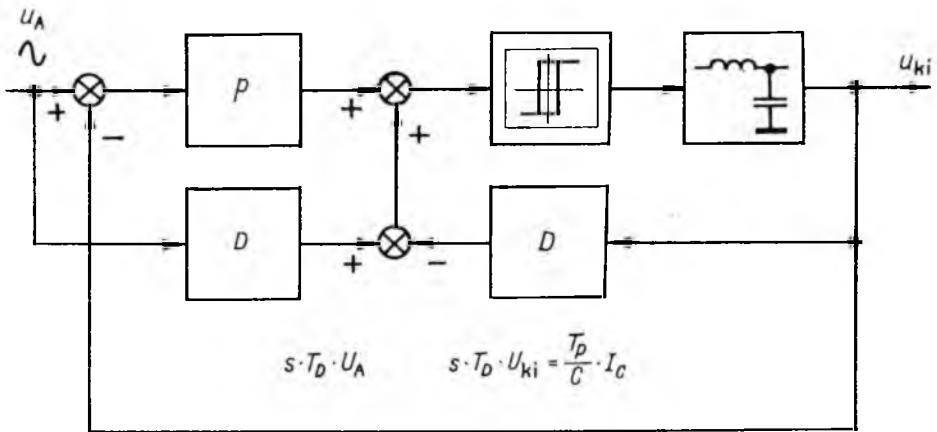
4. A kimenet lassan változó feszültségösszetevőjének vizsgálatához használt modell

A jelenség elvi vizsgálatát számítógépes modellezéssel hajtottuk végre hiszterézises reléjelleggörbe esetére. A választást az indokolta, hogy a hiszterézises karakterisztika matematikai modellje egyszerűbb, mint az időkorlátozó áramköré, továbbá a kísérletek során a kétféle módon felépített szabályozó kör azonos tulajdonságokat mutatott.

A vizsgálati modell megalkotása céljából a 6-1. ábrán látható hatásvázlatot a hiszterézises relékarakterisztika figyelembevételével a kompenzáló tag felbontásával célszerű átalakítani (6-2. ábra). Az átalakított hatásvázlat alapján a szabályozó kör két párhuzamosan működő hurokra bontható. A P-kompenzációt tartalmazó hurok arányos amplitúdó-összehasonlítást végez, a D-tagokat tartalmazó pedig a kimeneti szűrő kondenzátorának áramával arányos mennyiséget hasonlít össze az alapjel differenciálhányadosával. A szabályozó fizikai működése állandósult állapotban így a következőképpen is megfogalmazható:

A szinuszos alapjel differenciálhányadosa „előírja” a kimeneti szűrőkondenzátor áramának alapharmonikusát, a D-tagokat tartalmazó hurok erre a vezetőjelre végez kapcsolóüzemű követő szabályozást. A P-kompenzációt tartalmazó kör olyan amplitúdókorrekciót hajt végre, amely kiegyenlíti az áramszabályozás nemlinearitásából eredő alapjel és a kimeneti feszültség közötti alapharmonikus eltéréseket.

A lassan változó feszültségösszetevők kimutatását a rendszer fizikai működésből eredő szétválaszthatóságának felhasználásával az alábbi, indirekt úton végeztük el:



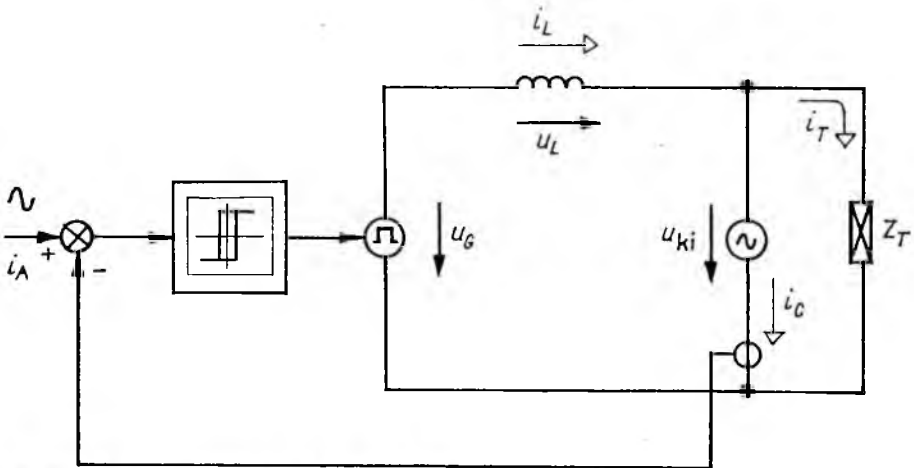
6-2. ábra. A hisztérezist tartalmazó relés követő szabályozás átalakított hatásvázlata

A kimeneti kondenzátort állandó amplitúdójú, tisztán alapharmonikusfeszültség-generátorral helyettesítve meghatározható az áramszabályozó hurok működése következtében ezen a generátoron átfolyó áram. Ha ennek periódusonként vett integrálja zérustól eltérő, akkor a valóságos kimeneten megjelenik a lassan változó feszültségösszetevő.

Az előzők alapján felállított és a számítások elvégzéséhez használt modellt a 6-3. ábra mutatja be.

A 6-3. ábra alapján a következő Kirchoff-egyenletek írhatók fel:

$$\left. \begin{aligned} I_L &= I_C + I_T, \\ U_G &= U_L + U_{ki}. \end{aligned} \right\} \quad (6.1)$$



6-3. ábra. Az áramszámításhoz használt modell

A soros fojtótekeres feszültsége pedig

$$U_L = L \frac{di_T}{dt} + L \frac{di_C}{dt}. \quad (6.2)$$

Mivel az U_{ki} feszültséget tisztán alapharmonikusnak tételeztük fel, az I_T áram is az. Így (6.2) egyenlet jobb oldalának első tagja szintén alapharmonikus feszültséget jelent:

$$U_L = U_{TL} + K \frac{di_C}{dt} \quad (6.3)$$

A (6.3); (6.2) és (6.1) második egyenlete alapján a kondenzátor árama kifejezhető:

$$i_C = \int_0^t \frac{U_G - (U_{TL} + U_{ki})}{L} \cdot dt. \quad (6.4)$$

A 6-3. ábra alapján (6.4) összefüggés segítségével az I_C áram numerikus eljárással meghatározható.

5. A kondenzátoráram meghatározására szolgáló számítógépes program felépítése

A 6-3. ábrán szereplő I_A áramvezetőjel kifejezése legyen a következő alakú:

$$i_A = \hat{I}_A \cdot \sin \omega t, \quad (6.5)$$

ahol ω az alapharmonikus körfrekvencia. A kondenzátor alapharmonikus feszültségét reprezentáló generátor ehhez képest 90° -kal késő jelet szolgáltat:

$$u_{ki} = -\hat{U}_{ki} \cdot \cos \omega t. \quad (6.6)$$

A terhelés hatását jelképező U_{TL} alapharmonikus feszültséget a (6.6)-tal meghatározott feszültséggel vektoriálisan összegezni kell (6-4. ábra).

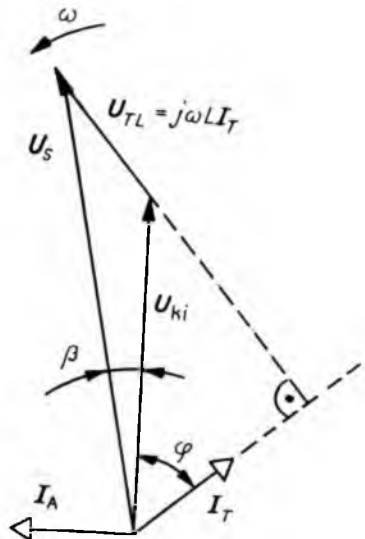
Az így nyert feszültségösszeg időfüggvényének általános kifejezése:

$$u_s = -\hat{U}_s \cdot \cos (\omega t - \beta). \quad (6.7)$$

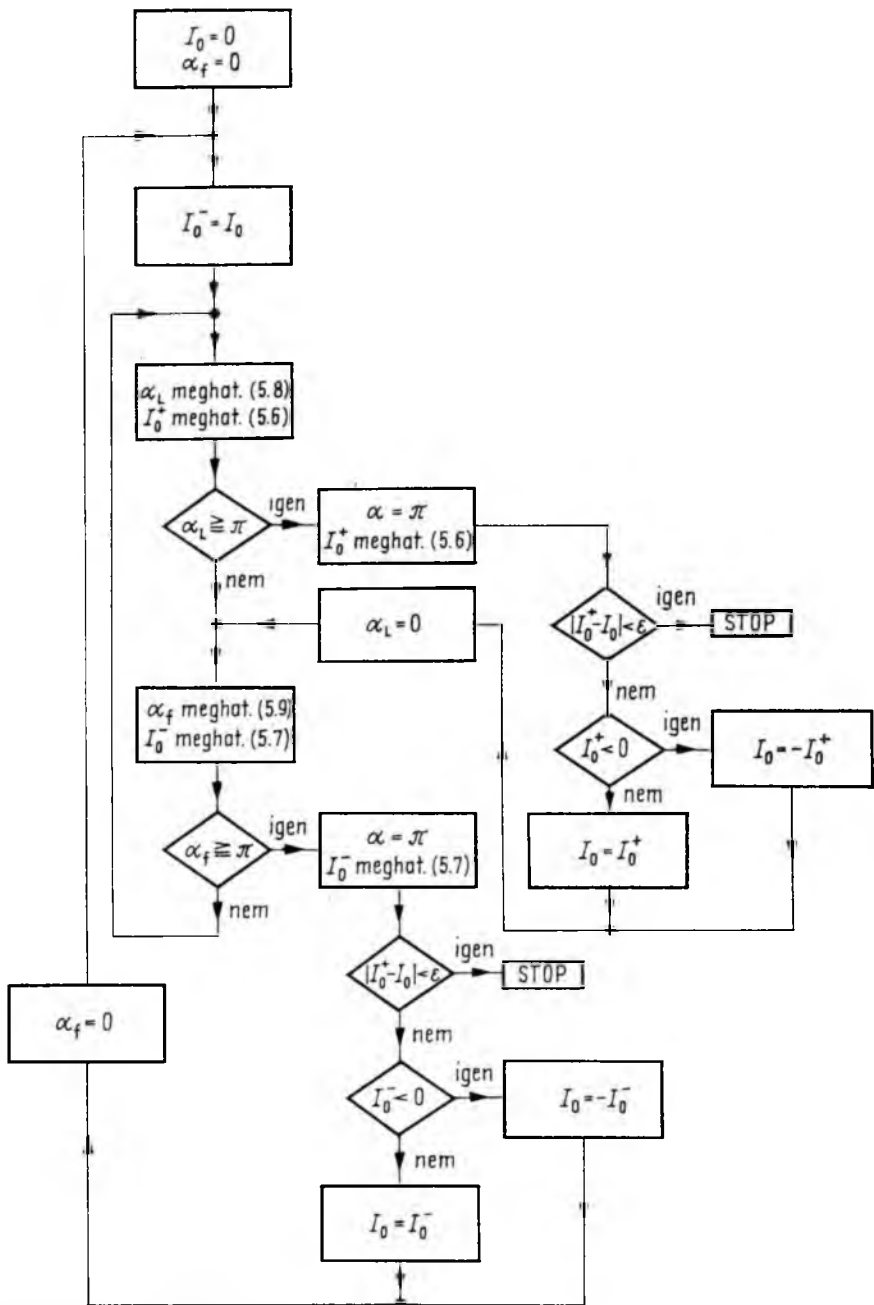
Figyelembe véve, hogy az U_G gerjesztőfeszültség $+E$ vagy $-E$ értéket vesz fel (E az egyenáramú kör feszültsége), az áramra (6.4) alapján a következő összefüggéseket nyerjük:

$U_G = +E$ esetén:

$$i_C^+ = \int_{t_1}^t \frac{E + \hat{U}_s \cdot \cos (\omega t - \beta)}{L} dt + I_0^-, \quad (6.8)$$



6-4. ábra. U_s meghatározása



6-5. ábra. A számítógépes program felépítése

$U_G = -E$ esetén:

$$i_{\bar{C}} = \int_{t_1}^t \frac{-E + \hat{U}_s \cdot \cos(\omega t - \beta)}{L} dt + I_0^+, \quad (6.9)$$

ahol t az idő mint futó változó;

t_f a felkapcsolás ($U_G = E$) pillanata;

t_1 a lekapcsolás pillanata ($U_G = -E$);

$i_{\bar{C}}^+$ a felkapcsolás alatti áram;

$i_{\bar{C}}^-$ a lekapcsolás alatti áram;

I_0^+ a kondenzátor árama a felkapcsolásból lekapcsolásba való váltáskor;

I_0^- a kondenzátor árama a lekapcsolt állapotból felkapcsolt állapotba történő váltáskor.

A (6.8) és (6.9)-ben az $\alpha = \omega t$ helyettesítést alkalmazva és az integrálásokat elvégezve:

$$i_{\bar{C}}^+ = \frac{E}{\omega L} (\alpha - \alpha_f) + \frac{\hat{U}_s}{\omega L} \cdot [\sin(\alpha - \beta) - \sin(\alpha_f - \beta)] + I_0^- \quad (6.10)$$

$$i_{\bar{C}}^- = -\frac{E}{\omega L} (\alpha - \alpha_1) + \frac{\hat{U}_s}{\omega L} [\sin(\alpha - \beta) - \sin(\alpha_1 - \beta)] + I_0^+. \quad (6.11)$$

Ha a 6-3. ábrán szereplő hiszterézis áramban kifejezett értékét I_H -val jelöljük, akkor az átkapcsolások helyeit a következő egyenletek ből lehet meghatározni:

A lekapcsolás helye (6.5) és (6.10) alapján az

$$\hat{I}_A \cdot \sin \alpha + I_H = \frac{E}{\omega L} (\alpha - \alpha_f) + \frac{\hat{U}_s}{\omega L} [\sin(\alpha - \beta) - \sin(\alpha_f - \beta)] + I_0^-, \quad (6.12)$$

a felkapcsolás helye pedig (6.5) és (6.11) alapján az

$$\hat{I}_A \cdot \sin \alpha - I_H = -\frac{E}{\omega L} (\alpha - \alpha_1) + \frac{\hat{U}_s}{\omega L} [\sin(\alpha - \beta) - \sin(\alpha_1 - \beta)] + I_0^+ \quad (6.13)$$

transzcendens egyenletek α -ra történő megoldásából adódik.

A (6.12) és a (6.13) megoldásához numerikus módszereket kell használni. Az alkalmazott szukcesszív aproximációs eljárás szubrutinként került be a számítógépes programba.

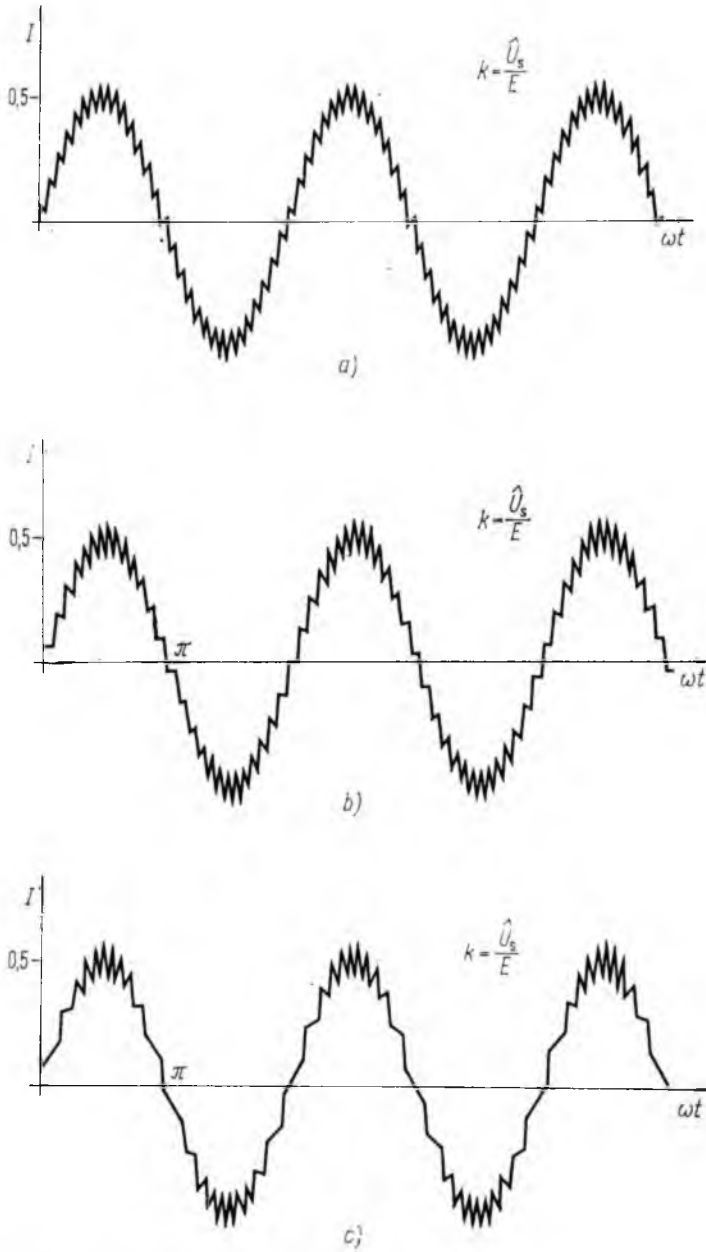
A számítógépes program felépítése a 6-5. ábrán látható.

6. Számítási eredmények

Az előző pontban ismertetett számítógépes programmal megvizsgáltunk néhány terhelési állapotot. A kiértékelést relatív egységekben végeztük, amelyek alapmenyiségei:

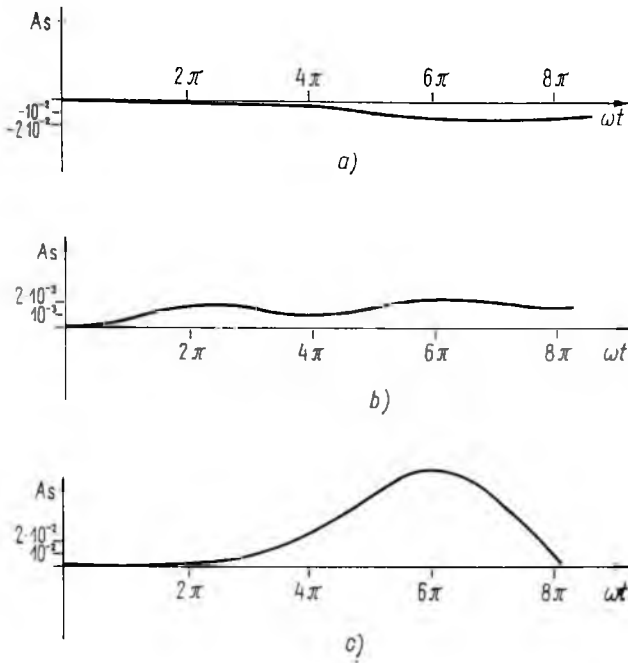
$$U_a = E, \quad I_a = \frac{E}{\omega L}.$$

A kapott eredmények a 6-6. ábrán láthatók. Az áramgörbék integráljait a 6-7. ábra mutatja.



6-6. ábra. Áramhullámforma

- a) $k = 0,8$; $\beta = 0^\circ$
 b) $k = 1$; $\beta = 0^\circ$
 c) $k = 1,3$; $\beta = 0^\circ$



6-7. ábra. Az átam periódusonként vett integrálja

- a) $k = 0,8$; $\beta = 0^\circ$
 b) $k = 1$; $\beta = 0^\circ$
 c) $k = 1,3$; $\beta = 0^\circ$

7. Összefoglalás

A számítási eredmények alapján megállapítható, hogy a kimeneten keletkező lassan változó feszültségösszetevő a rendszer működési sajátossága és ennek forrása a differenciáló jellegű kompenzációt tartalmazó hurok. Megjelenésével mindig számolni kell az ismertetett követő szabályozással ellátott inverter kimeneti transzformátorának méretezésekor.

Irodalom

- [1] Dr. Nagy László—Huszi György: Relés követő szabályozás alkalmazása szinuszos kimeneti feszültségű inverterek megvalósításához. 3. Erősáramú Elektronika Konferencia. Budapest, 1977.

7.

Közepes és nagyteljesítményű híradástechnikai szünetmentes váltakozóáramú áramellátó rendszerek

DR. NAGY LÁSZLÓ—PRÁGAI GYÖRGY

ÖSSZEFOGLALÁS

A Villamosipari Kutató Intézetben 1975—77 években kifejlesztett egyfázisú szünetmentes váltakozóáramú áramellátó rendszer családja felépítésében és műszaki paramétereiben illeszkedik a speciális híradástechnikai követelményekhez.

Minden rendszer akkumulátortelep — mint energiatárolót — és egyenirányítókat tartalmazó egyenáramú részből, továbbá inverterekből, valamint kimeneti tirisztorkapcsolókból álló váltakozóáramú részből tevődik össze.

Az egyenáramú rész felépítése olyan, hogy az inverterek táplálása mellett biztosítani lehet az akkumulátortelep élettartamára nézve optimális üzemállapotokat.

A váltakozóáramú részben a különösen jó dinamikus tulajdonságú inverterek és tirisztorkapcsolók lehetővé teszik, hogy esetleges hiba esetén és a fogyasztó zavarása nélkül szelektálni lehet a hibás egységeket.

СИСТЕМЫ БЕСПРЕРЫВНОГО ПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СРЕДНЕЙ И БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

д-р Л. Надь—Дь. Прагаи

Резюме

Типовой ряд системы непрерывного питания однофазным переменным током, разработанный в ВКИ за 1975—1977 гг. по своему построению и по техническим параметрам согласованы со специальными радиотехническими потребностями.

Каждая система состоит из аккумуляторной батареи (в части постоянного тока) как накопителя энергии, далее из схемы переменного тока, имеющей из инверторы и выходные тиристорные переключатели.

В построении части постоянного тока, кроме питания инверторов обеспечен оптимальный режим, необходимый максимальному ресурсу аккумуляторной батареи.

Инверторы и тиристорные ключи с хорошими динамическими свойствами в случае появления неисправностей позволяют локализовать неисправных блоков, не влияя при этом на потребители.

UNTERBRECHUNGSFREIE MITTEL-UND HOCHLEISTUNGS-WECHSELSTROM-STROMVERSORGUNGSSYSTEME FÜR DIE NACHRICHTENTECHNIK

Dr. L. Nagy — Gy. Prágai

Zusammenfassung

Die im Forschungsinstitut der Elektroindustrie in den Jahren 1975-77 entwickelte einphasige unterbrechungsfreie Wechselstrom-Stromversorgungsfamilie passt sich — in ihrem Aufbau und ihren technischen Parametern — den speziellen nachrichtentechnischen Anforderungen an.

Jedes System setzt sich aus einem Akkumulator — als Energiespeicher — und Gleichrichtern ferner aus Wechselrichtern, sowie einem aus Ausgangs-Thyristorschaltern bestehenden Wechselstromteil zusammen.

Der Gleichstromteil ist so aufgebaut, dass ausser der Energieversorgung der Wechselrichter auch die optimalen Betriebszustände für die Lebensdauer der Akkumulatorbatterie gesichert werden können.

Im Wechselstromteil sichern die Wechselrichter und Thyristorschalter besonders gute dynamische Eigenschaft und im Falle einer Störung selektive Abschalten.

NO BREAK MEDIUM- AND HIGH-POWER A.C. SUPPLY SYSTEMS FOR TELECOMMUNICATION

By Dr. L. Nagy — Gy. Prágai

Summary

The single-phase no brake a.c. power supply system developed in the Research Institute of the Electrical Industry in 1975-77 accomodates itself to the special telecommu-nical requirements in its construction and technical parameters.

Every system consists of a d.c. part containing a rectifier and an accumulator and an a.c. part consisting of inverter and output thyristor switches.

The construction of the d. c. part makes possible — besides the feeding of the inverters — to ensure the optimal operational circumstances for the lifetime of the storage battery.

In the a.c. part the inverters and thyristor switches possessing especially good dynamic property make possible to select the defective units without disturbing the consumer.

1. Bevezetés

Az általában rendelkezésre álló közfogyasztói váltakozóáramú hálózat minőségi jellemzői, nevezetesen a

- feszültségtartás pontossága,
- feszültségalak torzítása,
- áramellátás folytonossága,
- áramellátás folyamatossága, illetve megbízhatósága

nem minden fogyasztó igényét elégíti ki maradéktalanul. Esetenként elegendő a felsorolt paraméterek egyikének korrekciója is, de egyre több az olyan fogyasztó, amely megköveteli ezt a táphálózat minden felsorolt jellemzőjénél. Természetesen ezek súlyozása fogyasztónként más és más. Pl. egy kórházi intenzív őrzőszoba áramellátásánál a folytonosság az elsőrendű követelmény és a feszültségalak torzítására már nem olyan szigorúak az előírások, valamint néhányszor 100 μ s nagyságrendű áramkimaradások is megengedhetők. Ezzel szemben pl. egy számítóközpont áramellátásánál a folyamatosság mellett esetenként a 100%-os folytonosság is követelmény lehet, a nagyfokú feszültségtartási stabilitáson és kis torzításon kívül.

A feladat még bonyolultabbá válik, ha számításba vesszük a felhasználó olyan egyéb kívánalmait is, mint pl. gazdaságosság, csökkentett kezelés és karbantartási igény, későbbi esetleges bővíthetőség lehetősége stb. De nem elhanyagolható a gyártók tipizálási törekvéséből adódó nehézség sem.

Optimális megoldás csak az erősáramú elektronika elemeinek alkalmazásával érhető el. Tirisztoros vagy tranzisztoros átalakítók — egyenirányítók, inverterek,

konverterek — valamint akkumulátortelepek alkalmas összekapcsolásával lehet létrehozni, olyan áramellátó rendszert, amely a követelményeknek minden szempontból megfelel.

2. A VKI-ban fejlesztés alatt álló áramellátó rendszer

A fejlesztés alatt álló SzVA típusú közép- és nagyteljesítményű áramellátó rendszerek a tervek szerint

- 16...300 kVA egyfázisú
- 50...900 kVA háromfázisú

teljesítményhatárok között alkalmazhatók

- SzVAH típusjellel háromfázisú
- SzVAE típusjellel egyfázisú
- SZVAP típusjellel postai egyfázisú

fogyasztók táplálására.

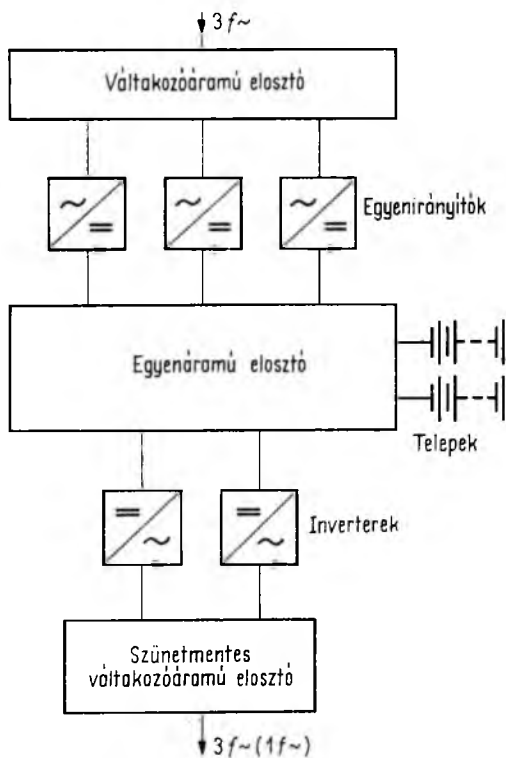
Az áramellátó rendszerek elvi felépítése azonos. A szünetmentes váltakozóáramú táplálást igénylő fogyasztókat ellátó invertereket a közbenső energiatárolásra szolgáló telepekkel is összekapcsolt egyenirányítók táplálják. A rendszerhez tartoznak a rendszer elemeit egymással, valamint a táphálózattal és a fogyasztóval összekötő kiegészítő szekrények is.

A beépített egységek darabszámát és egységteljesítményét a fogyasztói teljesítményigény és a kívánt megbízhatósággal összefüggő redundancia együttesen határozza meg. Az áramellátó rendszer „tipizált család” felépítése lehetővé teszi ugyanis, hogy közel azonos rendszerteljesítményt, pl. több kisebb egységteljesítményű vagy kevesebb, de nagyobb egységteljesítményű inverter alkalmazásával érjük el. Természetesen az eredő megbízhatóság mindegyik esetében más és más lesz (7-1. ábra).

Egy teljes áramellátó rendszer — bár egységes egészet alkot — funkcionálisan kétfő részre osztható: egyenáramú részre és váltakozóáramú részre.

2.1 Egyenáramú rész

Az egyenáramú rész feladata a váltakozóáramú rész energiaellátása oly módon, hogy a váltakozóáramú szünetmentes fogyasztói kapcsokon



7-1. ábra. Az SZVA típusú áramellátó rendszer felépítése

az energiaszolgáltatás paraméterei az előírtak legyenek. Ennek érdekében az egyenáramú rész egyenirányítókat, telepet, valamint ezeket egymással és a fogyasztói sínrel összekötő kapcsolókat tartalmaz. A váltakozóáramú táphálózat meglétekor az egyenirányítók táplálják a váltakozóáramú részt, mint egyenáramú fogyasztót és egyben kondicionálják a közbenső energiátárolásra szolgáló telepeket. A váltakozóáramú táphálózat kimaradásakor a váltakozóáramú rész táplálását azonnal a telepek veszik át. A váltakozóáramú táphálózat visszatérésekor a váltakozóáramú részt ismét az egyenirányítók fogják táplálni és egyidejűleg feltöltik a telepeket is.

Az egyenirányítók tirisztoros, teljesen vezérelt hídkapcsolásúak, egységes IC-s szabályzókörrrel. Kimeneti egyenfeszültségük tág határok között beállítható, ezért alkalmasak

$$n_c = 100 \dots 110 \text{ db}$$

közötti cellaszámú savas akkumulátorral párhuzamos üzemre

$$u'_c = 2,2 + 2,25 \text{ V/c}$$

üzemi feszültséggel és

$$u'_c'' = 2,35 - 2,4 \text{ V/c}$$

gyorstöltési feszültséggel. Természetesen lúgos akkumulátorok is alkalmazhatók, de figyelembe kell venni a savas akkumulátoroktól eltérő tulajdonságaikat.

Az egyenirányító teljesítményét több tényező is befolyásolja, többek között

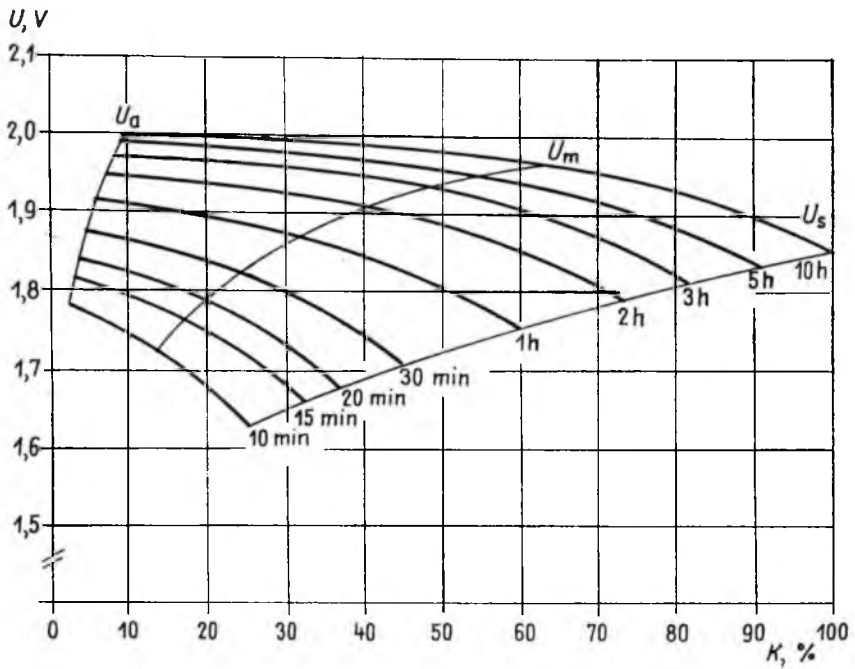
- a szükségelt áthidalási idő, illetve az ezzel szorosan összefüggő telepkapacitás nagysága;
- az alkalmazott telep fajtája.

Ez jól látható a 7-2., 7-3., 7-4. ábrán, ahol két különböző felépítésű savas, illetve egy lúgos akkumulátor kisütési jelleggörbéi hasonlíthatók össze egymással. Így például rövid ideig tartó kisütés esetén a különböző teleptípusoknál — azonos kisütési teljesítményt feltételezve — eltérő névleges telepkapacitások adódnak, amihez természetesen eltérő töltőáram, illetve töltőteliesség tartozik.

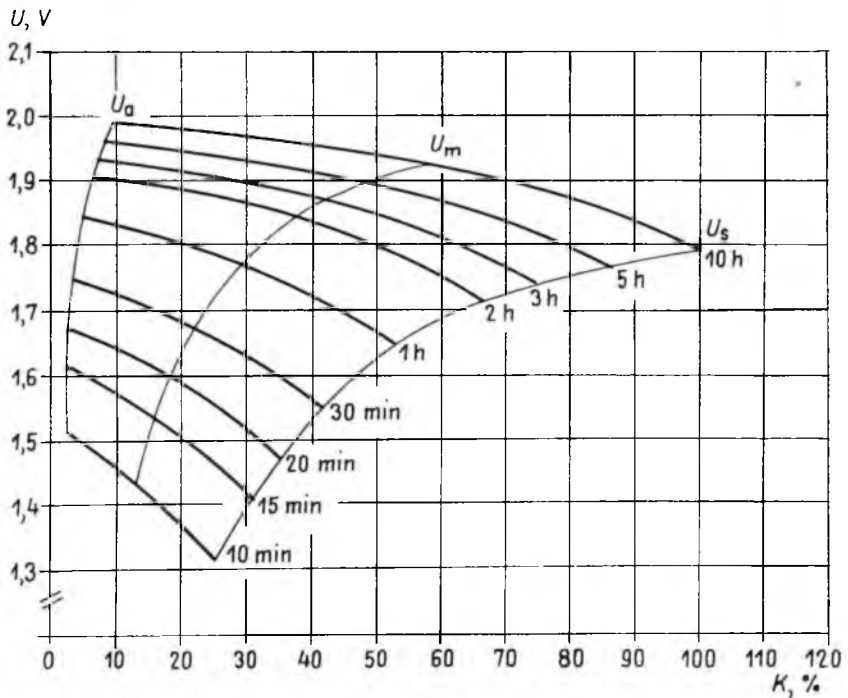
A közölt jelleggörbék csak tájékoztató jellegűek, mivel azok állandó áramú kisütésre vonatkoznak, az inverterek viszont állandó teljesítménnyel terhelik a telepet.

Az egyenáramú részben legalább három egyenirányító van, egyik közvetlenül az egyenáramú fogyasztói sínre, a másik kettő pedig egy-egy telepre csatlakozik. Így az első egyenirányító közvetlenül, a második és harmadik egyenirányító pedig a telepekkel párhuzamosan táplálja a váltakozóáramú részt, mint egyenáramú fogyasztót és egyidejűleg kondicionálja a telepsínekre kötött akkumulátorokat is. Ebben az üzemállapotban mindhárom egyenirányító kimeneti feszültsége 2,20...2,25 V/c-nek megfelelő, ez egyben megfelel az egyenáramú fogyasztói feszültségnek is.

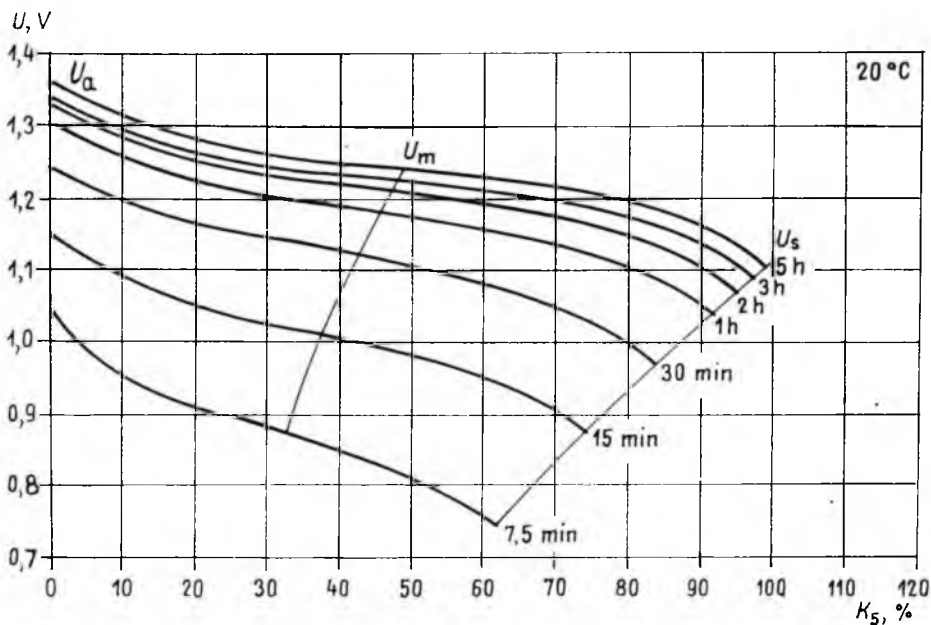
A váltakozóáramú táphálózat kimaradásakor a váltakozóáramú rész táplálását természetesen azonnal átveszik az akkumulátorok. A fogyasztói feszültség ekkor igen rövid idő alatt 2,0 V/c-ra esik le, majd a telep kisülése következtében fokozatosan 1,6...1,8 V/c-ra csökken. A hálózat visszatérése után a telepek a hozzájuk tartozó egyenirányítóval egymás után egyenként lekapcsolódnak a fogyasztói sínről. Az így leválasztott telepet egyenirányítója kb. 6...8 órán keresztül 2,35...2,4 V/c-nak megfelelő feszültséggel gyorstölti. Karbantartás stb. céljából a gyorstöltés külön nyomógombokkal kézzel is elindítható. Ennek különösen nagyméretű, megnövelt elektrolitterű páncéllakkumulátoroknál van fokozottabb jelentősége, mivel az időnkénti



7-2. ábra. Nagyfelületű lemezes ólomakkumulátor kisütési jelleggörbéi



7-3. ábra. Műanyag szövettáskás, páncéllemez ólomakkumulátor kisütési jelleggörbéi



7-4. ábra. Lúgos akkumulátor kisütési jelleggörbéi

gyorstöltőüzem által előidézett erőteljesebb elektrolitkeringés meggátolja az elektrolit fajsúly, illetve koncentráció szerinti rétegződését és az ebből eredő korróziót.

Ez az elrendezés igen megbízható üzemet biztosít. Ha gyorsöltés közben ismételt hálózatkimaradás következik be, az egyenáramú energiaellátásban szünet nem keletkezhet, mert valamelyik telep a kettőből mindig össze van kötve a fogyasztóval.

Közismert, hogy lúgos (NiFe, illetve NiCd) telepekkel a savas akkumulátornál szokásos „pufferüzem” nem lehet tartani; ezért ezekhez kidolgoztunk Ah-figyelő áramkört, amely figyeli a telepből kivett energia mennyiségét függetlenül attól, hogy volt-e hálózatkimaradás vagy sem. Egy határérték elérésekor automatikusan gyorsöltésre kapcsolja a telephez tartozó egyenirányítót és egyidejűleg leválasztja a fogyasztóról a telepet. A kivett energia kb. 120...150%-ának visszatöltése után visszakapcsol normál hálózati üzemre. Ez a figyelőáramkör egy LED-es kijelzőt is tartalmaz, amely-lyel vizuálisan is ellenőrizhető a telep pillanatnyi töltöttségi állapota.

Az egyenáramú rész névleges kimeneti feszültsége — az áramellátó rendszer köz-
belső egyenfeszültsége — 40 kVA egyfázisú, illetve 120 kVA háromfázisú inverter
egységjeljesítmény alatt 220 V, 40, illetve 120 kVA egységjeljesítménynél lehet 220 V
vagy 400 V, de 100, illetve 300 kVA egységjeljesítménynél mindig 400 V.

Az egyenáramú résznek az előzőkben ismertetett felépítése kettős előnnyel jár:

- az egyenáramú fogyasztói feszültség mérsékelt ingadozása szélső esetben is csak 2,25 V/c és 1,60 V/c között teszi lehetővé, hogy a váltakozóáramú rész invertereit jobb hatásfokúra lehessen méretezni, ami közvetlenül növeli a rendszer eredő hatásfokát,
- a telepek kezelése, karbantartása vagy esetleg javítása az egyenáramú fogyasztó zavarása nélkül végezhető el.

2.2 Váltakozóáramú rész

Ebben vannak az egyenáramú fogyasztói sínről táplált inverterek, amelyeknek váltakozóáramú kimenete tirisztorkapcsolón keresztül csatlakozik párhuzamosan a szünetmentes váltakozóáramú sínre. Erről a táphálózat felé van egy váltakozóáramú szükségátkapcsolás is, amely az igényektől függően lehet:

- mágneskapcsoló,
- hálózati kommutációs tirisztorkapcsoló,
- kényszerkommutációs tirisztorkapcsoló.

A váltakozóáramú részbe beépített inverterek darabszáma függ a teljesítménytől és a kívánt megbízhatóságtól, illetve tartalékigénytől. Megbízhatósági és gazdaságossági szempontból optimális $(n+1)$ -es (ahol $n = 1, 2, 3$) kiépítést alkalmazunk, ami azt jelenti, hogy az áramellátó rendszer névleges teljesítménye rendre 1-, 2-, és 3-szorosa az inverter teljesítményének és 100%, 50%, illetve 33% melegtartalék áll rendelkezésre. Üzem közben minden inverter be van kapcsolva, és a párhuzamosan járó inverterek közötti egyenletes terhelésselosztásról külön szabályozóköri gondoskodik.

Esetleges inverterhiba alkalmával a hibás egységet tirisztorkapcsolója szelektíven leválasztja a szünetmentes váltakozóáramú sínről, anélkül, hogy ez a fogyasztót megzavarná. A TID típusú inverterek jó dinamikus tulajdonságai biztosítják, hogy még 100%-os terhelésugrás hatására is 10% alatt marad a fogyasztói feszültség tranziense.

3. Az áramellátó rendszerek felépítése

A rendszertechnikai felépítés egységessége mellett törekedtünk a rendszereket alkotó berendezések lehetőséghez képest minél nagyobb mérvű tipizálására is. Ennek megfelelően mindhárom rendszercsalád ugyanazon négy különböző egység teljesítményű egyfázisú inverterből felépíthető. A háromfázisú egységek, három egyfázisú inverter-egység összekapcsolásával állnak össze, nevezetesen

- 16 kVA egység teljesítményű egyfázisú inverterből — 50 kVA háromfázisú,
- 25 kVA egység teljesítményű egyfázisú inverterből — 75 kVA háromfázisú,
- 40 kVA egység teljesítményű egyfázisú inverterből — 120 kVA háromfázisú,
- 100 kVA egység teljesítményű egyfázisú inverterből — 300 kVA háromfázisú.

Az áramellátó rendszerek négyféle egység teljesítményű inverter felhasználásával, rendszercsaládonként tizenkét változatban készülnek, teljesítménylépcsőnként három-három változatban, az $(n+1)$ kiépítésnek megfelelően $1+1 = 2$; $2+1 = 3$; $3+1 = 4$ inverter felhasználásával. A 7-1. és 7-2. táblázatban összefoglalóan látható a rendszerek felépítése. Az összesen 36 különböző áramellátó rendszerhez 220 V névleges közbensőköri egyenfeszültség esetén hat, 400 V névleges közbensőköri egyenfeszültség esetén öt különféle kimeneti teljesítményű egyenirányító szükséges, azonban ha a konstrukciót nézzük, akkor mindössze három változat elegendő.

Az egyes berendezések típuszsekrényekben vannak elhelyezve, amelyeknek szélessége változó, de magassága egységesen 2200 mm. A 16 és 25 kVA teljesítményű egyfázisú, illetve az 50 és 75 kVA teljesítményű háromfázisú invertereket tartalmazó rendszerek mélysége 600 mm, a 40 és 100 kVA teljesítményű háromfázisú invertereket tartalmazó rendszereké pedig 800 mm.

Ez a nagyfokú tipizáltság feltehetően jelentősen lerövidítheti az ipari bevezetés átfutási idejét és a rendszereket a felhasználók körében is keresett terméké teheti.

7-1. táblázat

Az egyfázisú áramellátó rendszer család felépítése

A rendszer		Beépített inverterek	
tipusa	névleges teljesítménye, kVA	egységtelejlesztménye, kVA	darabszáma
SZVAE/P 220/16 – 2/1 × 16	16	16	2
SZVAE/P 220/32 – 3/2 × 16	32	16	3
SZVAE/P 220/48 – 4/3 × 16	48	16	4
SZVAE/P 220/25 – 2/1 × 25	25	25	2
SZVAE/P 220/50 – 3/2 × 25	50	25	3
SZVAE/P 220/75 – 4/3 × 25	75	25	4
SZVAE/P 220/40 – 2/1 × 40	40	40	2
SZVAE/P 220/80 – 3/2 × 40	80	40	3
SZVAE/P 220/120 – 4/3 × 40	120	40	4
SZVAE/P 220/100 – 2/1 × 100	100	100	2
SZVAE/P 220/200 – 3/2 × 100	200	100	3
SZVAE/P 220/300 – 4/3 × 100	300	100	4

7-2. táblázat

A háromfázisú áramellátó rendszer család

A rendszer		Beépített inverterek	
tipusa	névleges teljesítménye, kVA	egységtelejlesztménye, kVA	darabszáma
SZVAH 3 × 380/50 – 2/1 × 50	50	50	2
SZVAH 3 × 380/100 – 3/2 × 50	100	50	3
SZVAH 3 × 380/150 – 4/3 × 50	150	50	4
SZVAH 3 × 380/75 – 2/1 × 75	75	75	2
SZVAH 3 × 380/150 – 3/2 × 75	150	75	3
SZVAH 3 × 380/225 – 4/3 × 75	225	75	4
SZVAH 3 × 380/120 – 2/1 × 120	120	120	2
SZVAH 3 × 380/240 – 3/2 × 120	240	120	3
SZVAH 3 × 380/360 – 4/3 × 120	360	120	4
SZVAH 3 × 380/300 – 2/1 × 300	300	300	2
SZVAH 3 × 380/600 – 3/2 × 300	600	300	3
SZVAH 3 × 380/900 – 4/3 × 300	900	300	4

4. A fejlesztés helyzete és a további feladatok

A rendszertechnikai elvek tisztázásával párhuzamosan megkezdjük a rendszerek legkisebb teljesítményű egységeinek kivitelezését és ezekkel egy-egy prototípus rendszer összeállítását a háromfázisú SZVAH és az egyfázisú SZVAP rendszerből (7-3. táblázat). Jelenleg gyártásban van és még 1979 évben üzembehelyezésre kerül

7-3. táblázat

Az SZVA típusú áramellátó rendszerek főbb műszaki paraméterei

Jellemzők	Értékek
Névleges teljesítmény, kVA SZVAE, ill. SZVAP SZVAH	16...300 50...900
A kimeneti feszültség	
— névleges értéke, SZVAE, ill. SZVAP, V SZVAH, V	220 3×380/220
— pontossága, %	±2
— frekvenciája, Hz	50 Hz±1
— torzítása max., %	5
Táphálózati feszültség, V	3×380/220 V±10%
Szünetmentes áthidalási idő (telepkapacitástól függően), h	0,5...6
Beépített üzemi tartalék, %	100, 50, ill. 33

- egy 100 kVA névleges teljesítményű rendszer (2+1)-es kiépítésben 3 db 50 kVA egység teljesítményű háromfázisú inverterrel az egyik MÁV számítóközpont részére,
- egy 16 kVA névleges teljesítményű rendszer (1+1)-es kiépítésben 2 db 16 kVA egység teljesítményű egyfázisú inverterrel a Magyar Posta részére. A rendszer a későbbiek során (2+1)-es kiépítésűre bővíthető 32 kVA névleges összteljesítménnyel.

A közvetlen jövő feladatát jelenti a 25 és 40 kVA egység teljesítményű egyfázisú inverterek realizálása és az ezekből felépített rendszerek kivitelezése. A következő lépést a 400 V-os közbensőköri egyenfeszültségű rendszerek kutatás-fejlesztése jelenti, amely előreláthatólag áthúzódik a következő tervidőszakra is.

Irodalom

- [1] *Locher, F.*: Übersicht und allgemeine Anforderungen an Energieversorgungsanlagen der elektrischen Nachrichtentechnik. Technische Mitteilungen PTT Nr. 2/1962.
- [2] *Amann, A.*: Geräte einer unterbrechungsfreien Stromversorgungsanlage. Brown Boveri Mitteilungen 9/10–74.
- [3] *Forstbauer, W.*: Unterbrechungsfreie Stromversorgung mit Wechselrichtern. Siemens-Zeitschrift 47 (1973) Heft 2.
- [4] *Dr. Nagy L.—Prágai Gy.*: Komplex áramellátó rendszerek. III. Erősáramú Elektronika Konferencia, Budapest, 1977.



8.

Folytonos és diszkrét szabályozási rendszerek modellezése és digitális szimulációja

KŐHALMY SÁNDOR—PÁPAY ZOLTÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk első részében röviden összefoglaljuk a modellezés és a szimuláció lényegét és indokoljuk alkalmazásuk fontosságát a műszaki gyakorlatban. A következő fejezetben egy gyakorlati alkalmazásra mutatunk példát: egy pozíciószabályozási kört vizsgálunk és optimalizálunk; nevezetesen egy numerikus szerszámgép-vezérlés pozíciószabályozási körét. Azért választottuk ezt a példát, mert egyrészt hasonló hajtásszabályozási körök az intézeti gyakorlatban is előfordulnak, másrészt a konkrét példánk megoldásával az ipari gyakorlatban is jól használható görbéket nyerünk a körerősítési tényező optimális beállításához. A szabályozási kör tervezési elveit részletezve a példán keresztül azt mutatjuk be, hogy milyen szempontokat kell figyelembe venni és milyen méresekkel célszerű elvégezni egy mintavételezett pozíciószabályozási kör méretezésekor.

Az utolsó részben egy, a mintavételezett, de tartószerv nélküli pozíciószabályozási kör stabilitásvizsgálatára általunk kidolgozott számítógépes módszert ismertetünk. Ugyanakkor kitérünk arra is, hogyan kell optimálisan megválasztani a mintavételezési időt mintavételezett szabályozási köröknél. E probléma nagyon időszerű, figyelembe véve a mikroprocesszorok várható elterjedését az erősáramú iparban is.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЦИФРОВАЯ СИМУЛЯЦИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ И ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Ш. Кехалми—З. Папай

Резюме

В первой части статьи кратко сообщается сущность моделирования и симуляции и обосновывается необходимость их применение в технической практике. В следующей части дан пример практического применения: анализируется и оптимизируется система регулирования позицией, в частности схема регулирования позицией цифрового управления металлорежущих станков. Этот пример выбран потому, что — во-первых, подобные схемы регулирования часто применяются практически в Институте, а во-вторых — решением этого конкретного примера получают кривые, хорошо применяемые в промышленной практики для оптимальной установки коэффициента усиления разомкнутой цепи. Детализацией принципов создания схемы регулирования показываются необходимые соображения, и измерения для расчета схемы с выборкой для регулирования позицией.

В последней части излагается разработанный в ВКИ машинный метод анализ устойчивости схемы с выборкой регулирования позицией, не содержащей фиксирующего органа. Кроме этого указывается метод оптимального выбора интервалов выборок в схемах с выборкой для регулирования позицией. Эта проблема является актуальной, так как ожидается распространение микропроцессоров в силовой промышленности.

MODELLIERUNG UND DIGITALE SIMULATION DER KONTINUIERLICHEN UND DISKRETEN REGELUNGSSYSTEME

S. Kőhalmy — Z. Pápay

Zusammenfassung

Im ersten Teil des Aufsatzes wird das Wesen des Modellbaus und der Simulation kurz zusammengefasst und die Wichtigkeit ihrer Anwendung in der technischen Praxis begründet. Im folgenden Teil wird ein Beispiel für eine praktische Anwendung gezeigt: ein Positionsregelungskreis — namentlich der Positionsregelungskreis einer numerischen Werkzeugmaschinensteuerung — wird geprüft und optimallisiert. Wirt haben dieses Beispiel gewählt, teils weil ähnliche Antriebsregelungskreise auch in der Praxis des Instituts vorkommen, teils weil wir durch die Lösung unseres konkreten Beispiels zur optimalen Einstellung des Kreisverstärkungsfaktors auch in der industriellen Praxis gut anwendbare Kurven bekommen. Die Entwurfsprinzipien des Regelungskreises ausführlich darlegend wird mit Hilfe eines Beispiels vorgestellt, was für Standpunkte berücksichtigt und was für Messungen bei der Bemessung des probenentnommenen Positionsregelungskreises auf Grund der Zweckmässigkeit durchgeführt werden müssen.

Im letzten Teil wird eine von uns ausgearbeitete Rechnermethode zur Stabilitätsprüfung des probenentnommenen — aber kein Tragwerk besitzenden — Positionsregelungskreises dargelegt. Zur selben Zeit breiten wir uns auch darüber aus, wie die Probenentnahmezeit bei probenentnommenen Regelungskreisen optimal gewählt werden muss. Dieses Problem ist sehr zeitgemäss, wenn wir die voraussichtliche Verbreitung der Mikroprozessoren auch in der Starkstromindustrie berücksichtigen.

MODELLING AND DIGITAL SIMULATION OF THE CONTINUOUS AND DISCRETE CONTROL SYSTEMS

By S. Kőhalmy — Z. Pápay

Summary

In the first part of the paper the essence of the modelling and the simulation are summarized and the importance of their application is motivated in the technical practice. In the following part an example is given for the practical use: we investigate and optimize a position-regulating circuit, namely the position-regulating circuit of a numerical machinetool control. This example has been chosen, partly because there are similar drive-regulating circuits in the practice of the Institute as well, partly by solving our concrete example, curves to be used well in the industrial practice can be obtained to the optimal adjustment of the circuit amplification factor. The designing principles of the regulating circuit summarizing we introduce by an example what points of view have to be taken into consideration and what measurements are expedient to be carried out in the dimensioning of a sampled position-regulating circuit.

The last part introduces the sampled computer method elaborated by us for stability-investigation of the position-regulating circuit without framework. At the same time we mention as well how the sampling time has to be chosen best in sampled regulating circuits. This problem is very up-to-date, taking into consideration the expectable spreading of the microprocessors in the heavy-current industry, too.

1. Modellezés és szimuláció

A modellezés és a szimuláció jelentősége a műszaki gyakorlatban egyre inkább növekszik. A technika robbanásszerű fejlődése a tudományos — technikai forradalom jelenlegi szakaszában egyre nagyobb igényekkel lép fel a szakemberekkel szemben; ugyan-

akkor a gyors technikai fejlődés következtében rohamosan elterjedő számítógépek a modellezés és a szimuláció lehetőségeit nagymértékben fokozzák.

A különböző egységekből, alrendszeréből álló fizikai rendszerek viselkedését modellek segítségével kívánjuk vizsgálni. A modell a valóságos rendszer lényeges vonásait magában hordó és kiemelő mása, leképzése. A valóságos rendszert — többnyire — a bármilyen részletes és bármilyen aprólékosan kidolgozott modell sem helyettesíti teljes mértékben. A modellt a felmerülő kérdéseknek csak egy részére képes választ adni, míg az egzaktabb vizsgálatok céljából finomítani kell, vagy új modellt kell alkotni. A fizikai rendszerek paraméterekkel (időállandók, átviteli tényezők stb.) és változókkal (be- és kimenő jelek, zavarójelek, állapotváltozók stb.) írhatók le. A modellalkotás célja a valóságos rendszer jellemző sajátosságainak és paramétereinek felismerése, identifikálása, a modell céljának megfelelően a rendszer valósághű leképzése. A gyakorlatban általában fizikai, analóg és matematikai modelleket dolgoznak.

A fizikai modell a valóságos rendszer kicsinyített (bizonyos esetekben nagyított) mása. Hátrányos, hogy általában minden egyes paraméterváltoztatásnál új modellt kell építeni.

Az analóg modellezés a különböző rendszerek között mutatkozó fizikai hasonlóságokat használja ki, és a vizsgált rendszert egészen más fizikai jellegű modellel helyettesíti (pl. áramlástan feladatok villamos analógián alapuló modelljei). Sok esetben analóg fizikai, más esetekben analóg matematikai modellekről beszélünk. Ez utóbbi esetben az analóg modellre felírt matematikai egyenletekkel dolgoznak.

A matematikai modell a rendszer viselkedését leíró matematikai összefüggés. Közönséges egyenlet írja le a statikus modelleket, míg differenciálegyenlet, integro-differenciálegyenlet, integrálegyenlet (folytonos folyamatos modell) és differenciálegyenlet (diszkrét modell) a dinamikus modelleket. Ha a matematikai összefüggést analóg, hibrid vagy digitális számítógépen oldjuk meg, analóg, hibrid vagy digitális gépi megoldás esetén analitikus modellekről beszélünk. A modelleket még más szempontok szerint is osztályozhatjuk (pl. determinisztikus, sztochasztikus modellek stb.).

Szimuláció a modellen végzett kísérleteket értjük, amelyek célja — ahogy később látni fogjuk — általában az optimalizálás vagy a stabilitásvizsgálat. A matematikai szimuláció problémamegoldó eszköz, lényegében matematikai kísérlet. Segítségével valóságos viszonyok között meg sem valósítható folyamatok (pl. ürrepülés) vagy igen költségesen, nehezen megvalósítható beavatkozásokat igénylő folyamatok (nagy teljesítmény, a beavatkozás a folyamatos üzem megszakítását kívánva, a vizsgálandó folyamat messze van, a vizsgálathoz számítógépre van szükség stb.), valamint vészhelyzetet szimuláló folyamatok (pl. erőműveknél) vizsgálhatók.

A matematikai modellen bizonyos paraméterhalmaz mellett elvégzett kísérlet (szimuláció) alapján a megoldások egy halmazát kapjuk. A nagyszámú változat kiszámításához — főleg az optimális megoldás megtalálásához — a szimuláció még lineáris modellek esetén is előnyös, de még sokkal hasznosabb a nemlineáris modellekkel kapcsolatban, amikor analitikus megoldásra többnyire nem számíthatunk.

Ez utóbbi esetben a matematikai szimulációt analóg, hibrid vagy digitális számítógép segítségével hajtjuk végre. Ezek közül a digitális szimuláció szolgáltatja a legpontosabb eredményeket, de sokszor elegendő az egyszerűbb, gyorsabb és olcsóbb analóg gépek által szolgáltatott pontosság. A hibrid szimuláció — szerencsés megválasztás esetén — a digitális és az analóg szimuláció előnyeit egyesítheti.

A modellezés és a szimuláció jó segédeszköz a szabályozási rendszerek analizését és szintézisét végző szakemberek kezében. Segítségükkel könnyebben valósíthatók meg optimális vagy optimumkereső és adaptív rendszerek, főleg a modellreferenciás adaptív irányítási rendszerek. A közvetlen számítógépes folyamatirányítás (DDC-

direct digital control) is hasznosíthatja a modellezést és szimulációt, ugyanis a folyamatirányítás első feladata a megfelelő folyamatmodell felállítása, kipróbálása. Ezt használjuk fel az irányítási algoritmusok kidolgozásához. A modellezést és a szimulációt nemcsak az irányítástechnikában, hanem a műszaki és a gazdasági élet más területén is sikerrel alkalmazzák.

A modellezés és a digitális szimuláció alkalmazását egy pozíciószabályozási kör vizsgálatán és optimalizálásán keresztül mutatjuk be. Ezzel azt szeretnénk érzékeltetni, hogy a módszer intézetünkben is alkalmazható, többek között szabályozott villamos hajtások számítógépes vizsgálatára. Példaként egy numerikus szerszámgép-vezérlés pozíciószabályozási körét modellezzük, szimuláljuk és optimalizáljuk, mivel a gép-ipar fejlődésében egyre nagyobb szerepet játszanak a numerikus vezérlésű szerszámgépek. A műszaki követelmények növekedése megkívánja a hajtás-alapgép-rendszer paramétereinek optimális beállítását a minél pontosabb megmunkálás elérése érdekében.

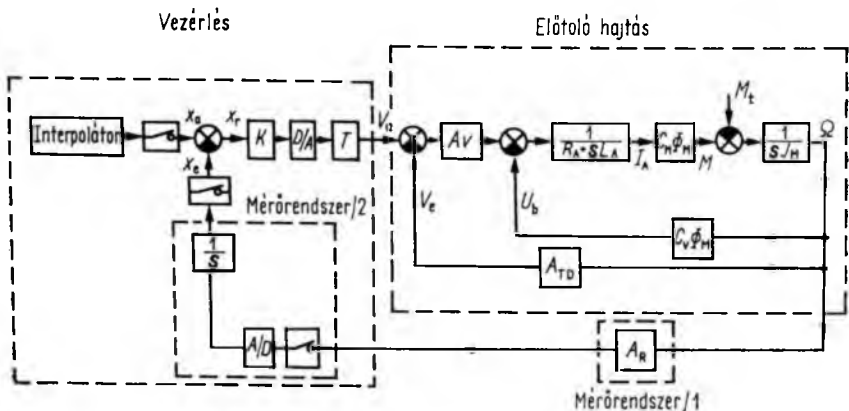
Végül kitérünk a mintavételezett rendszerek számítógépes vizsgálatára is. A mikroprocesszorok megjelenése és elterjedése a szabályozott ipari folyamatoknál, hajtásoknál is várható. A folyamat ebben az esetben már gyakran nem tekinthető folytonosnak. Az ilyen rendszerek stabilis működését biztosító körerősítés meghatározására bemutatunk egy alkalmas számítógépes módszert és foglalkozunk a mintavételezési frekvencia megválasztásával is. A mintavételezett rendszerekben legtöbbször tartószerv is van, ami a rendszer működésének matematikai leírását megnehezíti. Számítási eredményeink ennek ellenére jó minőségi képet adnak a kritikus körerősítési tényező változásáról a mintavételezési idő függvényében. Mikroprocesszoros szabályozási rendszerekben gyakran kritikus lehet a mintavételezési idő megválasztása, hiszen ha a mintavételezési idő túl kicsi, akkor nincs elegendő idő a megelőző mérési ciklus adatait feldolgozó mikroprocesszor-utasítások végrehajtására. Megmutatjuk, hogy e mintavételezési időt hogyan célszerű megválasztani a rendszer átviteli függvényének ismeretében.

2. Szabályozási körök modellezése, digitális szimulációja és optimalizálása a numerikus szerszámgép-vezérlés pozíciószabályozási körének vizsgálatával

2.1 A szerszámgép-vezérlés pozíciószabályozási körének rövid ismertetése, modellalkotás

A szerszámgépek numerikus pályavezérlésének az a feladata, hogy a szerszámot a munkadarab mentén egy numerikusan leírt pályán meghatározott sebességgel mozgassa. A szerszám pályája a gép egyes szánjainak szimultán mozgása révén jön létre. Az általában kettő vagy három gépszánt (amelyek egy ortogonális koordináta-rendszerhez vannak hozzárendelve) olyan pozíciószabályozó kör irányítja, amelynek alapjelét a numerikus vezérlésben kiszámított előírt pozícióérték képezi. Az egyes pozíciószabályozási körök egymástól teljesen függetlenek. Ez azt jelenti, hogy az egyik tengely mozgásában bekövetkező zavar a többi gépszán mozgását nem befolyásolja.

A numerikus pályavezérlések pozíciószabályozási köreinek egy lehetséges elrendezését, modelljét mutatja a 8-1. ábra hatásvázlata. Az ábra egy tengelyre vonatkozik. A szabályozási kör a következő részekre osztható fel: a vezérlés, az előtoló hajtás és a mérőrendszer részét képező rezolver, amely Mérőrendszer/1 elnevezéssel szerepel az ábrán. A mérőrendszer másik része Mérőrendszer/2 jelöléssel a tényleges pozíció regisztere az A/D konverterrel. Ez a regiszter összegezi a rezolver sebességgel arányos

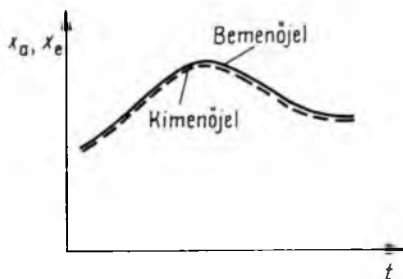


8-1. ábra. A pozíciószabályozási körök egy lehetséges modelljének hatásvázlata numerikus pályavezérlések esetében

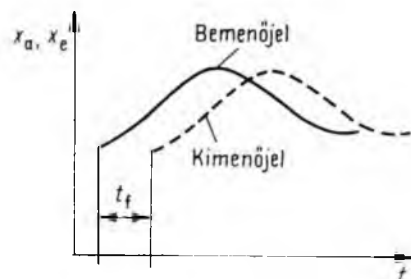
hibajeleit, azaz integrál, és egyúttal a rezolver referenciáját is képezi a következő mérési ciklushoz. A hatásvázlatban a matematikailag is figyelembe vett tagokat átviteli függvényük képviseli. (s komplex változó, az átviteli függvény a kimenő jel és a bemenő jel Laplace-transzformáltjának hányadosa.) Amint az ábrán is feltüntetettük, a szabályozási kör mintavételezett szakaszokat is tartalmaz. Az elegendően gyakori mintavételezés és a tartószerv jelenléte miatt a pozíciószabályozási kör — amint később látni fogjuk — szabályozástechnikailag folytonos modellel jól közelíthető.

2.2 Torzításmentesség és annak feltétele

A pozíciószabályozási körrel szemben alapvető követelmény az, hogy lehetőleg torzítás nélkül alakítsa át az előírt $x_a(t)$ pozíciójelet szánmozgássá. Torzításmentes jelátvitel esetében a kimenő jel, ebben az esetben a tényleges pozícióérték, a bemenő jeltől, az előírt pozícióértéktől csupán egy t_f csoportfutási időben különbözik. Ideális jelátvitelnek nevezzük azt az esetet, amikor $t_f = 0$. Az utóbbira a 8-2. ábra, az előbbire pedig a 8-3. ábra mutat példát. A pozíciószabályozási körben a jelátvitelnek torzításmentesnek kell lennie. E követelményre itt különös hangsúlyt kell fektetni, hiszen a szerszám gép szánjait lehetőleg az előírt pozícióértékekből álló pályán kell mozgatni.



8-2. ábra. Ideális jelátvitel: a bemenő jel és a kimenő jel megegyezik



8-3. ábra. Torzításmentes jelátvitel: a bemenő jelet a kimenő jel t_f futási idővel eltolva alakhűen követi

A torzításmentes jelátvitel feltétele:

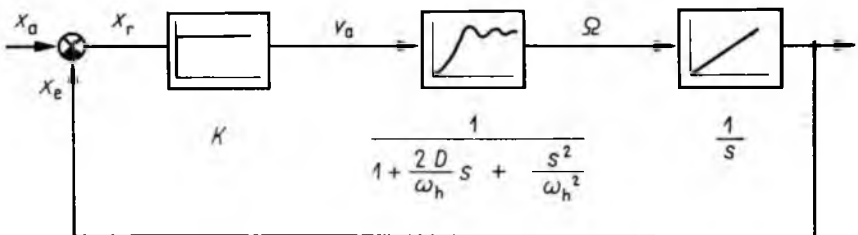
$$F(j\omega) = \frac{x_e(j\omega)}{x_a(j\omega)} = 1 \quad \text{és} \quad -\frac{\varphi}{\omega} = t_f = \text{konstans},$$

ahol $F(j\omega)$ a pozíciószabályozási kör frekvenciafüggvénye;
 $x_e(j\omega)$ a tényleges pozícióérték (szabályozott jellemző) Fourier-transzformáltja;
 $x_a(j\omega)$ az előírt pozícióérték (alapel) Fourier-transzformáltja;
 φ az x_a és x_e jelek közti fázisszög;
 ω körfrekvencia;
 t_f futási idő.

Egy szabályozási kör torzításmentes jelátvitelének feltétele — főleg mechanikai rendszerek esetében — csak közelítőleg és csak egy bizonyos határfrekvenciáig teljesíthető. A szerszámgépek pozíciószabályozási köreinek struktúrája gyakorlatilag nem változó, általában csak a sebességerősítési tényező az, amely szabadon választható. A pozíciószabályozási körnek a következőkben leírt optimalizálása azt a célt szolgálja, hogy ennek a paraméternek a megfelelő megválasztásával torzításmentesség szempontjából optimális jelátvitelt érjünk el.

2.3 A pozíciószabályozási kör optimalizálása digitális szimuláció segítségével

A vizsgált pozíciószabályozási kört az optimalizáláshoz a 8-4. ábrán látható modellel közelítjük. Itt a hajtást a valós viszonyokhoz legközelebb álló kéttárolós taggal közelítjük. Közelítésünk a 8-1. ábra szabályozási köréből egyszerűsítésekkel adódott.



8-4. ábra. A vizsgált pozíciószabályozási kör közelítő hatásvázlata az optimalizálás elvégzéséhez

Optimalizálásunk célja: a K sebességerősítési tényező oly módon való megválasztása, hogy a rendszer legjobban közelítse a torzításmentes beállítást. Ehhez először a futási időt kell meghatározni. A csoportfutási idő matematikai meghatározásának a szabályozástechnikából ismert módszere:

$$t_f = \left. \frac{dW(j\omega)}{d(j\omega)} \right|_{\omega=0},$$

ahol $W(j\omega)$ a zárt rendszer eredő átviteli függvénye.
 A mi esetünkben:

$$t_f = \frac{1}{K}.$$

Ha egy szabályozási kört egységugrás alakú bemeneti függvénnyel gerjesztünk, akkor elegendő nagy idő múlva a kimeneti függvény alatti terület megegyezik a — továbbiakban definiálásra kerülő — összehasonlítófüggvény alatti területtel, ha annak késleltetését t_f csoportfutási időnek megfelelően választjuk.

Ha a rendszerre egységsebesség-ugrás alakú jelet adunk, akkor a pozíció tényleges értéke, eltekintve a tranzienis jelenségektől, t_f csoportfutási idővel késleltetve, követi az előírt pozícióértéket. Pozíciószabályozási körünk esetében is e két jelet választjuk tesztfüggvénynek az optimalizáláshoz. A kis útszakaszoknak nagy sebességgel történő megtétele olyan, mintha az előírt pozícióértékek egységugrásszerűen változnának. Az egységsebesség-ugrás alakú alapjel pedig a szerszámgépek pozíciószabályozási köreinek leggyakrabban alkalmazott bemenő jele.

Az előbbieket ismeretében a torzításmentes jelátvitel minél jobb közelítése céljából definiáljuk az összehasonlítófüggvény fogalmát. Ezen egy olyan függvényt értünk, amely pontosan megfelel a bemeneti függvénynek, de t_f futási idővel késleltetve van. Ezen összehasonlítófüggvény és a szabályozási rendszer kimenő jele közti eltérés idő szerinti integrálját összehasonlító szabályozási területnek nevezzük. Mi az előbbi eltérés négyzetének integrálját minimalizáljuk a K sebességerősítési tényező függvényében. A minimalizálandó integrálérték:

$$I = \int_0^{\infty} (x(t))^2 dt, \quad \text{ahol} \quad x(t) = x_e(t) - x_o(t),$$

ahol $x_o(t)$ az összehasonlítófüggvény értéke.

Azért választottuk a minimalizáláshoz a fenti integrált, mert ez a nagyobb szabályozási eltéréseket — amelyek nagyobb pályatorzulásokhoz vezetnek — kiemeli, míg a kisebbeket elnyomja. (A továbbiakban még foglalkozunk az

$$\int_0^{\infty} |x(t)| dt$$

optimalizálási kritériummal is.)

Egyik alapjelünk időfüggvénye: $x_a(t) = 1(t)\omega_h$, az ehhez tartozó összehasonlítófüggvény:

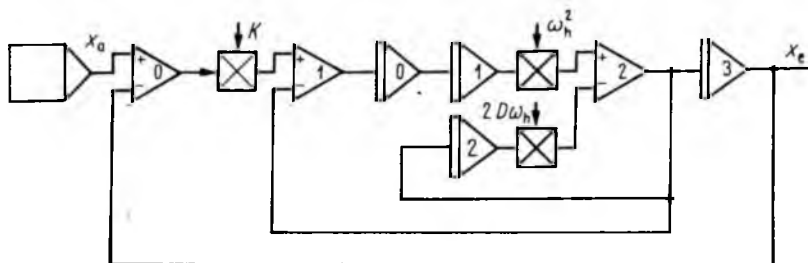
$$x_o(t) = 1\left(t - \frac{1}{K}\right)\omega_h.$$

A másik alapjelünk időfüggvénye: $x_a(t) = t\omega_h$, az ennek megfelelő összehasonlítófüggvény:

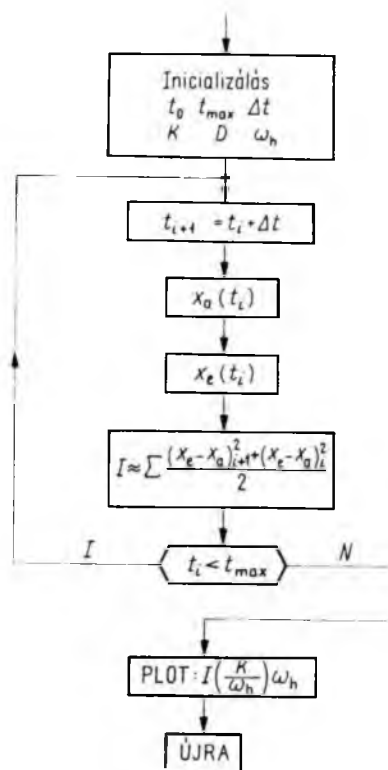
$$x_o(t) = 1\left(t - \frac{1}{K}\right)\omega_h.$$

A 8-4. ábrán látható pozíciószabályozási kört Intézetünk HP9100B asztali kalkulátorán szimuláltuk. A folytonos—folyamatos rendszerleíró módszereknek (így az átviteli függvényes leírásnak is) a digitális számítógépnél jobban megfelel az analóg számítógép, ezért az analóg számítógép elemeit (integrátor, szummátor, szorzó stb.) digitális számítógépen szimuláltuk, és a szimulált elemek felhasználására ún. blokkorientált programokat készítve a digitális számítógépet analóg számítógéphez hasonló módon használhatjuk. (Ennek az eljárásnak itt is tapasztalt előnyeiről és hátrá-

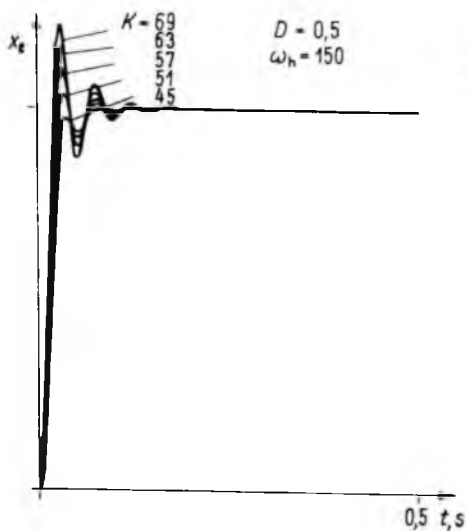
nyairól — többek között — [3] és [7] ír bővebben.) A 8-4. ábra alapján összeállított analóg vázlat a 8-5. ábrán, a szimulációs program egyszerűsített blokkdiagramja a 8-6. ábrán található. A szimulációs program segítségével az I integrált különböző csillapítási tényezőkre számoltuk ki változó K/ω_h értékek mellett. A K/ω_h függvényében történt ábrázolás könnyen használható, normalizált görbéket eredményezett. Az egy-ségugrás esetén kapott görbeseregek alapján a 8-9. ábráról leolvasható, hogy a leg-



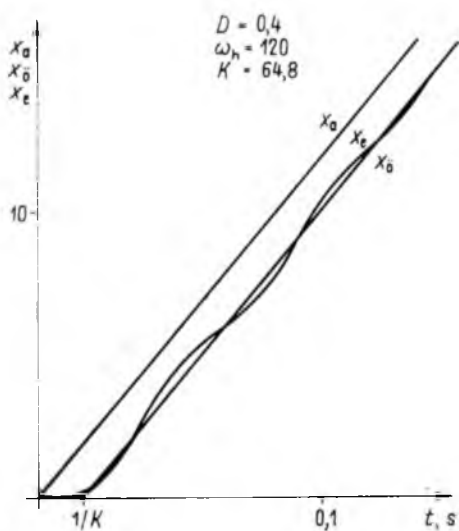
8-5. ábra. A vizsgált pozíciósabályozási kör közelítő hatásvázlatát leképező analóg vázlat (az integrátorok és a szummátorok nem fordítanak előjelet)



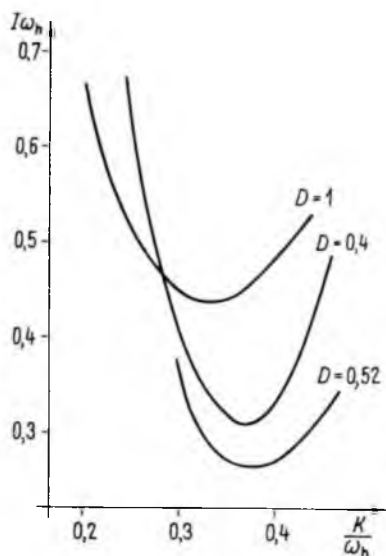
8-6. ábra. A vizsgált pozíciósabályozási kör közelítő hatásvázlatát szimuláló program egyszerűsített blokkdiagramja



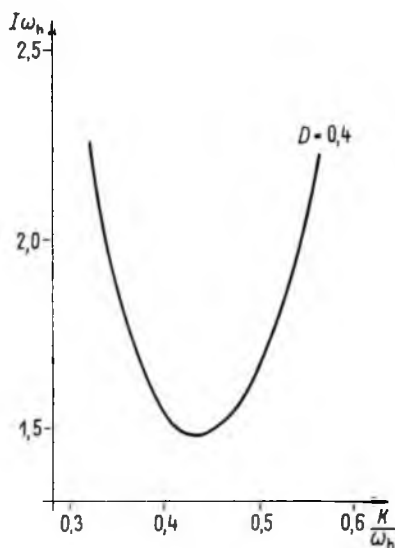
8-7. ábra. Az egységugrás alapjelre kapott válaszjel időfüggvényei különböző K paraméterértékek esetén (D és ω_h paraméterek állandók)



8-8. ábra. Az egységsebesség-ugrás alapjelre kapott válaszjel időfüggvénye K , D és ω_h állandó paraméterértékek esetén



8-9. ábra. A minimalizálendő eltérés négyzetes integráljával arányos $I\omega_h$ görbék alakulása a K/ω_h paraméter függvényében egységugrás alapjel és különböző D paraméterértékek esetén



8-10. ábra. A minimalizálendő eltérés négyzetes integráljával arányos $I\omega_h$ görbe képe a K/ω_h paraméter függvényében egységsebesség-ugrás alapjel és D állandó paraméterérték esetén

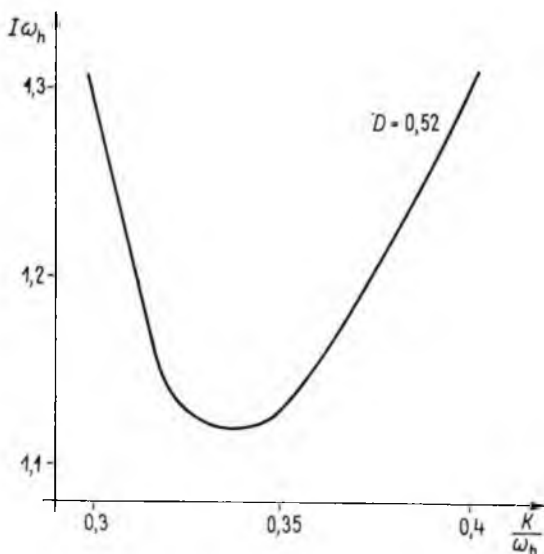
kisebb $I\omega_h$ integrálerérték, azaz a legkisebb torzítás, $D = 0,52$ csillapítási tényezőjű hajtás mellett, $K/\omega_h = 0,38$ értéknél adódott. A többi görbének is jól érzékelhető minimuma van.

A 8-10. ábrán az egységsebesség-ugrás alapjel esetén a $D = 0,4$ csillapítási tényező mellett kapott görbét láthatjuk. A görbe minimuma szintén a $K/\omega_h = 0,4$ közelében, 0,44-nél van. A 8-7. ábra a rendszer egységugrás alapjelre, a 8-8. ábra a rendszer egységsebesség-ugrás alapjelre adott válaszát mutatja az ábrán feltüntetett paraméterek mellett.

Az optimalizálást abszolútérték-kritérium alapján is elvégeztük. A minimalizálandó integrálerérték ez esetben:

$$I = \int_0^{\infty} |x(t)| dt.$$

A 8-11. ábrán feltüntetett számítási eredmények $D = 0,52$ csillapítási tényező és $K/\omega_h = 0,34$ mellett mutatják a legkisebb torzítást. A minimum a négyzetes integrál-kritérium eredményétől alig tér el.



8-11. ábra. A minimalizálandó eltérés abszolútértékével arányos $I\omega_h$ görbe menete a K/ω_h paraméter függvényében egységugrás alapjel és D állandó paraméterérték esetén

A görbék használatához természetesen ismerni kell a hajtás D csillapítási tényezőjét, valamint az ω_h határ-körfrekvenciáját is. Utóbbit a hajtás Bode-diagramjából kaphatjuk meg. Ez a törési körfrekvencia. A diagram felvétele a következő módon történhet: a fordulatszám-szabályozó kör bemenetét olyan szinuszos feszültséggel tápláljuk, amelynek frekvenciáját változtatjuk. Kimenő jelként a tachó mérő feszültségét mérjük. Így mód nyílik az amplitúdó- és fázisviszonyok megállapítására.

3. Diszkrét modellel közelíthető mintavételezett rendszer stabilitási feltételének vizsgálata digitális számítógéppel

3.1 Mintavételezett rendszer közelítő Nyquist-diagramja és kritériuma

A Nyquist-diagramot a diszkrét Laplace-transzformált

$$Y^*(s) = \frac{1}{T} \sum_{k=-\infty}^{\infty} Y(s + jk\omega_0)$$

kifejezéséből kiindulva számítógéppel közelítve úgy rajzoljuk meg, hogy a végtelen sorból csak az első néhány tagot vesszük figyelembe, tekintettel az $Y(s)$ átviteli függvény aluláteresztő szűrő jellegére, hiszen a nagyobb frekvenciájú összetevők elhanyagolhatóan kicsikké válnak. Ez a módszer tehát az $Y(j\omega)$ közösleges Nyquist-diagramból indul ki és az $Y^*(j\omega)$ Nyquist-diagram pontjait néhány végezzszámú vektor összeadásával szerkeszti meg a k -tól függő tetszőleges pontossággal.

Tekintsük az előző pontban tárgyalt struktúrájú szabályozási kört mint mintavételezett rendszert. Most is a 8-4. ábra érvényes, azzal a különbséggel, hogy x_r rendelkezőjel mintavételezett. Fizikailag ez annak felel meg, mintha nem lenne tartószerv a korábban tárgyalt pozíciószabályozási körben. Matematikai mintavételezést feltevélezzünk, amely minden olyan esetben jól közelíti a valóságot, amikor a mintavételezési időtartam rövid a mintavételezési időközökhöz képest. Célunk az, hogy a kritikus körerősítési tényezőt meghatározzuk különböző mintavételezési értékek esetén a közelítő Nyquist-diagram alapján. (A kritikus körerősítésnél nagyobb körerősítést választva a rendszer labilis lesz.) Az előbbi képletben szereplő k konstans 5-nek választva elegendő pontosságu közelítő Nyquist-diagramot kapunk. Az

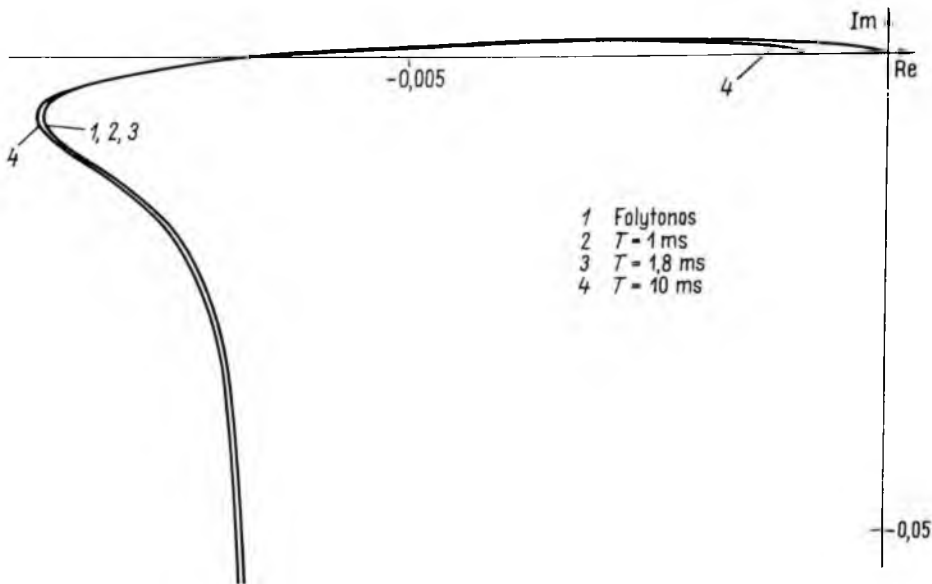
$$\frac{1}{K} Y(s) = \frac{1}{s \left(1 + \frac{2D}{\omega_h} s + \frac{s^2}{\omega_h^2} \right)}$$

átviteli függvényhez tartozó $\frac{1}{K} Y^*(j\omega)$ frekvenciajelleggörbe $D = 0,5$, $\omega_h = 150$ 1/s mellett a 8-12. ábrán látható. A diszkrét Laplace-transzformált végtelen sorának $k = 5$ -nek megfelelő közelítését felhasználva például $\omega = 2$ 1/s-nak megfelelő pontot a következő módon határozzuk meg:

$$\begin{aligned} \frac{T}{K} Y^*(2j) = \frac{1}{K} \left[Y(2j) + Y\left(2j - \frac{2\pi}{T}\right) + Y\left(2j + \frac{2\pi}{T}\right) + \dots \right. \\ \left. \dots + Y\left(2j - \frac{2\pi}{T} 5\right) + Y\left(2j + \frac{2\pi}{T} 5\right) \right], \end{aligned}$$

ahol T a mintavételezési idő.

Felvetődik a kérdés, hogy milyen mintavételezési időt válasszunk. Erre a Shannon-tétel ad választ, amely a mi esetünkre úgy alkalmazható, hogy az ω_0 mintavételezési körfrekvencia a zárt rendszer határ-körfrekvenciájának legalább kétszerese legyen. Csak ekkor remélhető a mintavételezett folytonos jel információtartalmának visszaállítása. Számításaink szerint a zárt rendszer eredő átviteli függvényének határ-



8-12. ábra. A folytonos esetre érvényes $1/K \cdot Y(j\omega)$ pontos és a diszkrét esetre vonatkozó $1/K \cdot Y^*(j\omega)$ közelítő Nyquist-diagram — a diszkrét Laplace-transzformált végtelen sorát $k = 5$ -nek megfelelő számú közelítő tagot figyelembe véve — különböző mintavételezési idők esetén

frekvenciája jó közelítéssel a felnyitott kör átviteli függvényének határfrekvenciájával, azaz f_h -val egyenlő. Jelen esetben a mintavételezési idő Shannon-tétele alapján:

$$\frac{2\pi}{T} = 2\omega_h = 300 \text{ } 1/s, \quad \text{azaz} \quad T \cong \frac{2\pi}{300} \approx 0,027 \text{ s}$$

$$(\omega_h = 2\pi f_h).$$

Ennek alapján a mintavételezési időt rendre 1,0 ms, 1,8 ms és 10,0 ms-ra választjuk. Ezen értékek alapján megrajzolt görbék is a 8-12. ábrán láthatjuk. Mivel a görbék gyakorlatilag a 0,0065 pontban metszik a valós tengelyt, így $T = 1,0$ ms esetben a kritikus körerősítési tényező

$$K_{kr} = \frac{0,001}{0,0065} = 0,154 \text{ } 1/s,$$

ehhez hasonlóan $T = 1,8$ ms-os esetben

$$K_{kr} = 0,277 \text{ } 1/s,$$

a $T = 10$ ms-os esetben

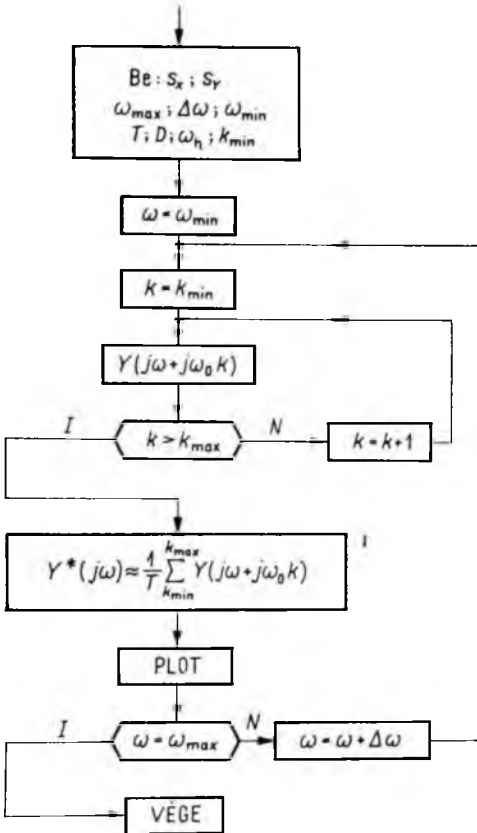
$$K_{kr} = 1,54 \text{ } 1/s$$

adódott.

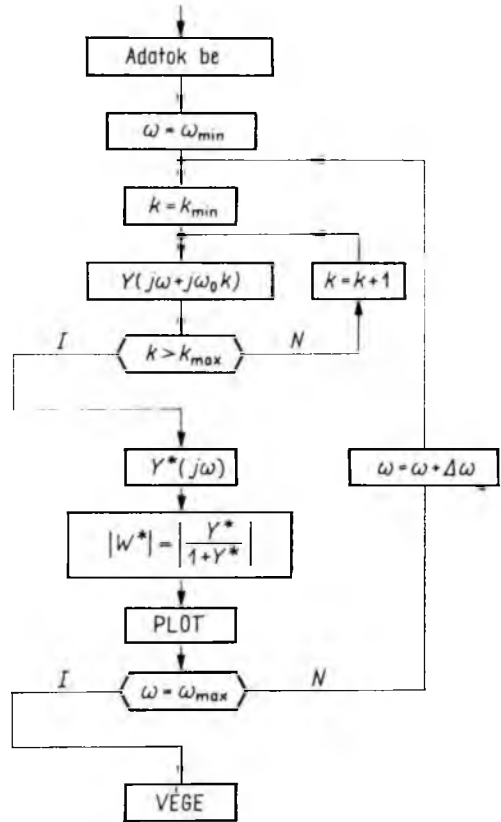
$T = 1,8$ ms-os mintavételezési idő esetén a kritikus körerősítésre módosított Routh—Hurwitz-kritérium segítségével — jó közelítéssel — hasonló értéket kaptunk. Aszámítás igen hosszadalmas. Menete: a mintavételezett zárt rendszer eredő átviteli

függvénye z-transzformáltjának meghatározása, a karakterisztikus polinom bilineáris transzformálta alapján, a Routh-séma felállítása, K_{kr} megállapítása a kapott egyenlőtlenségrendszer alapján. Az eredmények hasonlósága és a közelítő Nyquist-diagramok számítógép segítségével történő viszonylag egyszerű meghatározása folytán a stabilitás eldöntésére a közelítő Nyquist-diagramot javasoljuk.

Érdekesként megvizsgáltuk, hogy hogyan alakul a K_{kr} kritikus körerősítési tényező $T = 0,1$ s és $T = 1,0$ s mintavételezési idők mellett. Az előbbi esetben $K_{kr} = 2,08$ $1/s$, utóbbi esetben $K_{kr} = 13,5$ $1/s$. Érdekes megfigyelni, hogy a Shannon-tétel alapján megengedhető mintavételezési időknél a K_{kr} gyakorlatilag lineárisan változik a T mintavételezési idő függvényében, míg túl nagy mintavételezési időknél K_{kr} ettől lényegesen eltér. (A számítógépes program blokkdiagramja a 8-13. ábrán látható.)

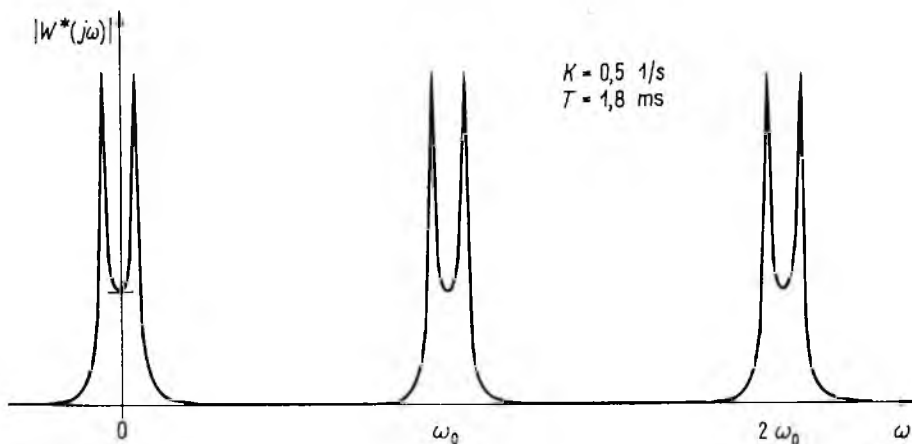


8-13. ábra. A közelítő Nyquist-diagramot kiszámító és felrajzoló program blokkdiagramja



8-14. ábra. A mintavételezett zárt rendszer amplitúdósűrűség-spektrumát kiszámító és felrajzoló program blokkdiagramja

A 8-15. ábrán a vizsgált mintavételezett zárt rendszer amplitúdósűrűség-spektrumát mutatjuk be $T = 1,8$ ms mintavételezési idő és $K = 0,5$ $1/s$ körerősítés esetén. (A blokkdiagram a 8-14. ábrán látható.)



8-15. ábra. A vizsgált mintavételezett zárt rendszer amplitúdósűrűség-spektrumának képe a körfrekvencia függvényében K és T állandó paraméterek esetén

3.2 A számítási eredményekből levonható következtetések

A mintavételezési idő változtatásával kapcsolatban azt tapasztaltuk, hogy a kritikus körerősítési tényező a mintavételezési idő növekedésével növekedett. Ebből az következik, hogy a legideálisabb mintavételezési idő a Shannon-tétel által megengedett maximális mintavételezési idő, hiszen ez esetben K_{kr} a legnagyobb. (A körerősítést a stabilitás határán belül változtatva a nagyobb körerősítésnél a rendszer pontosabbá és gyorsabbá válik, azaz részint jobban elnyomja a zavarjeleket, részint hamarabb eléri az állandósult állapotot.) Ezek szerint pl. az általunk választott mintavételezési idők közül $T = 10,0$ ms a legkedvezőbb.

A 8-12. ábrából az is kiderül, hogy a folytonos rendszernél a $K_{kr} = \frac{1}{0,0065} = 150 \frac{1}{s}$, azaz a mintavételezéses rendszerekhez képest jóval nagyobb körerősítés engedhető meg.

4. Összefoglalás

Az 1. pontban összefoglaltuk a szimuláció és a modellezés lényegét és jelentőségét. A 2. pontban az elmondottakra példaként egy numerikus szerszám-gép-vezérlés pozíciószabályozási körét modelleztük, digitálisan szimuláltuk, majd olyan — a gyakorlatban is alkalmazható — görbesereget számítottunk ki, amely segítséget ad a körerősítési tényező alakhú követése szempontjából optimális megválasztásához. A 3. pontban azt mutattuk meg, hogy hogyan lehet diszkrét modellel közelíthető mintavételezett rendszer stabilitását számítógéppel vizsgálni. Ez utóbbit két szempontból tartottuk fontosnak: részben a közeljövőben várható a mintavételezett rendszerek elterjedése az iparban, részben e rendszerek matematikai bonyolultsága miatt szükséges volt egy viszonylag egyszerű számítógépes módszer kidolgozása a stabilitás vizsgálatához. A mintavételezési idő és a kritikus körerősítés összefüggéseit vizsgálva kitértünk a mintavételezési idő megválasztásának kérdésére. Végül számítógépes módszerünket a mintavételezett zárt rendszer amplitúdósűrűség-spektrumának felrajzolásával ellen-

őriztük. Továbbá megemlítjük még, hogy a modellezés és a digitális szimuláció módszerét sikerrel alkalmaztuk a következő intézeti témakörök kutatásaiban:

- dunaújvárosi hétállványos hengerműszabályozás;
- hurokszabályozó vizsgálata;
- inverter szabályozókörének vizsgálata;
- relés követőszabályozás digitális szimulációja;
- hőtani feladatok szimulációja.

Irodalom

- [1] *Dr. Csáki Frigyes—Bars Ruth*: Automatika. Második bővített kiadás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
- [2] *Dr. Csáki Frigyes*: Szabályozások dinamikája. Második javított kiadás, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1970.
- [3] *Dr. Csáki Frigyes*: Irányítási rendszerek modellezése. Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1973.
- [4] *Schmied, D.*: Interpolation der numerischen Bahnsteuerungen. *Steuerungstechnik*, 1969/9., 342–349.
- [5] *Schmied, D.*: Numerische Bahnsteuerung. Beitrag zur Informationsverarbeitung und Lage-
wegelung, Springer Verlag, Berlin—Heidelberg—New York, 1972.
- [6] *Ragazzini, J. R.—Franklin, G. F.*: Sample-Data Control Systems. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York, 1958.
- [7] *Kőhalmy S.*: Numerikus közelítő módszerek számítógépes programozása. VKI. Központi Számítástechnikai Csoport, Budapest, 1976.
- [8] *Kőhalmy S.—Pápay Z.—Schuszter Gy.*: Numerikusan vezérelt szerszámgépek pozíciószabályozási köreinek vizsgálata és optimalizálása. Kis- és Középsorozatgyártás Automatizálása Kollokviumon tartott előadás, Győr, 1977.
- [9] *Kőhalmy S.—Pápay Z.—Schuszter Gy.*: NC gépek pozíciószabályozási köreinek vizsgálata. Automatizálás, 1978. 2. szám, 17–21.

NEM KÖTÖTTPÁLYÁS VILLAMOS JÁRMŰVEK

9.

Modern csuklós trolibusz

GLOFÁK PÉTER—HALMAI GÉZA—KISS MIKLÓS

ÖSSZEFOGLALÁS

A közlemény a VKI tirisztoros egyenáramú szaggatós hajtását ismerteti csuklós trolibusz és utánfutós akkumulátoros duóbusz számára. Ismerteti az eltéréseket az ismert vasúti jellegű berendezésektől. Foglalkozik a könnyű építésű villamos vontatómotor fejlesztésével. Tárgyalja a VKI megoldásait a karbantartási igény csökkentésére; ár- és gazdaságossági problémákat, az elektronikus vezérlés révén az utazási kényelemben nyújtott többletszolgáltatásokat, majd az akkumulátoros önjárást.

СОВРЕМЕННЫЙ СОЧЛЕНЕННЫЙ ТРОЛЛЕЙБУС

П. Глофак—Г. Халмай—М. Киши

Резюме

В статье излагается тиристорный привод по постоянному току с импульсным преобразователем, разработанный в VKI для применения в сочлененном троллейбусе и аккумуляторном дуобусе с прицепом. Показывается различия от известных оборудований железнодорожного назначения, разработка тягового электродвигателя сверхлегкого оформления выработанное в VKI, решения направленные на уменьшение потребности к обслуживанию, кроме этого цена, экономия и увеличение услуг для удобства езды. Обсуждаются проблемы самодвижения от аккумулятора.

MODERNER GELENK-OBUS

P. Glofák — G. Halmai — M. Kiss

Zusammenfassung

Der Aufsatz befasst sich mit dem Thyristor-Gleichstromstellerantrieb des Forschungsinstituts der Elektroindustrie für einen Gelenk-Obus und einen Duobus mit in einem Anhänger untergebrachter Traktionsbatterie. Es werden die Abweichungen von den bekannten Eisenbahn-Einrichtungen erläutert, so z. B. die Entwicklung eines Gleichstrom-Fahrmotors mit extrem leichtem Aufbau, und Lösungen für die Verminderung des Wartungsbedarfs. Es wird über Mehrleistungen bezüglich Reisekomfort, die durch die elektronische Steuerung realisierbar sind, sowie über die Batterie-Notfahrt des Obuses berichtet.

MODERN ARTICULATED TROLLEYBUS

By P. Glofák — G. Halmi — M. Kiss

Summary

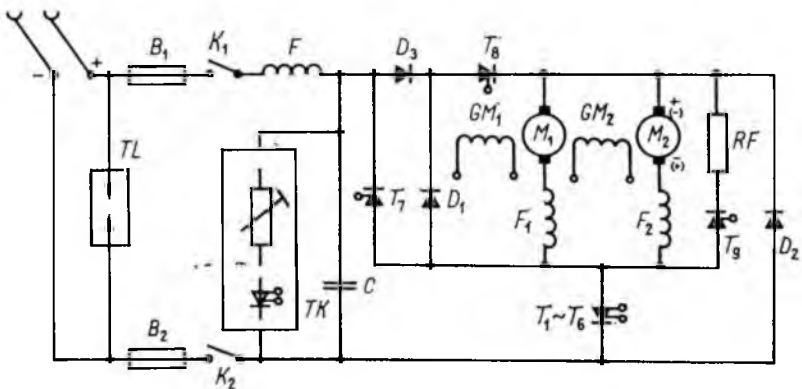
The paper introduces the thyristor chopper controlled drive of the Research Institute of the Electrical Industry for the articulated trolleybus and the duobus having a battery-trailer. Deviations from the known railway equipments. Development of an electric traction motor in very light construction. Solutions of the Research Institute of the Electrical Industry to reduce the demands for maintenance. Price and rentability. Surplus-services regarding travel convenience offered by electronic control. Emergency operation of the trolleybus by means of a battery.

A VKI 1976—80. évi kutatási-fejlesztési programjában célul tűzte ki korszerű csuklós trolibusz és utánfutós akkumulátoros duóbusz kifejlesztését. Programunkat a VKI Közlemények 6. kötetében [1] részletesen ismertettük. A következőkben a program egyes műszaki részleteiről adunk részletesebb tájékoztatást.

1. A vontatómotor és a tirisztoros egyenáramú szaggató

A VKI által választott megoldás: külső gerjesztésű motor, az armatúrakörben energiavisszatáplálásra is alkalmas tirisztoros szaggató, a gerjesztőkörben a gerjesztőáram gyors megfordítására, illetve mezőgyengítésre is alkalmas kisebb teljesítményű szaggató. A vontatómotor ún. félfeszültségű motor. Ilyen motorokból a hagyományos kapcsolóberendezés kettőt alkalmaznak állandóan sorbakapcsolva, itt azonban a munkavezeték feszültsége és a motorfeszültség közötti különbséget a tirisztoros szaggatóval hidaljuk át — a szaggató feszültségszökkentő transzformátorként működik —, a visszatápláló fékezés pedig a jármű legnagyobb sebességénél is a megkövetelt teljes lassulással lehetséges.

A hajtás főáramköri kapcsolásának egyszerűsített rajza a 9-1. ábrán látható. A 9-1. ábrán $T_1 \sim T_8$ -tal jelölt főáramköri egyenáramú szaggató egyszerűsített kapcsolását a 9-3. ábrán mutatjuk be.



9-1. ábra. A VKI tirisztoros trolibuszhajtásának egyszerűsített főáramköri kapcsolási rajza

Az áramszedőkhöz közvetlenül csatlakozik a TL szikraközös túlfeszültségvevő, amelynek megszólalási feszültsége 3 kV körül van és feladata a légköri eredetű túlfeszültségek távoltartása a jármű villamos berendezésétől. A kapcsolási túlfeszültségek elleni védelemre, amelyek amplitúdója lényegesen kisebb ugyan, de energiataralma nagy, ez a túlfeszültségvevő nem alkalmas.

A B_1 és B_2 olvadóbiztosítók feladata a belső zárlat elleni védelem. Megszakítót nem alkalmazunk. A K_1 és K_2 mágneskapcsoló szakaszolási feladatokat lát el, továbbá a védelmet egyéb hibák föllépése esetén. E két mágneskapcsolón kívül a főáramkörben — az itt nem ábrázolt akkumulátoros önjárás két mágneskapcsolóján kívül — más elektromechanikus kapcsolókészülék nincs.

A bemeneti szűrőt az F fojtótekercs és a C kondenzátor alkotja. Ezek egyúttal túlfeszültségvédelem céljára is szolgálnak a TK túlfeszültségkorlátozó egységgel együtt. Az utóbbi tirisztorral vezérelt feszültségfüggő nemlineáris ellenállásból áll, amely a kapcsolási túlfeszültségek energiájának nagy részét hővé alakítja. Emiatt a C kondenzátor kapacitása a szokásos értékeknél kb. egy nagyságrenddel kisebb.

Az M_1 és M_2 motor armatúrája párhuzamosan van kapcsolva. Az F_1 és F_2 fojtótekercs gondoskodik az armatúraáram szükséges mértékű simításáról. A GM_1 és GM_2 gerjesztőtekercseket az áramirány megfordítására és a gerjesztőáram értékének változtatására alkalmas kisteljesítményű szaggató táplálja, amelyet az ábrán nem tüntettünk föl; ezzel biztosítható egyúttal az armatúraáram egyenletes elosztása a két motor között.

A berendezés négy jellegzetes üzemállapota :

- menet (motoros üzem);
- visszatápláló fék ;
- vegyes fék ;
- ellenállásfék.

A T_7 , T_8 és T_9 tirisztorok, továbbá a D_1 , D_2 és D_3 diódák vezetési állapotát a fenti négy üzemállapotban a 9-1. táblázat mutatja.

9.1. táblázat

	T_7	T_8	T_9	D_1	D_2	D_3
Menet-üzem		×		●		●
Visszatápláló fék	●				×	
Vegyes fék	●		●		×	
Ellenállásfék			●		●	

- × állandóan vezet
- a szaggató ütemében vezet
- a szaggató ütemével ellentétesen vezet

Menetüzemben a szaggató periodikusan be- és kikapcsol és a bekapcsolási arány változtatásával ismert módon változtatja a motorok kapocsfeszültségét. A T_8 tirisztor a szaggató minden egyes bekapcsolásával egyidejűleg gyújtóimpulzust kap. A motorok gerjesztési iránya olyan, hogy a motorok felső kapcsa pozitív, alsó negatív feszültségű. Ha a szaggató bekapcsolt állapotban van, az áram útja: áramszedő — B_1 — K_1 — F — D_3 — T_8 — M_1 és M_2 — F_1 és F_2 — szaggató — K_2 — B_2 — áramszedő. A szaggató kikapcsolt állapotában az áramút: M_1 és M_2 — F_1 és F_2 — D_1 — T_8 . Ebben az üzemállapotban a hagyományos megoldáshoz képest az eltérés csupán annyi, hogy a D_1 szabadonfutó diódával sorba van kapcsolva a T_8 tirisztor; látni fogjuk, hogy erre a féküzem miatt van szükség.

Féküzemben a T_8 tirisztor nem kap gyújtást. A motorok gerjesztése az előbbihez képest fordított irányú, így a motorok alsó kapcsa pozitív, a felső negatív. A szaggató bekapcsolt állapotában az áramút: M_1 és M_2 — F_1 és F_2 — szaggató — D_2 . Az armatúrakör rövidzárban van, az armatúraáram gyorsan nő, az F_1 és F_2 fojtótekercesek mágneses energiátartalma — ha a telítést elhanyagoljuk — az áram négyzetével növekszik. Visszatápláló féküzemben a szaggató kikapcsolásakor az áram áterelődik a következő útra: negatív áramszedő — B_2 — K_2 — D_2 — M_1 és M_2 — F_1 és F_2 — T_7 — F — K_1 — B_1 — pozitív áramszedő. A motorok kapocsfeszültsége ebben az üzemállapotban a hálózat feszültségénél kisebb, az áramot az F_1 és F_2 fojtótekerces mágneses energiája tartja fenn, az áram csökken. A T_7 tirisztor ebben az üzem-módban mindig a szaggató oltásával egyidejűleg kap gyújtóimpulzust.

Ellenállásfék-üzemre van szükség, ha valamilyen ok miatt nem lehet a hálózatba energiát visszatáplálni. Ez az eset áll elő, ha a hálózat feszültsége túl nagy, esetünkben 720 V vagy annál nagyobb. Ugyancsak nem szabad visszatáplálni, ha a hálózaton zárlat van; a gyakorlatban ez a helyzet akkor áll elő, ha a hálózat feszültsége 400 V-nál kisebb. Ebben az üzemállapotban a T_7 tirisztor nem kap gyújtást, a T_9 tirisztor pedig a szaggató oltásával egyidejűleg kap gyújtást. A szaggató bekapcsolt állapotában az áramút ugyanaz, mint visszatápláló féküzemben, kikapcsolt állapotában pedig: M_1 és M_2 — F_1 és F_2 — T_9 — RF .

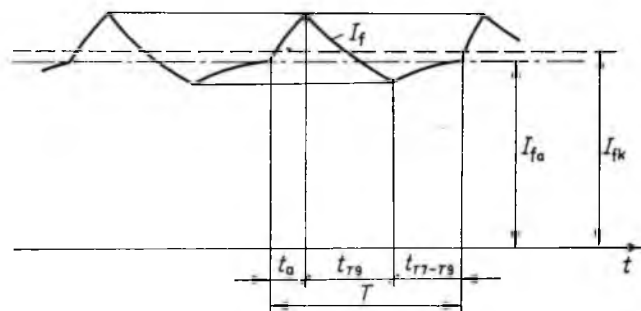
A fojtótekercesek és a szaggató által együttesen elérhető föltranszformáló hatás következtében mind a visszatápláló, mind az ellenállásfék teljes nyomattékkal csaknem a jármű megállásáig hatékony.

A vegyes féküzemre két jellegzetes üzemállapotot mutatunk be.

Ha a fékezés megkezdése előtt a hálózat feszültsége a megadott határokon belül van, a fékezés visszatáplálással kezdődik. Ennek hatására a hálózat feszültsége növekedni kezd. A növekedés nem ugrásszerű, annak sebességét az F fojtótekerces és a C kondenzátor, továbbá a hálózat paraméterei (induktivitás és ellenállás) együttesen határozzák meg. A növekedés sebessége mindenesetre a szaggató kapcsolási frekvenciájához képest viszonylag lassú. Ha növekedés közben az áramszedőkön mért feszültség a 720 V-ot eléri, a jármű vezérlőrendszere tiltja a T_7 tirisztor gyújtását. Ha a T_7 ebben a pillanatban éppen vezet, akkor az áram tovább folyik ugyan rajta, de csak addig, amíg a szaggató ismét be nem kapcsol. A szaggató következő oltásával egyidejűleg most már nem a T_7 , hanem a T_9 tirisztor kap gyújtójelet, s ezzel a fékezés ellenállásfékezésbe megy át. A C kondenzátorból csökkenő áram folyik tovább a hálózatba, és az áramszedőkön mérhető feszültség csökkenni kezd. 720 V-nál megszűnik a T_7 tirisztor tiltása, a szaggató legközelebbi oltásakor tehát ismét T_7 kezd vezetni T_9 helyett. Ez a vegyes féküzem egyik esete, amikor váltakozva visszatápláló és ellenállásfékezés jön létre a szűrőkör és a vezeték paraméterei, a jármű sebessége és a vezető által a fékpedállal beállított fékáram által meghatározott frekvenciával.

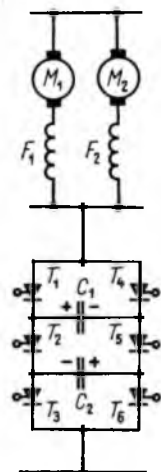
Ha a visszatápláló féküzem áramának hatására a hálózat feszültsége nem növe-

szik meg jelentősen — pl. a fékező jármű közvetlen közelében levő más járművek nagy fogyasztása miatt —, akkor előállhat az az eset, hogy az áramszabályozás visszatápláló fékezés közben nem tudja a motorok fékárámát a fékpedál állása által meghatározott, előírt értéken tartani és a fékáram növekedni kezd. Ha ugyanis a motorok indukált feszültsége nagyobb, mint a hálózati feszültség, akkor a szaggató oltásakor, azaz T_7 gyújtásakor a fékáram nem kezd csökkenni, hanem — bár lassabban — tovább nő. Ennek hatására az áramszabályozó úgy avatkozik be a folyamatba, hogy a szaggató következő oltásakor nem engedi a T_7 tirisztort begyújtani. A vezérlés azonban olyan, hogy ha féküzemben a szaggató oltásakor T_7 nem kap gyújtást, akkor helyette a T_9 gyújt be, azaz ellenállásfék-üzem kezdődik, aminek hatására a motorok fékárama csökkenni kezd. Az áramszabályozó ilyen működése azonban nem jelent abszolút tiltást a T_7 gyújtása számára, csupán késlelteti a gyújtást. A késleltetés annál nagyobb, minél nagyobb az eltérés az előírt fékáram és a tényleges fékáram középértéke között. A vegyes féküzemnek ez a módja tehát úgy alakul ki, hogy a szaggató kikapcsolt állapotában először egyedül a T_9 tirisztor vezet, később azonban együtt vezet a T_7 és a T_9 tirisztor. Ezáltal állandóan ellenőrizni tudjuk a fékezés folyamatát, és ha fékezés közben a hálózati feszültség megnő, vagy a motorok indukált feszültsége lecsökken, a berendezés önműködően áttér tiszta visszatápláló fékezésre. A motorokon folyó fékáram ebben az üzemmódban a 9-2. ábrán látható.



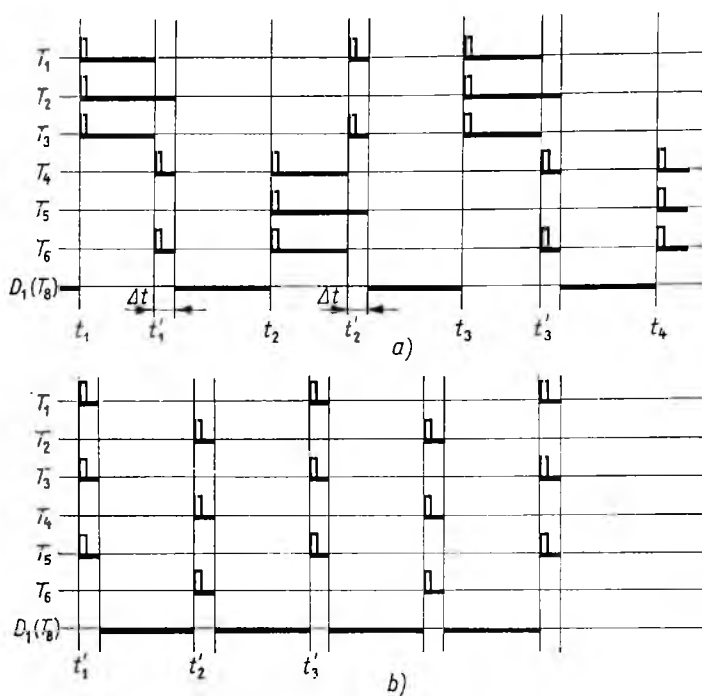
9-2. ábra. A motorok fékárámának időbeli lefolyása vegyes visszatápláló-ellenállásfék üzemmódban

I_a a szaggató bekapcsolt állapotban;
 I_{T_9} a szaggató kikapcsolt állapotban, T_9 vezet; $t_{T_7-T_9}$ a szaggató kikapcsolt állapotban, T_7 és T_9 együtt vezet; I_f a motorokon folyó fékáram; I_{ik} a fékáram alapértéke; I_{ik} a fékáram középértéke; T a szaggató kapcsolóüzemének periódusideje



9-3. ábra. A kétütemű szaggató egyszerűsített kapcsolási rajza

Maga a tirisztoros szaggató a következőképpen működik: Tételezzük föl, hogy egy adott időpontban egyik tirisztor sem vezet, tehát a motorok árama a szabadonfutó diódán át záródik, és a C_1 és C_2 kondenzátor a rajzolt polaritással, a tápfeszültség 50%-ának megfelelő feszültségre van feltöltve. Ha most egyidejűleg begyújtjuk a bal oldali ág mindhárom tirisztorát, akkor az áram a szabadonfutó diódáról áttérlődik a szaggatóra (9-4 a ábra, t_1 időpont). Mínt hogy most a T_1 , T_2 és T_3 tirisztoron nincs feszültség, a kondenzátorok töltése pedig változatlan, a T_4 és T_6 tirisztorokon a tápfeszültség felével egyenlő, nyitóirányú feszültség, a T_5 tirisztoron a teljes tápfeszültséggel egyenlő záróirányú feszültség van. Ha a következő lépésben a t'_1 időpontban egyidejűleg gyújtjuk a jobb oldali ág T_4 és T_6 tirisztorát, akkor az áram áttérlődik a



9-4. ábra. A kétütemű szaggató tirisztorainak gyújtása, a tirisztorok és a védődióda áramvezetése

a) szaggató üzemmód; b) áttöltő üzemmód

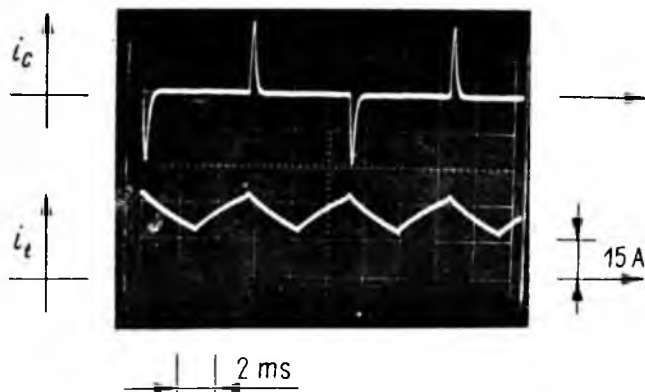
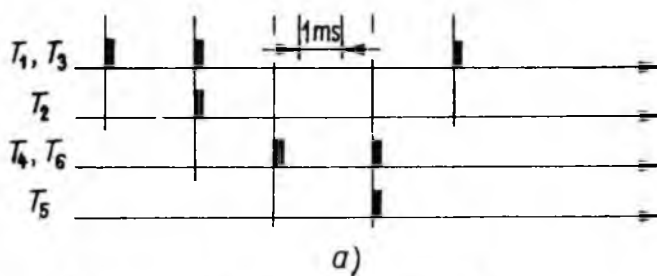
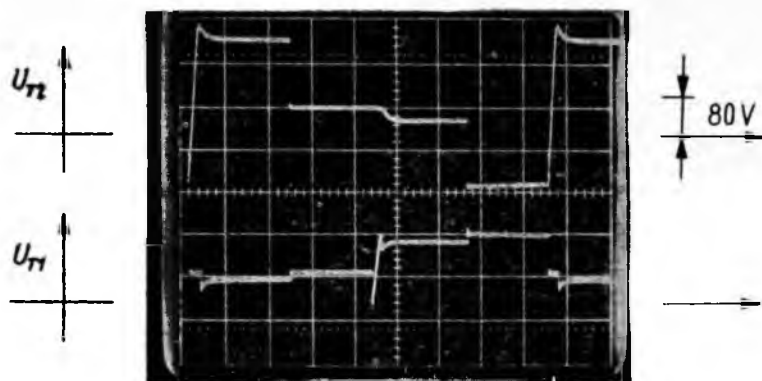
$T_4 - C_1 - T_2 - C_2 - T_6$ útra, a T_1 és T_3 tirisztor kialszik, majd a két kondenzátor ellenkező polaritású azonos feszültségre való áttöltődése után, Δt idő múlva az áram a szaggatón megszűnik, illetve ismét a szabadonfutó diódára terelődik. Ebben az árammentes állapotban a kondenzátorok polaritása a rajzolttal ellentétes. Mintegy most a T_4 , T_2 és T_6 tirisztor feszültségmentes, a T_1 és T_3 tirisztorokon nyitóirányú fél feszültség van, a T_5 tirisztor feszültsége ugyancsak nyitóirányú, de az áramforrás feszültségével megegyezik.

A t_2 időpontban egyidejűleg gyújtjuk a jobb oldali ág mindhárom tirisztorát, ezzel a szaggató ismét átveszi az áramvezetést a szabadonfutó diódától. A t'_2 időpontban a T_1 és T_3 tirisztor egyidejű gyújtásával oltjuk a T_4 és T_6 tiriszort.

A gyújtóimpulzusokat és az egyes tirisztorok, illetve a D_1 szabadonfutó dióda áramvezetését — az utóbbit a vízszintes vonalak megvastagításával — berajzoltuk a 9-4a ábrába.

Van ennek a szaggatónak egy másik üzemmódja, az *áttöltő üzemmód*. Ha a legkisebb kivezérléssel sem lehet elég kicsi áramot előállítani, akkor a 9-4b ábrán látható módon a t'_1 időpontban egyidejűleg gyújtjuk a T_1 , T_5 és T_3 tiriszort, az áram útja ekkor: $T_1 - C_1 - T_5 - C_2 - T_3$. A kondenzátorok áttöltődése után a szaggatón az áram megszűnik. A t'_2 időpontban a T_4 , T_2 és T_6 tirisztorok egyidejű gyújtásával az áram ismét megindul, ezúttal a $T_4 - C_1 - T_2 - C_2 - T_6$ áramúton. Ebben az üzemmódban a kimeneti feszültséget, illetve a motorok áramát a kapcsolási frekvenciával lehet változtatni.

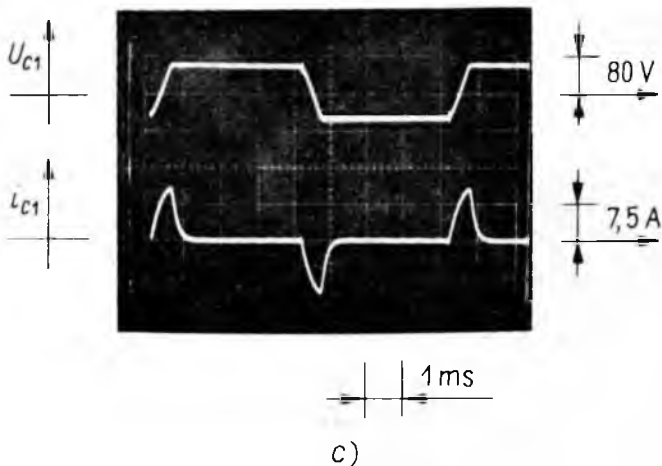
A 9-5. ábrán bemutatjuk a modellkivitelben elkészült szaggató T_1 és T_2 tirisztorra jutó feszültség, a C_1 kondenzátor feszültsége, a C_1 kondenzátoron folyó áram és a szaggató terhelőárama időbeli lefolyását szaggató üzemmódban. Látható, hogy a T_1 tirisztorra és a C_1 — ugyanúgy a C_2 — kondenzátorra jutó feszültség csupán fele a T_2 tirisztorra jutó feszültségnek; az utóbbi a tápfeszültséggel azonos.



b)

9-5. ábra. A kétütemű szaggató egyes jellemző paramétereinek időbeli változása (modellkivitel)

a) a T_1 és T_2 tirisztor feszültsége; b) az egyik kondenzátor árama és a terhelőáram;



9-5. ábra.

c) az egyik kondenzátor feszültsége és árama

A kifejlesztett szaggatókapcsolásnak több lényeges előnye van:

- A szimmetrikus fölépítés miatt nincs szükség külön oltókörre;
- Ha a kivezérést egy-egy ágra vonatkozóan 50%-ra korlátozzuk, ami ebben a szaggatókapcsolásban szükséges is, akkor a terhelőáram felharmonikus frekvenciája kétszerese a tirisztorok kapcsolási frekvenciájának, ami az áram hullámossága, továbbá a simító-fojtótekerces méretei szempontjából kedvező. Az adott esetben 400 Hz kapcsolási frekvenciát választottunk, ami a motor armatúrákörében 800 Hz-et jelent. Egy-egy tirisztorág 50%-os kivezérése az egész szaggató szempontjából 100% kivezérést jelent.
- Az áttöltő üzemmód lehetővé teszi a szaggató minimális terhelőáramának egyszerű eszközökkel történő csökkentését; ez a jármű sima indítását és városi forgalomban lépésben haladását egyszerűbbé teszi.

Az adott kapcsolásban külön-külön történik a felső és alsó tirisztorok oltása, és ehhez képest időben későbbben a középső tirisztoroké. Az utóbbinak nem kell gyorsan történnie. Másrészt a felső és alsó tirisztorok feszültségigénybevétele fele a középső tirisztorokénak. Ismeretes, hogy a mai gyorstirisztorok maximálisan 1200, kivételesen 1300 V zárófeszültséggel készülnek, és a zárófeszültség növelésében technológiai okokból csak lassú fejlődésre lehet számítani. A hálózati tirisztorokat nehézség nélkül be lehet szerezni 3 kV fölötti zárófeszültséggel. Az oltás és a zárás funkciójának szétválasztása következtében csak a felső és alsó (T_1, T_3, T_4 és T_6) tirisztoroknak kell gyorstirisztoroknak lenniük, a középsők (T_2 és T_5) hálózati tirisztorok lehetnek. Bármilyen egyéb szaggatókapcsolás esetén már a trolibusznál szokásos 600 V névleges feszültség esetén a feszültségingadozások, túlfeszültségek és a kellő biztonság figyelembevételével föltétlenül két gyorstirisztort kellene sorbakapcsolni és megfelelő RC -körökkel a feszültségosztásról gondoskodni; ez a kapcsolás a feszültségosztást automatikusan elvégzi. A kapcsolás kondenzátorigénye ugyanannyi, mint egy összesen négy tirisztorágból és egy kondenzátorból álló, ismert kétütemű szaggatóé lenne; ha ennek a kapcsolásnak a C_1 és C_2 kondenzátorát sorbakapcsolnánk, éppen az ismert szaggató kondenzátorát kapnánk.

2. A duóbusz és a trolibusz összehasonlítása

Mint korábbi közleményünkben hírül adtuk, a VKI duóbusz fejlesztését is tervbe vette a villamos hajtású városi autóbuszok fejlesztésére irányuló távlati programja keretében. A duóbusz akkumulátora egytengelyes utánfutóba lesz beépítve, az autóbusz 100 személyes, 11 m-es, 16 t összes gördülő tömegű városi autóbusz lesz. A duóbusz trolibusz áramszedőkkel lesz felszerelve, képes lesz trolibuszként üzemelni és közben az akkumulátort tölteni, vagy önálló akkumulátoros autóbusként közlekedni. A duóbusz alkalmas lesz a pillanatnyilag egyedül szóba jöhető ólomakkumulátoron kívül bármilyen más, új rendszerű elektrokémiai áramforrással való üzemre, tehát a néhány éven belül új termékként a piacon valószínűleg megjelenő nagy energiasűrűségű akkumulátorok kipróbálására.

A duóbusz névleges akkumulátorfeszültségét 360 V-ra választottuk. Ennek oka, hogy a szabványok villamos hajtású autóbuszra max. 400 V névleges feszültséget írnak elő; a duóbuszhoz alkalmazandó első akkumulátor valószínűleg a VARTA által autóbuszokhoz kifejlesztett „Systembatterie” lesz, amely 360 V-os; a feszültség növelése a cellaszám növelésével járna és ennek következménye az akkumulátor energiasűrűségének csökkenése lenne.

A duóbusz hajtása és szaggatója lényegében meg fog egyezni a trolibuszéval. Tiszta akkumulátoros üzemben is szükség van az ellenállásfekre, illetve a vegyes viselkedésű ellenállásfekre, mert az akkumulátor megengedhető töltőárama, illetve töltőfeszültsége korlátozott, különösen frissen feltöltött akkumulátor esetén. Az akkumulátoros üzemben dolgozó autóbusz gyorsítóteljesítményét a trolibuszhoz képest csökkenteni kell, mert az akkumulátor terhelhetősége kisebb, mint a trolibuszhálózaté.

A trolibuszkénti üzem alatt külön erre a célra készülő szaggatóval föl kell tölteni az akkumulátort. Ez a szaggató kisebb és egyszerűbb lesz, mint a motort tápláló szaggató, mert a gyorsítási áramcsúcsokat nem kell átvinnie, a töltőteljesítmény a hajtás névleges teljesítményénél is kisebb, és energiavisszatáplálásra nincs szükség.

A trolibuszkénti üzem kétféleképpen lehet megvalósítani. Üzemi tapasztalatok szerzése céljából mindkét lehetőséget meg kívánjuk valósítani.

Az egyik lehetőség a hajtás átkapcsolása az akkumulátorról a munkavezetékre. Minthogy a hajtás — a motor, a szaggató és minden egyéb szükséges — már a trolibuszhoz kettős szigeteléssel készül, ennek a lehetősége adott, illetve csak a megfelelő átkapcsolóberendezés beépítésén múlik. Az akkumulátor töltése a hajtás táplálásától függetlenül, azzal egyidőben és párhuzamosan történik. Ebben az üzemmódban a jármű menettulajdonságai a trolibuszéval azonosak lehetnek.

A másik lehetőség a hajtás táplálása az akkumulátorról, ugyanúgy, mint önálló akkumulátoros üzemben, miközben az akkumulátort folyamatosan töltjük a hálózatról. Ez esetben a gyorsítóteljesítményt az akkumulátor és az egyidejű töltés figyelembevételével kell korlátozni. A visszatápláló fékezés energiáját az akkumulátor veszi föl, az önálló akkumulátoros üzemnél említett korlátozással. Visszatápláló fékezés alatt szükség lehet a hálózati töltőáram önműködő korlátozására.

3. Eltérések az ismert vasúti jellegű berendezésektől; a karbantartási igény csökkentése

A tirisztoros szaggatóval működő egyenáramú vontatás a vasúti gyakorlatban terjedt el először és csak később kezdték közúti járműveken alkalmazni. A vasúti járművek eleve merevebb és nehezebb szerkezetek, mint a közútiak, ezért ott a saját tömeg kér

dése nem annyira kiélezett. A VKI fejlesztésű trolibusz villamos berendezés éppen abban tér el elsősorban a vasúti berendezésektől, hogy a saját tömeg minél nagyobb mértékű csökkentésére törekedtünk. A másik lényeges törekvés a karbantartási igény lehetőség szerinti csökkentése.

A szaggatós hajtások többségéhez soros motorokat használnak. A soros motor forgásirányváltása szükségyszerűen elektromechanikus kapcsolókészülékekkel történik, ezt tisztán félvezetőkkel megoldani aránytalanul drága volna. Saját megoldásunk a külső gerjesztésű motor által adott lehetőségek kihasználásával tisztán elektronikus, és a villamos fékezés is kapcsolókészülékek nélkül, elektronikusan működik. Ez elég jelentős tömeg- és méretcsökkenéssel jár, de egyúttal a karbantartási igényt is számottevően csökkenti; a villamos berendezések legtöbb karbantartást igénylő részei az elektromechanikus kapcsolókészülékek. Az erősáramú kapcsolókkal együtt kiküszöböltük a berendezésből a relés vezérlést is, a teljes vezérlési rendszer elektronikus megoldású, ami ugyancsak nagymértékben csökkenti a karbantartást és növeli a megbízhatóságot.

A saját tömeg csökkentését hatékonyan szolgálja a viszonylag nagy kapcsolási frekvencia. A csuklós trolibusz armatúraköri simító-fojtótekerésének tömege ennek következtében 100 kg-nál kevesebb.

Ugyancsak a tömeg csökkentését célozza az újszerű túlfeszültségvédelem, amelyben a kondenzátor kapacitása egy nagyságrenddel kisebb a szokásosnál. A kondenzátor egyébként nem elektrolit, hanem fémezett műanyag kondenzátor.

A karbantartási igény csökkentése céljából a jármű segédüzeméből igyekeztünk kiküszöbölni a kommutátoros gépeket, ezért a segédüzemi akkumulátor töltése tirisztoros töltővel történik, és a járművön váltóirányító útján 3×42 V-os, 50 Hz-es segédüzemi hálózatot alakítunk ki; ennek megfelelően pl. a kompresszort és a kormány szervó szivattyúját hajtó motorok rövidrezárt forgórészű aszinkron motorok.

4. Igen könnyű építésű villamos vontatómotor fejlesztése

A jármű saját tömegének csökkentésére irányuló munkálatok folyamán a vontatómotor tömegét sem lehet figyelmen kívül hagyni. Az első trolibusz motorja ugyan még hagyományos, közúti villamos motorkocsihoz használt motor lesz külső gerjesztésűre átalakítva, de a VKI megkezdte új típusú, a hagyományos motoroknál lényegesen könnyebb és kisebb vontatómotor fejlesztését. Az első motorpéldány már elkészült, mérései folyamatban vannak. A motor tervei a Ganz Villamossági Művekben készültek, a kísérleti megvalósítás és a technológiai problémák megoldása azonban a VKI-ben történik.

Az új motor jellemzője a teljesen zárt hűtőrendszer, amelyben a hűtőközeg $0,7...0,9$ MN/m² nyomású sűrített levegő, amely a trolibuszon a légfék működtetésére amúgyis rendelkezésre áll. A sűrített levegőt zárt körben keringtetjük, a visszahűtés levegő—levegő hőcserélőben történik. A sűrített levegő fogyasztása csak annyi, amennyi az elkerülhetetlen szivárgások pótlására szükséges.

A sűrített levegős hűtés előnyei:

- a felületi hőátadási tényező a nyomás $0,6...0,8$ -ik hatványával nő (turbulens kényszerkonvekció), az alkalmazott nyomáson tehát kb. ötször akkora, mint atmoszferikus nyomáson;
- a lamináris határreteg vékonyabb, ezért sűrűbb osztású hűtőbordázatok, illetve kisebb keresztmetszetű hűtőcsatornák alkalmazhatók;

- a térfogategységnyi hűtőlevegő hőkapacitása a sűrűség arányában nagyobb;
- a sűrített levegőnek nagyobb a villamos (átütési) szilárdsága;
- nedvesség, por, hó nem hatolhat be a gép belsejébe.

Ezek az előnyök azonban csak akkor aknázhatók ki maradéktalanul, ha alapvetően megváltoztatjuk a vontatómotor konstrukcióját. A lényegesebb változtatások a következők:

- a forgórész-tekercesfejek belülről is hűtve vannak azáltal, hogy a két réteg között kialakított hűtőcsatornában sűrített levegő áramlik;
- a forgórész vastestében kialakított axiális hűtőcsatornák nem a tengely és a fluxust vezető koszorú között, hanem a hornyok és a koszorú között helyezkednek el, ezáltal a hűtőfelület itt is a hőforrás közvetlen közelébe került;
- a forgórész tekerceseit nem horonyék, hanem a teljes paláston végigfutó üvegbandázs rögzíti;
- a forgórészfogak keskenyebbek a szokásosnál, a forgórész tekerceselése villamos szempontból olyan, mintha a légrésemben helyezkedne el; ennek révén javul a gép kommutációja (kisebb a szórási reaktancia), másrészt a tekerceselés számára több hely marad; ez a megoldás ugyan nagyobb állórész-gerjesztést kíván, de a sűrített levegős hűtés és a gerjesztőtekerces megfelelő kialakítása miatt ez nem okoz nehézséget;
- a forgórész-tekerceselés és a forgórész-vastest közötti minél kisebb hőlépcső érdekében vékony és levegőzárványoktól mentes horonyszigetelésre van szükség; ez a hornyok alatt elhelyezkedő hűtőcsatornákra való tekintettel különleges impregnálási technológiát kíván;
- a jó hűtésből adódó kis forgórészátmérő miatt a kommutátor átmérője is kicsi; a viszonylag nagy áramból adódó jelentős hosszúság és kis átmérő miatt fecskefarkas illesztés nélküli, különleges konstrukciójú kommutátort kell alkalmazni.

A forgó tengely tömítésére a vegyiparban bevált csúszógyűrűs tömítést alkalmazunk (a zárófolyadék olaj); a nyugvó tömítések precíziós O-gyűrűk.

A kísérleti, sűrített levegő hűtésű vontatómotor tervezési adatai:

- névleges teljesítmény: 100 kW 4600¹/_{min} fordulatszámon;
- max. üzemi fordulatszám: 7750 min¹;
- a vontatómotor tömege: 200 kg.

A vontatómotor segédberendezéseivel együtt fele akkora tömegű, mint az egyenértékű hagyományos technológiájú és szerkezetű vontatómotor. Sorozatgyártás esetén a kisebb tömeg kisebb árat is jelent. Ez a két körülmény együtt azt eredményezheti, hogy trolibuszon és közúti villamos motorkocsin kívül megfontolás tárgyává lehet tenni a közúti dízelvillamos járművek kérdését, különösen ott, ahol több tengely hajtása volna kívánatos.

5. Ár és gazdaságosság

Egy korszerű trolibusz mindenütt a világon lényegesen többé, körülbelül kétszeresébe kerül, mint egy egyenértékű dízel-autóbusz. Ezt a gazdaságossági megfontolásokban előre kell bocsátani. Ezt tudomásul véve, a trolibusz gazdaságosságáról a következőket mondhatjuk.

- A trolibuszban a villamos hajtás a drága a dízelhajtással összehasonlítva.

- A trolibusz villamos berendezésének élettartama lényegesen hosszabb, mint a dízelmotor-hajtás élettartama; egy trolibusz villamos berendezése alkalmas arra, hogy két autóbusz-karosszériát kiszolgáljon egymás után.
- A trolibusz üzemeltetése — energia, karbantartás — olcsóbb, mint a dízel-autóbuszé; ezért összköltségben is olcsóbb abban az esetben, ha a forgalom elég nagy; éppen ezért a VKI elsősorban a csuklós trolibusz fejlesztésével foglalkozik, mert a csuklós trolibusz a nagyforgalmú vonalak járműve.
- A trolibusz levegőszennyezés és zaj szempontjából előnyösebb az autóbusznál; környezetvédelmi okokból alkalmazása ott is indokolt lehet, ahol a forgalomsűrűség csekélyebb, azaz a trolibusz üzemeltetése a dízel-autóbuszénál nagyobb; a *környezetvédelem ugyanis szintén pénzbe kerül.*
- A trolibusz különösen előnyös hegyi járatokon; itt szóló trolibusz alkalmazása jöhet szóba elsősorban, amelynek menettulajdonságai hegyi vonalakon a dízel-autóbuszokénál lényegesen kedvezőbbek és lejtmenetben a szabályozott villamos fék nagymértékben hozzájárul a mechanikus fékek kíméléséhez és a karbantartási költségek csökkentéséhez: ha pedig a villamos fék energiavisszatáplálással történik, hegyi vonalakon különösen sok energia takarítható meg.

A trolibuszok beszerzési árának mérlegelésekor figyelembe kell venni, hogy a ma forgalomban levő dízel-autóbuszok többsége korszerű jármű nagy motorteljesítménnyel, automatikus vagy félautomatikus sebességváltóval, szervokormányval és egyéb, az utazási és a vezetési kényelmet szolgáló berendezésekkel. Ugyanakkor a ma forgalomban levő trolibuszok jelentős része viszonylag régi, elavult jármű. Nyilvánvaló, hogy a fejlesztésnél csak minden tekintetben korszerű jármű kialakítását lehet célul kitűzni, és új járművek beszerzésénél is a korszerűségekre kell törekedni. Ezt a szempontot különösen fontos figyelembe venni, ha arról kell döntenie, hogy az új trolibusz tirisztoros legyen-e, vagy elektromechanikus vezérlésű. Ha az utóbbival ugyanezt az utazási és vezetési komfortot akarnánk elérni és korszerű, hosszú élettartamú, kisméretű készülékeket használnánk, az elektromechanikus trolibusz legalább ugyanannyiba kerülne, mint a tirisztoros, energia- és karbantartási költsége azonban nagyobb lenne. Nem elhanyagolható szempont, hogy a tirisztoros berendezések nemcsak lényegesen kevesebb karbantartást igényelnek, de mindinkább az a helyzet, hogy a dolgozók szívesebben vállalkoznak az elektronikus berendezések elegánsabb karbantartási munkáira, mint a hagyományos berendezésekkel kapcsolatos piszkosabb és nehezebb fizikai munkára.

Külön kell szólni a visszatápláló fékezés gazdaságosságáról, ami szakkörökben ma is eléggé vitatott kérdés. A VKI által kifejlesztett szaggatót figyelembe véve a visszatápláló fékezés beépítésének többletköltsége mindössze kb. 50 000 Ft. Ez a többlet az energiamegtakarításból néhány éven belül megtérül. Külön előnyként kell említeni a visszatápláló fékezésnek azt a hatását, hogy lényegesen javítja a hálózati feszültségviszonyokat, ami a közvetlenül visszatáplált energia hasznán kívül azzal az előnnyel jár, hogy a járművek a nagyobb feszültségű hálózatról ugyanezt a teljesítményt kisebb árammal veszik föl, tehát a vezetékvesztések csökkennek.

A visszatápláló fékezés ellenzői fölvetik még azt a kérdést, hogy anélkül a motort nagyobb feszültségűre lehet választani, tehát kisebb áramerősségű tirisztorokra van szükség, ezért a szaggató olcsóbb. Ez azonban csak részben van így. Fél feszültségű motor esetén fél feszültségű, kétszeres áramú szaggatóra van szükség, azonban itt a tirisztorok bekapcsolási aránya — folyási szöge — is félakkora, márpedig a tirisztorok vesztesége csak részben függ az áram effektív értékétől, nagyobb részben azon-

9-2. táblázat

Trolibusz fajtája	Menetjellemzők					Hálózati jellemzők					Állomásjellemzők		
	v_{op} , km/h	t_1 , s	T , s	P_M , kW	P_P , kW	R_L , Ω	I_{HM} , A	I_{HP} , A	$I_{eff\ all}$, A	$I_{eff\ vi}$, A	W_{el} , kW/h	W_{el}^{VI} , %	W_{el}^{VI} , %
	50	26	65	230	290	0	450	-	185	-	1,34	-	100
	30	66	195	290	0,225	450	-	190	-	1,48	-	110	
	18,5	64,5	205	290	0	400	-480	200	240	1,20	0,71	90	
Szaggatós ellenállás- fékkel „el” vissza- tápláló fékkel „vi”	50	21,4	65,3	175	0,225	400	-415	220	245	1,39	0,97	104	
	57	23,6	205	330	0	400	-550	230	280	1,42	0,79	106	

Adatok: Gyorsítandó tömeg: 24 100 kg
 Megállóhely-távolság: 350 m
 Megállóhelyi állásidő: 25 s
 Az állomás feszültsége: 600 V

Jelölések:

v_{op} csúcssebesség két megálló között
 T a csúcssebesség eléréséhez szükséges idő
 T_1 periódusidő
 P_M a vontatómotor legnagyobb tengelyteljesítménye menetüzemben
 P_P a vontatómotor legnagyobb tengelyteljesítménye féküzemben
 R_L a hálózat ellenállása az állomást és a kocsit között
 I_{HM} a hálózatról felvett csússzám menetüzemben
 I_{HP} a hálózatba visszatáplált áram csússzámú féküzemben
 $I_{eff\ all}$ a hálózati áramának effektív értéke ellenállásféküzem esetén
 $I_{eff\ vi}$ a hálózati áramának effektív értéke visszatápláló fékezés esetén
 W_{el} egy ciklus energiát fogyasztása ellenállásféküzem esetén
 W_{el}^{VI} egy ciklus energiát fogyasztása visszatápláló fékezés esetén

ban a középértéktől. Így a tirisztorokat nem kell kétszeres áramra méretezni, a növekedés ennél jóval kisebb. Másrészt ha van ellenállásfék, akkor a szaggatónak ki kell bírni a menetüzemi teljesítménynél nagyobb fékteljesítményt, mégpedig nagyobb feszültségű motor esetén a névleges hálózati feszültségnél lényegesen nagyobb feszültségen, ami kellemetlen problémát és árnövekedést jelent. Segíteni lehet ezen megosztott fékellenállással, de ez azzal a következménnyel jár, hogy a fékhatás kb. 20 km/h sebesség alatt megszűnik, vagy ennek elkerülésére külön rövidrezáró kontaktort kell beépíteni.

A visszatápláló fékezés jelentőségét mutatjuk be a 9-2. táblázaton. A táblázat második és negyedik sorában figyelembe vettük a tápláló hálózat ellenállását egy gyakorlatban is előforduló értékkel. Különösen figyelemre méltó az egy menetciklusra vonatkozó energiafogyasztás értéke az állomáson mérve. Ha a zérus hálózati rezisztenciára vonatkozó 1,34 kWh fogyasztást, amely 50 km/h csúcsebesség és hagyományos ellenállásvezérlésű kocs esetén mérhető, 100%-nak tekintjük, ehhez viszonyítva jól látható, hogy a tirisztoros vezérlés visszatápláló fékezés nélkül viszonylag csekély energiamegtakarítást eredményez (90%, ha a hálózat ellenállása zérus, 104% a hagyományos vezérlésű trolibusz 110%-ával szemben, ha a hálózat ellenállása 0,225 Ω és 106%, ha a hálózat ellenállása zérus, de a menetciklus alatt a csúcsebesség 57 km/h). Ezzel szemben a visszatápláló fékezéses üzem megfelelő adatai: 53, 72 és 59%, tehát visszatápláló fékezéssel ideális menetdiagram esetén 30 ~ 40% további energiamegtakarítás érhető el.

6. Többlétszolgáltatások

Az elektronikus vezérlés bizonyos többlétszolgáltatásokat tesz lehetővé, amelyeket részben az utasok kényelme, részben a jármű vezetési komfortja érdekében igyekszünk maximálisan kihasználni.

Utazási kényelmet szolgáló megoldások:

- A lökés korlátozása: lökésnek nevezik a sebesség második differenciálhányadosát, tehát a gyorsulás időbeli változását. A nagy lökés különösen álló utasokra nézve nagyon kellemetlen, sőt balesetveszélyes is (elesés), ezért az áramszabályozás úgy van kialakítva, hogy a motoráram gyorsuláskor és fékezéskor egyaránt fokozatosan alakul ki, a maximális gyorsítóáram kb. 2,5 s alatt. Kivétel természetesen a vészfékezés esete.
- A gyorsulás korlátozása: a gyorsítóáram maximális értéke a kocs terhelésének függvénye, így az elérhető gyorsulás üres kocs esetén is ugyanakkora, mint teljes terhelés esetén. Ez ugyancsak főleg az álló utasok kényelme és biztonsága érdekében célszerű.

A vezetési komfortot szolgáló megoldások:

- Áramszabályozás: a folyamatos és finom áramszabályozás teszi lehetővé a vezető számára, hogy kényelmesen és biztonságosan alkalmazkodni tudjon a forgalom üteméhez, tehát pl. állandó 40 vagy 50 km/h sebesség tartásához ne kelljen a hajtást a menetpedál segítségével állandóan ki-be kapcsolgatnia, mint több, ma forgalomban levő villamos járművön. Ez a trolibusz viszonylag nagy motorteljesítménye miatt különösen fontos.
- Sebességszabályozás: az áramszabályozás fölé rendelve sebességszabályozása is van a kocsnak. Az előírt érték kézzel beállítható. A sebességszabályozás

úgy működik, hogy ha a jármű sebessége — pl. lejtmenetben — túllépi az előírt értékeket, akkor önműködően működésbe lép a villamos fék. Ez nagyon megkönnyíti és egyúttal biztonságosabbá teszi a jármű vezetését lejtőn lefelé haladáskor, továbbá akadályozott forgalomban elég nagy energiamegtakarítást tesz lehetővé, ha a vezető az elérhető maximális sebességet kisebbre állítja. Az energiamegtakarítás lehetőségét szemléletesen mutatja a 9-2. táblázat harmadik és ötödik sorának összehasonlítása. A két menetciklus között csak annyi a különbség, hogy a beállított maximális sebesség 50, illetve 57 km/h. A T periódusidő 64,5, illetve 63, 8 s, tehát a növelt csúcsebesség 350 m-es megállótávolság esetén mindössze 0,7 s megtakarítását eredményezi, az energiafogyasztás azonban ellenállásfékkel 1,20, illetve 1,42 kWh, a többlet tehát 18%, visszatápláló fékezéssel pedig 0,71, illetve 0,79 kWh, a többlet tehát még így is 11,1%.

- Lejtőn fölfelé indulás esetén a lökéskorlátozás módosítva lép működésbe. A jármű helybentartásához szükséges nagyságú motoráram a rögzítőfék kioldásakor ugrásszerűen kialakul, és csak ezen fölül működik a lökéskorlátozás. Ez megakadályozza a jármű visszagurulását. Ehhez természetesen érzékelni kell a jármű terhelését és a lejtő szögét.

7. Akkumulátoros önjárás

Az akkumulátoros önjárás olcsóbb és a beépítendő tömeg kisebb, mint a benzinmotoros önjárás esetén lenne. Az önjáráshoz némileg módosított vezérléssel ugyancsak a motorköri szaggatót használjuk. Az elérhető sebesség természetesen lényegesen kisebb, a hegymászó képesség azonban csaknem megegyezik a normális üzemben elérhető értékkel.

Önjárás céljára szinterelektródás Ni—Cd akkumulátorok beépítését tervezzük. Ezek az akkumulátorok éppen az ilyen rövid ideig tartó igen nagy túlterhelésekre lényegesen jobbak, mint az ólomakkumulátorok. A 72 V-os lúgos akkumulátortelep tömege mintegy 220 kg, ólomakkumulátorral ugyanolyan önjárási menettulajdonosságok elérése kb. ennek kétszeresét tenné szükségessé.

Irodalom

- [1] *Glofák—Halmi—Kiss*: Villamos hajtású városi autóbuszok fejlesztése. VKI Közlemények 6. kötet. 1978.
- [2] *Glofák—Halmi—Kiss*: Up-to-date electric equipment for trolleybus application. FISITA XVII. International Congress, Budapest, 4...10 th June 1978. Proceedings Vol. II. p. 1019–1030.
- [3] *Dietrich, E.*: Der Duo-Bus — ein evolutionärer Beitrag für ein umweltfreundliches, flexibles Nahverkehrssystem. FISITA XVII. International Congress, Budapest, 4...10 th June 1978. Proceedings Vol. I. p. 219–229.
- [4] *Domann, H.—Wirtz, R.*: Der Duo-Bus, alternativ gespeist aus Fahrleitung oder Batterie. ETZ-A 98(77)1. p. 51–54.
- [5] *Hagen, H.—Zelinka, R.*: Erfahrungen aus dem Grossversuch mit einem Elektrobus. ETZ-A 98(77)1. p. 54–60.
- [6] *Domann, H.—Wirtz, R.*: Angaben zur elektrischen Ausrüstung des Duo-Busses. „Nahverkehrsforschung 75“. Herausgegeben vom Bundesminister für Forschung u. Technologie, Bonn 1975.
- [7] *Manzoni, S.*: Passé, présent et perspectives d'avenir du trolleybus. Bull. SEV 67(76)14. p. 731–734.
- [8] *Müller, H.-G.*: Ein Jahr Modellversuch Elektrobus in Nordrhein-Westfalen. ATZ 78(76)5. p. 203–207.
- [9] *Dietrich, E.—Domann, H.—Sahm, K.—Striffler, P.—Wuch, P.*: Der Duo-Bus — ein evolutionärer

Beitrag für ein umweltfreundliches Nahverkehrssystem. Verkehr u. Technik, Sonderheft Omnibus. 1975. szept. p. 20–26.

- [10] *Frantisek, M.*: Thyristor-Impulsregelung des Antriebs der Obusse Skoda. Skoda Revue 1972. 2. p. 60–64.
- [11] *Daether, K.—Faust, W.*: Elektronische Gleichstromsteller für einen Trolleybus. Brown B. Mitt. 53(66)10. p. 715–721.
- [12] *Hagen, H.*: Der MAN-Elektrobus. Konzept und erste Erfahrungen. ETZ-A 94(73)11. p. 671–676.
- [13] *Löcker, H.*: Der Gleichstromsteller und seine Anwendung auf vollelektronisch gesteuerten Trolleybussen. Brown B. Mitt. 57(70) p. 419–428.
- [14] *Kaller, R.—Vollenwyder, K.—Manzoni, S.*: Einheitstrolleybusse mit elektronischem Gleichstromsteller. Brown B. Mitt. 61(74)12. p. 531–539.

10.

Középteljesítményű közúti villamos járművek hatótávolság-növelésének racionális lehetőségei

PÁLFY MIKLÓS—KERÉNYI ISTVÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk tárgyalja a VKI-ban eddig elért eredmények tükrében a hajtás eredő hatásfokának, a menetellenállásoknak a járműakkumulátor tömegviszonyainak és a visszatápláló villamos fékezésnek a hatótávolságra gyakorolt hatását. Ezek ismeretében vizsgálja a járművek hatótávolság-növelésének lehetőségeit, valamint országúti távolsági és városi start-stop tesztek útján nyert eredményekkel a gyakorlatban is bemutatja az elméleti megfontolások érvényességét.

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ ДИАПАЗОНА ДОРОЖНЫХ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

М. Палфи—И. Керени

Резюме

На основе результатов, достигнутых в VKI до сих пор, в статье анализируется действие результирующего к. п. д. привода, сопротивлений движения, массовых отношений тягового аккумулятора и рекуперативного электрического торможения на диапазон транспортных средств. На основе этих действий анализируются возможности увеличения диапазона транспортных средств. По результатам, полученным из дорожных тестов по диапазону и городских start-stop тестов, экспериментально доказывается применимость теоретических соображений.

RATIONALE MÖGLICHKEITEN DER REICHWEITERHÖHUNG BEI DEN ELEKTRISCHEN MITTELLEISTUNGS- STRASSENFAHRZEUGEN

М. Pálffy — I. Kerényi

Zusammenfassung

Der Aufsatz erörtert — auf Grund der im VKI bisher erzielten Ergebnisse — den auf die Reichweite ausgeübten Einfluss des entstehenden Wirkungsgrades des Antriebs, des Fahrwiderstandes, der Massenverhältnisse des Fahrzeuges und des Akkumulators und des zurückspeisenden elektrischen Bremsens. In Kenntnis dieser obenerwähnten Tatsachen prüft er die Möglichkeiten der Reichweiterehöhung bei den Strassenfahrzeugen, sowie mit den durch Fernverkehr und Start-Stop-Tests in der Stadt gewonnenen Ergebnissen stellt er die Gültigkeit der theoretischen Überlegungen auch in der Praxis vor.

RATIONAL POSSIBILITIES OF IMPROVING THE RANGE OF THE INTERMEDIATE-POWER ELECTRIC ROAD-VEHICLES

By M. Pálffy — I. Kerényi

Summary

The paper deals — on the basis of the results achieved in the Research Institute of the Electrical Industry up-to-now — with the effect of the resulting efficiency of the drive system, with that of the rolling and aerodynamic resistances, the mass ratio of the vehicle to the battery, the regenerative braking on the range. Knowing these circumstances it investigates the possibilities of improving the range of the vehicles, then it introduces the validity of the theoretical considerations in practice with the results obtained by highway long-distance and urban start-stop tests routes.

Kutatással és nem kutatással foglalkozó munkatársakkal, „szakmabeliekkel” folytatott beszélgetések során gyakran felmerül az a kérdés, hogy miért érdemes egyáltalán a villamos járművek fejlesztésével foglalkozni. Ha az érveket elkezdjük sorolni — szakmánk becsületét és eddig elért eredményeinket védve — utolsó aduként a megelégedettség mosolyával kérdezik: „Hogyha egyáltalán érdemes foglalkozni a kérdéssel, miért éppen Magyarországon?”. Kutatóknak nyilván nem furcsa a kérdésnek ez a logikája, hiszen egymás témáival kapcsolatban — valljuk meg őszintén — gyakran teszünk fel ilyen és ehhez hasonló kérdéseket.

Hogy e gondolatsor kapcsán a villamos járművek fejlesztésének kérdését itt is újból fölvetjük, ezt az a körülmény indokolja, hogy — bár kutatási-fejlesztési eredményeink már nemcsak a szocialista országokban elismertek és jelentősek — újból és újból indokolni kell a fejlesztés létjogosultságát.

Napjainkban már mindenki tisztában van azzal, hogy néhány évtized múltán a belsőégésű motorokhoz használt fosszilis tüzelőanyagok a jelenlegi felhasználás növekedésének ütemét figyelembe véve Földünkön teljesen kimerülnek [1] és szinte nem marad más alternatíva a közlekedésben, mint a villamos jármű. Ha ekkor kezdjük majd közlekedésünket átállítani, ez szinte megoldhatatlan probléma lesz, hiszen új technológiát fog igényelni és infrastrukturális oldalról teljesen felkészületlenek leszünk.

Angliában — mint ismeretes — több mint százezer villamos jármű üzemel, s a szakemberek véleménye szerint adó, üzemeltetési és investíciós preferenciákkal fokozni kell ezt a mennyiséget, hogy a nagy átállás ne jelentsen problémát [2]. Nem arról van szó, hogy máról holnapra cseréljük ki a robbanómotoros járműveket villamos járművekre, hanem arról, hogy lépéseket kell tennünk az irányban, hogy a villamos járművek megjelenjenek városainkban. Ezen a területen kezdeményezett intézetünk a 10 db Barkas üzembeállításával [3], [4], [5], [6], [7], [8] és igyekszik a felhasználók tapasztalatát figyelembe véve olyan új járművet létrehozni, amely az adott technikai lehetőségek között az energiatárolóban felhalmozott villamos energiát a legracionálisabban hasznosítja. Nem kívánunk itt részletesen beszámolni a kis- és középjeljesítményű villamos járművek fejlesztése területén elért korábbi eredményeinkről — amelyről egyébként már számot adtunk [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11] — de szeretnénk szólni a fejlesztés néhány technikai kérdéséről középteljesítményű közúti járművekkel kapcsolatosan.

E járműkategória fejlesztésének szükségszerűségét már többször indokoltuk, de két gondolatot most is emeljük ki.

— Az Amerikai Egyesült Államokban készült felmérések szerint a nagyvárosokban közlekedő járművek 95%-a naponta 80 km-nél kevesebbet fut, és hazai

felmérések szerint is a belvárosi postai járművek napi átlagos futása csupán 30 km körül van [6].

- Egy 1970-es felmérés szerint a teherszállító járművek hasznos terhelés szerinti százalékos megoszlása az NSZK-ban a következő [11]:

<i>Hasznos terhelés, t</i>	<i>Megoszlás, %</i>
< 1	24,4
1...1,5	19,9
1,5...2	14,1
2...2,5	5,5
2,5...3	3,7
3...3,5	5,0
3,5...4	4,7
4...5	4,1
5...7	8,5
7...9	8,1
> 9	2,0

Az első gondolat a jelenleg szóba jöhető energiatárolók mellett ad széles perspektívát egyáltalán a városban közlekedő járművek villamosítására, míg a második gondolat — ugyancsak a jelenleg szóba jöhető energiatárolókra alapozva — jelzi a lehetőségek találkozását. A járművek egynegyede kis teherszállító és majdnem 60%-a 2 t-nál kisebb. Ezt a koncepciót a Budapest belvárosára vonatkozó hazai felmérés is alátámasztja [13].

Nézzük meg ezek után, hogy hogyan hasznosítja a villamos jármű a rendelkezésre álló energiát. Számos vizsgálati módszer ismeretes [14], [15], [16], [17]. Ezek racionális elemét figyelembe véve végezzük vizsgálatunkat a főbb szerkezeti egységekre kiterve és vizsgáljuk meg, hogy mire fordítjuk az energiatárolóban levő energiát. Alapvetően a következő két terület elemzését tartjuk szükségesnek:

- menetellenállások legyőzése;
- a villamos energia mechanikai energiává történő átalakítása.

1. Menetellenállások vizsgálata

A járművek menetellenállásának meghatározásához a következő összetevők vizsgálata szükséges:

- gördülési ellenállás;
- légellenállás;
- gyorsítás és kapaszkodóképesség.

E tényezők nemcsak a villamos, hanem minden más jármű energiafelhasználását befolyásolják, azonban tekintettel a robbanómotoros járműveknél használt nagyobb energiasűrűségű energiatárolókra, ez a kérdés ilyen élesen eddig nem merült fel.

Az első két tényező a jármű konstrukciójával jelentősen befolyásolható és fejlesztési lehetőséget biztosít. A gyorsítás és kapaszkodóképesség az energia racionális felhasználása szempontjából — mint látni fogjuk — kevésbé befolyásolható a konstrukcióval.

1.1 Gördülési ellenállás

A gördülési ellenállás adott járművek esetén csak a gördülési tényezőtől függ. Szokásos járműveknél ez az érték $\mu = 0,015$ körül mozog, azaz pl. 1 tonnás, sík beton úton mozgó jármű egyenletes mozgásban tartásához kb. 150 N erő szükséges. Látszólag ez kis érték, de ha összevetjük a sínen közlekedő járművel, akkor kiderül, hogy annak gördülési ellenállása ennek kb. $\frac{1}{3}$ -a. Ez azt jelenti, hogy azonos energiafelhasználással a sínen közlekedő jármű háromszor akkora utat képes megtenni (természetesen sík terepen). Ennek az értéknek a javítása igen célszerű, és van is rá lehetőség. Modern gumiabroncsok alkalmazásával (textil, vagy acélradiál szerkezetű) ez az érték 0,012 érték alá csökkenthető [18]. Megfontolandó továbbá a jelenlegi gumiabroncs-konstrukciók mellett is a légnyomás növelése, hiszen ettől jelentős mértékben változik a gördülési ellenállás értéke. Célszerű lenne — a gördülési ellenállás minimális értéken tartása érdekében — a gyárilag megengedhető legnagyobb nyomáson üzemeltetni a kerekeket, bár ennek a jelenlegi útviszonyok mellett nemcsak kényelmi, hanem járműszerkezetet befolyásoló akadályai is vannak.

1.2 Légellenállás

A légellenállás értéke, mint ismeretes sebességtől, a jármű formatényezőjétől és a homlokfelület nagyságától függ és a sebesség második hatványával növekszik. Általában a gyakorlati adatok ismeretében megállapítható, hogy 50 km/h sebesség alatt hatása a gördülési ellenálláshoz képest elhanyagolható, de 100 km/h sebesség felett a légellenállás dominál (természetesen sík úton és állandó sebesség mellett). A villamos járművek max. sebességtartománya 50...100 km/h között van, így ennek a tényezőnek a figyelembevétele is szükséges. Addig azonban, amíg külön karosszériakonstrukció nem lesz a villamos járművekhez és amíg az új járművek robbanómotoros jármű átalakításából születnek, addig ez a tényező nem befolyásolható. A Barkas zártszekrényes áruszállító jármű formatényezője 0,5 [18], egy jól áramvonalazott személykocsi (pl. VW bogár, Citroën) 0,38 körül van.

1.3 Gyorsítás és kapaszkodóképesség

A gyorsításhoz és az emelkedő legyőzéséhez szükséges energia a klasszikus mechanika alapján számítható. A villamos járművekre több országban, így nálunk is vannak érvényes ajánlások, amelyek előírják a járművek minimális gyorsító- és kapaszkodóképességét [19]. Ezek az értékek jelentős mértékben befolyásolják a jármű teljes energiafogyasztását (Energy Consumption rövidítésével ENCO-val jelölnék egyébként). Ezen a téren energiamegtakarítás csak a menettulajdonságok részleges kihasználásával érhető el, ami azt jelenti, hogy jelentős mértékben függ a jármű vezetőjétől. Célszerűnek tűnik a járműveket a minimál követelményekhez képest túlméretezni, mert ez adott esetben kedvező dinamikai tulajdonságokat biztosít, de a robbanómotoros járműhöz hasonlóan ennek kihasználása „túlfogyasztást” okoz.

2. A villamos energia mechanikai energiává történő átalakítása

Tárgyalásunk szerint az átalakítási láncfolyamat az energiatároló kapcsaitól a kerék tengelyéig tart, és elég jól elválaszthatóan a következő egységekre bontható:

- hajtásszabályozó;
- villamos vontatómotor;
- mechanikai hajtómű.

Minden energiaátalakítás veszteséggel járó folyamat. A veszteségek csökkentése feltétlen energiamegtakarítást jelent, így ebben jelentős fejlesztési perspektíva rejlik a hatótávolság növelése tekintetében. Vizsgáljuk meg ezt a három főegységet.

2.1 Hajtásszabályozó

A hajtásszabályozónak az energiaforrás és a vontatómotor között mindenkor a menetviszonyoknak megfelelő áram- és feszültségértéket kell biztosítania a vontatómotor számára. Kezdetben az akkori technikai lehetőségeknek megfelelően a villamos járművek hajtásszabályozói ezt a feladatot úgy látták el, hogy vagy az akkumulátor-egységeket kapsolták mechanikus szerkezetekkel a menetviszonyokhoz illeszkedő kombinációba (sorba, párhuzamosan), vagy pedig ellenállás beiktatásával érték el a jármű sebességváltoztatását. Ezek a szabályozási módok és szerkezetek napjainkban már alig használatosak, mert jelentős energiavesztést okoznak, általában durva szabályozási lehetőséget nyújtanak és az áramforrást jelentősen igénybe veszik. Hogy mégis néhány helyen alkalmazzák — elsősorban az akkumulátorok soros párhuzamos kapcsolásával működő szabályozót, bár általában ezt sem önállóan, hanem hidraulikus nyomatékvtáló egyidejű alkalmazásával — ennek okai általában különböző gazdasági megfontolások.

Ide kell sorolni tulajdonképpen még a több hajtómotorral rendelkező, korábban széles körben alkalmazott — mind a motorok, mind a gerjesztőtekercesek soros — párhuzamos kombinációjából származó — szabályozást. Ennek fejlettebb változata az előzőekben elmondott megoldásokkal való kombinációja. Meg kell azonban jegyezni, hogy ezeknek a szabályozóknak a hatásfoka direkt fokozatban általában jó, azonban gyakori gyorsítás, fékezés esetén a vezető vezetési stílusától függően olyan jelentős veszteségek keletkeznek, hogy még az 50%-ot is meghaladhatják. Ez az érték igen jelentős, főleg akkor, ha számításba vesszük, hogy a villamos járművek elsősorban ilyen üzemben használatosak. További hátránya ezeknek a szabályozási módoknak, hogy a jármű mozgási energiájából fékezéskor általában nem képesek visszatáplálni az energiatárolóba. (Kivétel, ha permanensmágneses motort alkalmaznak, de ebben a járműkategóriában ezek még nem elterjedtek.)

A nagyteljesítményű félvezetőeszközök megjelenése új perspektívát adott a villamos hajtásszabályozásnak, és segítségükkel ma már szinte tetszőleges egyenáramú, ill. váltakozóáramú hajtás valósítható meg. Kézenfekvő egyenáramú hajtásokat alkalmazni, miután a villamos energia egyenáram formájában áll rendelkezésre. Az egyenáramú hajtásszabályozóként egyenáramú szaggatókat alkalmaznak, amelyben az áram kapcsolását teljesítménytirisztorok, ill. tranzisztorok végzik. Az egyenáramú szaggatók előnye, hogy kis veszteségű hajtásszabályozást és viszonylag egyszerűbb módon visszatápláló fékezési lehetőséget biztosítanak. Az egyenáramú szaggatók veszteségei elsősorban a teljesítmény-félvezetők nyitóirányú — tirisztorok alkalmazása esetén az oltóköri — valamint az esetenkénti alkalmazott, armatúrával sorosan kötött fojtótekerces veszteségeiből tevődnek össze. E veszteségek csökkentése első-

sorban kedvező paraméterű (pl. tirisztoroknál kis nyitóirányú feszültségésű, kis szabaddáválási idejű) félvezetőelemek alkalmazásával, valamint a szaggató üzemmódjának megfelelő megválasztásával érhető el. Az utóbbin elsősorban a kitöltési tényező 0...100% teljes szabályozási tartomány kihasználását értjük. (Pl. 100%-os kitöltésnél az oltóköri és váltakozóáramú veszteségek teljesen kiküszöbölhetők.) Ilyen széles szabályozási tartomány általában csak az impulzusszélesség és a frekvencia együttes változtatásával érhető el. A szaggató félvezetőelemén keletkező veszteség csökkentésére kisebb (általában $U < 100$ V) telepfeszültségű járműveknél szokás 100%-os kitöltés mellett áthidalókapcsolót alkalmazni, ami azonban a vezérlést kissé bonyolultabbá teszi, különösen a maradéktalan áramkorlátozást illetően. A soros fojtótekercs veszteségei pedig optimális méretezéssel csökkenthetők.

A középteljesítményű járművekben alkalmazott egyenáramú szaggatók napjainkban tirisztorokkal működnek. A félvezetőtechnika fejlődése a közeljövőben már lehetővé fogja tenni ezeken a helyeken, hogy teljesítmény-tranzisztorokat alkalmazzanak, és ez a tény különösen a szaggató áramkörök egyszerűsítését és valószínűleg a veszteségek csökkenését is eredményezheti.

A váltakozóáramú hajtásszabályozók alkalmazása jelenleg általában csak nagyteljesítményű villamos járművek esetében jöhet számításba, így ezek tárgyalásától eltekintünk. Nem tekinthetünk el azonban a segédüzemi berendezések energiaellátó rendszerétől, amelyben a veszteség csökkentése — bár kismértékben — de hatósugár növekedését eredményezheti. Két alapmegoldást szokás használni: forgógépes áramelátót és egyenáramú átalakítót.

A vontató telep ilyen céllal történő megcsapolása középteljesítményű közúti járműveknél nem megengedett. A hatósugár növelése szempontjából ezen átalakító hatásfokjavítása 1%-on belül van, így fejlesztésüknél és javításuknál más szempontok döntőek. Pl. gazdaságossági szempontokat szem előtt tartva forgógépes átalakító használata célszerű, hiszen az ilyen átalakítók ma már nagy sorozatban készülnek az autópálya számára, a kisebb karbantartási igény szempontjából viszont feltétlenül az egyenáramú átalakítók élveznek előnyt.

2.2 Villamos vontatómotorok

A korszerű villamos járműhajtási igény kielégítésére speciális kialakítású villamos motorra van szükség. A szaggató hajtásszabályozás alkalmazása miatt a vasveszteségek csökkentése érdekében az állórész pólusait is lemezel kivitelben készítik, amelyek összefüggő mágneseskört alkotnak. Így a motor háza könnyűfém-ből is elkészíthető, amely súlymegtakarítást eredményez. További fajlagos súlymegtakarítás nagy fordulatszámú motorok alkalmazásával érhető el. Mint látjuk, ezek speciális követelmények a szokásos egyenáramú motorokhoz képest, azonban racionális energiafelhasználás csak ilyen motorokkal érhető el.

Középteljesítményű villamos járművekben alapvetően a következő két motorfajtát használják: a soros egyenáramú motort és a külső gerjesztéses egyenáramú motort.

A soros egyenáramú motort a villamos járművekben korábbiakban is — a járműhajtási igényekhez jól illeszkedő karakterisztikája folytán — széles körben alkalmazták. Soros egyenáramú motor alkalmazásánál csak a főáramkört kell szabályozni, így csak egy egyenáramú szaggatóra van szükség, a jármű haladási irányának megváltoztatásához, ill. a villamos fékezéshez azonban külön kapcsolószerkezetek szükségesek. A fékezési energia visszatáplálása kedvezőtlen körülmények között biztosítható.

A középteljesítményű villamos járművekben egyre inkább terjed a külső gerjesztéses egyenáramú motor használata. Előnye elsősorban a visszatápláló fékezésben és a széles tartományon belül beállítható működési jelleggörbében van. Hátránya, hogy a különböző jelleggörbék biztosításához a gerjesztés és a főáramkör külön szaggatóval szabályozandó.

Az energiafelhasználás és a hatótávolság racionális növelése szempontjából a teljes villamos hajtást komplexen kell vizsgálni. A soros és külső gerjesztéses egyenáramú motor között hatásfokot illetően nincs különbség (pl. a VW-transporterben alkalmazott külső gerjesztéses Bosch-motor hatásfoka 86 %, fajlagos teljesítménye 5,31 kg/kW; a VKI Barkas E-ben alkalmazott soros EVIG motor hatásfoka 85%, fajlagos teljesítménye 6,12 kg/kW). A külső gerjesztéses motoros hajtás — a jelleggörbék flexibilitása, valamint a jármű megállásig történő visszatáplálása következtében — start-stop üzemben nagyobb hatótávolságú, mint a visszatáplálással rendelkező soros motoros hajtás. Ez az érték egyes mérések szerint 25...30% hatótávolság-növekedést jelent [20].

2.3 Mechanikus hajtómű

A mechanikus hajtómű feladata a villamos hajtómotor fordulatszámát mindig a megfelelő kerékfordulatszámra csökkenteni, illetve egy motor alkalmazása esetén a differenciálás feladatát ellátni.

Középteljesítményű villamos járművek fejlesztésénél két alapesetet különböztünk meg:

- Hagyományos jármű elektrifikálása esetén a jármű sebességváltója és differenciálműve adott, ennek megváltoztatására általában nincs lehetőség. Kivételt képeznek azok az esetek, amikor a gyártó több módosítású váltóművet, illetve differenciálművet gyárt kocsijához. Ebben az esetben a fejlesztési feladat az optimálist legjobban megközelítő hajtómű kiválasztása és illesztése. Általában a sebességváltómű több fokozatának használatára nincs szükség, éppen a villamos hajtás flexibilitásának következtében. A szokásos járműveknél ezt a kb. 1 : 10-es áttételt két fokozatban valósítják meg, ezért az ilyen mechanikus hajtómű hatásfoka ritkán haladja meg a 80%-ot.
- Más a helyzet, ha új járműkonstrukció születik a villamos hajtáshoz, mert akkor megvalósítható az ideális áttétel egyetlen fokozatban is, amely kb. 90%-os áttételhatásfokot jelent. Vannak javaslatok speciális lánchajtás (duplex-triplex) alkalmazására pl. Lucas és japán szakértőktől, amelyek az irodalom szerint a fogaskerekes áttételnél is jobb hatásfokértéket ígérnek [21], [22].

Mindezt figyelembe véve a mechanikus hajtómű hatásfok-növekedése nagy jelentőségű, hiszen a lehetséges 10%-ot is meghaladó javulás ugyanilyen mértékben növeli a hatótávolságot.

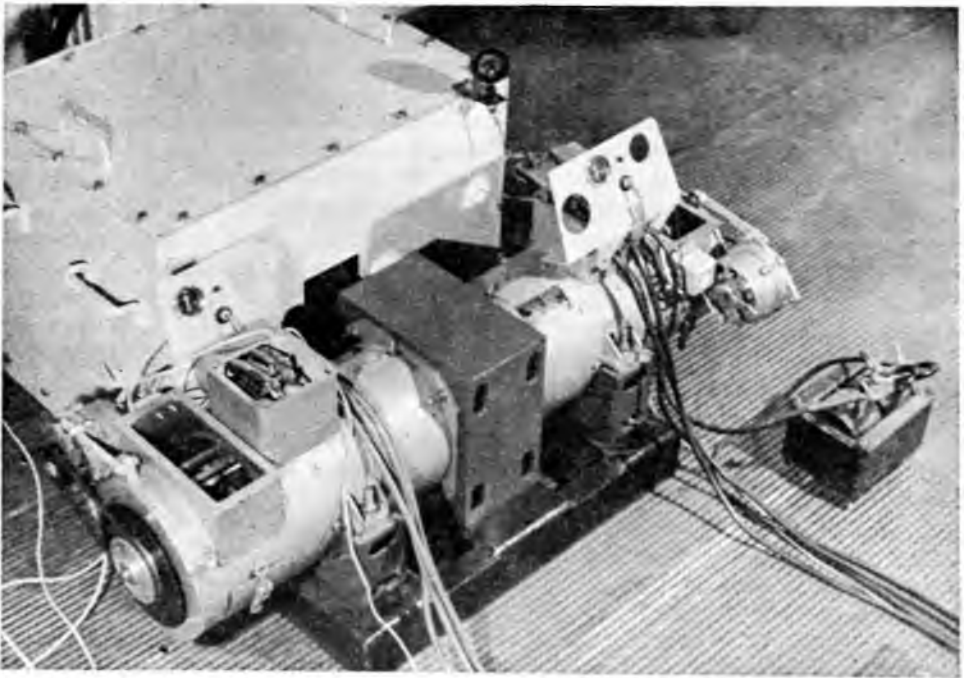
Megemlítjük még, hogy a mechanikus oldalon történő hajtásszabályozással kapcsolatban is jelentős kísérletek folynak. Ezeknél a megoldásoknál hidraulikus nyomatékvtót alkalmaznak, és mint jeleztük, villamos oldalon az áramforrás soros—párhuzamos kapcsolását használják szabályozásra együttesen [23], [24]. Egyes országokban, ahol az autóipar fejlett és a hidraulikus nyomatékátalakító sorozatgyártási termék, gazdaságos lehet az ilyen hajtásszabályozó. A hidraulikus nyomatékvtó hatásfoka — mérések szerint — 1...2%-kal jobb, mint a hagyományos hajtóműé [24].

3. A hazai továbbfejlesztés lehetőségei

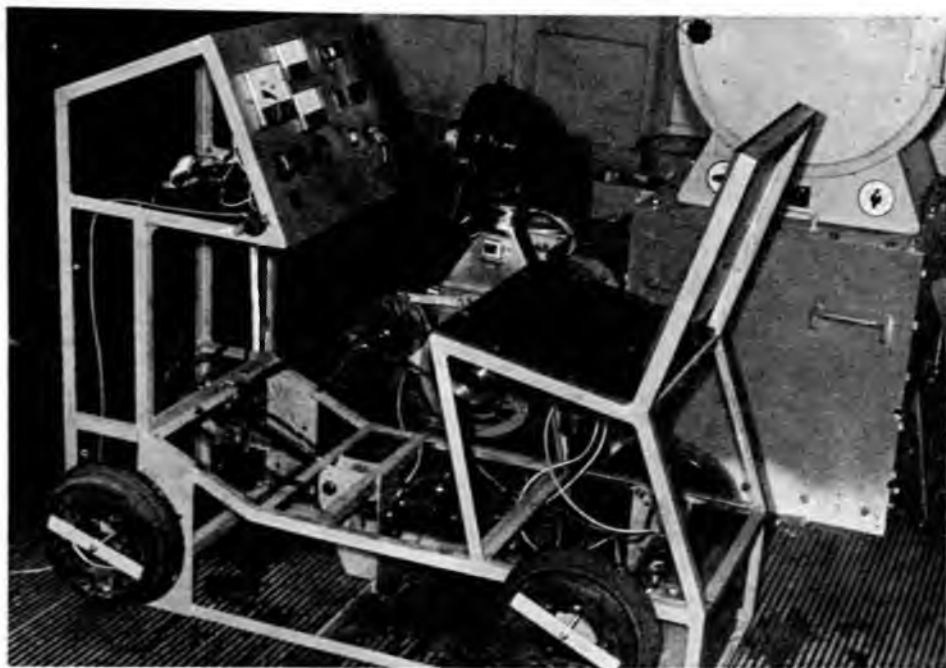
Mint már jeleztük, korábbi eredményeinkről részletesen beszámoltunk cikkek, előadások formájában. Ezen a helyen az eddigi gyakorlat folytatásaként a tárgyalási mód szempontjából érdekes eredményeket emeljük ki.

Középteljesítményű villamos közúti járművek fejlesztése területén elért eredményeinkre rányomta a bélyegét az a tény, hogy robbanómotoros járműveket elektrifikáltunk. Ennek elsősorban gazdasági oka volt, másodsorban pedig az, hogy a hazai autópártól nem kaptuk meg a megfelelő támogatást új járműkonstrukció létrehozásához. Az elektrifikálásra kiválasztott Barkas konstrukciója behatárolta fejlesztési lehetőségeinket. Így pl. a radiál szerkezetű SR 185 × 14-es gumiabroncsok és keréktárcsák alkalmazása az eredeti 6,70 × 13-as diagonál abroncsok helyett ki is merítette azokat a lehetőségeket, amelyet az előző fejezetben a mechanikus szerkezetek javításával történő hatótávolság növelésére javasoltunk. Pedig célszerű volna az ideális áttételt jobban megközelítő és jobb hatásfokot biztosító mechanikus hajtómű létrehozása.

A fejlesztési koncepció szerint az egyszerűség volt a döntő szempont, így kézenfekvő volt a soros egyenáramú motor választása. Hazai nagyvállalatunk az EVIG ezzel összefüggő igényünket — az eddigi többéves futópróbák és mérések alapján kijelenthetjük — kiválóan teljesítette az EH 140 L4 PA típusú soros motor kifejlesztésével. Első lépésben fix frekvencián (kb. 200 Hz) 8...92% tartományú kivezérlést biztosító szabályozást készítettünk. A szabályozó hatásfoka maximális kitöltés mellett 85% volt. A következő fejlesztési lépcsőt az üzembiztonságot, manőverező képességet, valamint hatásfokot növelő csúszófrekvenciás szabályozás kifejlesztése jelentette. Ez a vezérlési rendszer gyakorlatilag 0...100% tartományban lehetővé tette a folya-



10-1. ábra. Középteljesítményű villamos jármű laboratóriumi próbapadja



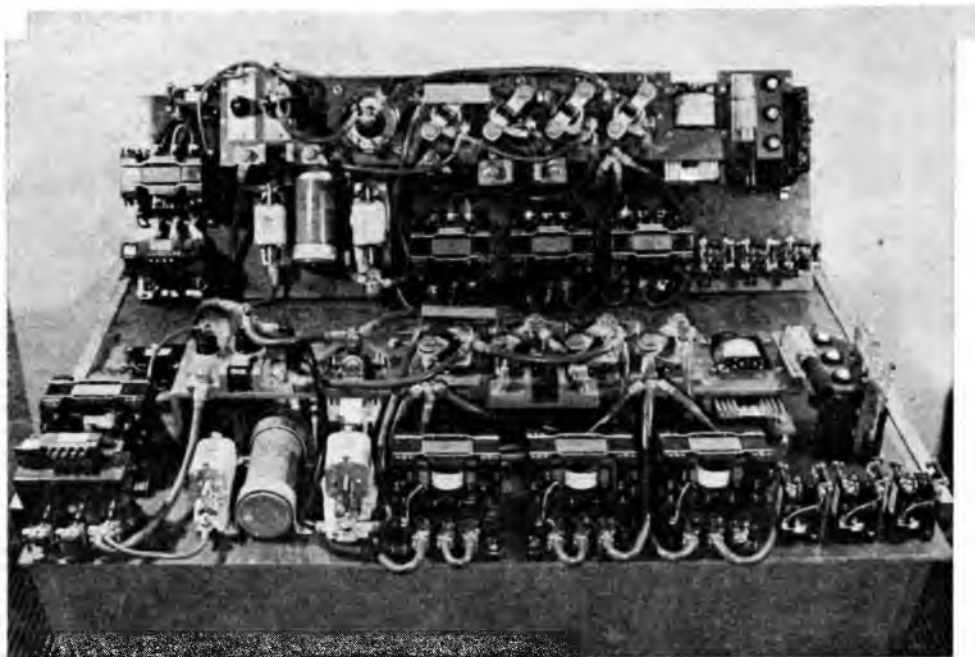
10-2. ábra. Laboratóriumi próbapad kezelőpultja

matos szabályozást és teljes kitöltés mellett kb. 95%-os hatásfok elérését. Itt azonban hangsúlyozni kell, hogy ezek a hatásfokértékek erősen munkapontfüggők és az állandó veszteségi hányad miatt részleges kivezérélnél romlanak.

Az új vezérlés alkalmazásával — azonos mechanikus áttétel mellett — a jármű végsebessége 55 km/h-ról 63 km/h-ra növekedett. A jármű álló helyzetből sík úton 50 km/h sebességre történő felgyorsulás ideje pedig 29 s-ról 18 s-ra csökkent. A hatótávolság maximális sebességnél kb. 10%-kal növekedett, és miután a maximális sebesség is növekedett, a jármű teljesítménye jelentősen nőtt azonos energiafelhasználás mellett. Méréseink szerint a jármű fajlagos energia felhasználása 107 Wh/tkm 60 km/h sebesség mellett. Mint ismeretes, fejlettebb nyugati országokban kifejlesztett járművek fajlagos energia felhasználása is 100 Wh/tkm körül van.

Kísérleteink során 60 km/h átlagsebesség mellett 79 km-t és 40 km/h mellett 91,5 km-t tudott a jármű egy feltöltéssel teljesíteni. Ez azt jelentette, hogy savas ólomakkumulátorral rendelkező hazai villamos jármű közepes távolságokra fekvő városok közötti közlekedésre is használható. (Ennek igazolására egyébként több alkalommal elmentünk Budapestről Visegrádra a járművel és a Silvanus Hotelhoz felvezető me-redek útszakaszt is kényelmesen teljesítette.)

A következő fejlesztési lépcső a visszatápláló fékezés alkalmazása. A fejlesztéshez szükségessé vált a közép teljesítményű villamos jármű teljes villamos hajtásának tényleges üzemi viszonyok melletti szimulálása laboratóriumi körülmények között. Erre a célra kifejlesztettünk egy próbapadot (10-1. ábra). A próbapad egy motor-generátor egységből és a hozzá csatlakozó lendítőtömegeből áll. Ugyancsak a visszatáplálás tényleges viszonyainak leképezéséhez szükségessé vált a próbapadhoz csatlakozó kezelőpult létrehozása, amely a 10-2. ábrán látható. A kezelőpult megfelel a jármű ve-



10-3. ábra. Visszatápláló fékezést biztosító hajtásszabályozók

zetőfülkéjében levő kezelőszerveknek és műszereknek. Szükséges volt továbbá a teljes hidraulikus fékberendezés szimulálása — amely szintén a kezelőpultba került felszerelésre — a villamos és hidraulikus üzemi fék szinkronizálása érdekében. Ezen berendezések segítségével végeztük el az új visszatápláló fékezést biztosító hajtás kipróbálását. Ez a hajtásszabályozó, amelynek fényképe a 10-3. ábrán látható, 1978. év végén került járműbe beépítésre.

Szándékosan kevés szót ejtettünk eddig az energiatárolóról, amely a villamos jármű egyik legfontosabb és ma is legproblematikusabb része. Ezzel a kérdéssel részletesen e helyen is megjelent cikkek foglalkoznak. Üzemeltetői és saját tapasztalatunk felhasználásával közös fejlesztési eredményként születtek a PKJ-VKI járműüzemre tervezett, könnyített házas akkumulátorkonstrukciók, amelyeket járműveinkben alkalmaztunk. Gazdasági megfontolásokat szem előtt tartva úgy tűnik, a közeljövőben is az ólomakkumulátor jelenti az egyedüli széleskörű megoldást. Ennek ellenére vizsgálatot folytattunk különböző áramforrásokkal, többek között Ni—Cd telepekkel is, amelyeknek rendkívül kedvező terhelési tulajdonságai hegyvidéki és start-stop üzemben jelentettek előnyt, a kb. 15-szörös ár miatt azonban csak igen speciális körülmények között lehet használatuk indokolt az ólomakkumulátor helyett. A hatótávolság növelése energiatároló oldalról nézve a fedélzeten tárolt energia növelésével lehetséges. Ennek egyik racionális módja az ólomakkumulátorok fajlagos energia sűrűségének növelése, amely elvileg (a gyakorlati szempontokat figyelembe véve) a jelenlegi 25...30 Wh/kg-ról 60...70 Wh/kg-ra emelhető [22]. Addig, amíg széles körben ezen akkumulátorok beszerzése nem lehetséges, viszont a felhasználói igények indokolják, célszerűnek mutatkozik az akkumulátor súlyviszonyának növelése a jármű összsúlyának 30%-ára az eddigi átlag 25%-kal szemben [21]. A kísérletek le-

folytatására az 1978. év végéig beérkezett Varta System Battery áramforrások nyújtó-
lehetőséget.

A továbbfejlesztés szempontjából, mint már jeleztük, további lehetőséget rejt
magában a külső gerjesztéses motor és az ehhez csatlakozó szabályozó. A teljes hajtás
kialakításához a kezdeti lépéseket megtettük. Az eddigi üzemeltetőkkel és a leendő fel-
használókkal, valamint hatósági szervekkel 1978. októberében lefolytatott helyzet-
elemző és fejlesztési irányt kijelölő ülés alapján új konstrukciójú jármű tervezése
szükséges. A felhasználó igényét figyelembe véve 1 t hasznos terhelhetőségű — és az
általános részben vázolt elektrifikálás hátrányait kiküszöbölő — új konstrukció
létrehozása szükséges, amellyel kapcsolatban a hazai autóiipar hatékony közreműkö-
désére számítunk.

Irodalom

- [1] *Kurti, N.*: Introductory conference on the transport and storage of energy. Energy 77. conf. 13. june. Paris, előadás.
- [2] The economic use of electric road vehicles in a changing environment. EVDG. 2. Int. Conferenc 23. 24. May 1978. Sheffield.
- [3] *Pálfy M.*: Kis- és középjeljesítményű közúti villamos járművek. VKI 25 éves jubileumi tudományos ülészak előadás. 1974. okt. 28–30.
- [4] *Kerényi I.*—*Kósa J.*—*Balogh I.*: Villamos járművek fejlesztése Magyarországon. Autó Motor 1975. IX. 8.
- [5] *Pálfy M.*—*Kerényi I.*: Kis- és középjeljesítményű villamos járművek. Technika 1976. december.
- [6] *Pálfy M.*—*Kerényi I.*: Önálló energiaforrással rendelkező kis- és középjeljesítményű villamos közúti járművek. VKI Közleményei 6. 1977. p. 123–138.
- [7] *Pálfy M.*—*Kerényi I.*: Önálló energiaforrással rendelkező kis- és középjeljesítményű villamos járművek. V. Nemzetközi Autóvillamosági Szimp. 1977. október, előadás és publikáció. p. 1/1–1/6.
- [8] *Pálfy M.*—*Kerényi I.*: Kis- és középjeljesítményű villamos járművek fejlesztési kérdései. KGST Megh. Tanácsa szakértői értekezet, előadás. 1978. ápr.
- [9] *Pálfy M.*: A tiszta vízijármű. Technika 1976. szept.
- [10] *Balogh I.*—*Benedek M.*—*Pataki E.*: Kis- és középjeljesítményű villamos járművek fejlesztési kérdései. VKI Közl. 5. 1974. 321–337.
- [11] *Dr. Mocsáry J.*—*Kiss M.*—*Molnár I.*—*Horváth P.*: Nem kötőtpályás villamos közúti járművek nemzetközi fejlesztési irányai. VKI Közl. 6. 1977. pl. 99–110.
- [12] Elektrische Angetriebene Kraftfahrzeuge. GES kiadvány 1973. aug. p. 1–109.
- [13] BSZV Budapest belvárosának áruszállítási koncepciójának vázolata. 1975. p. 1–50.
- [14] *Walz, A.*: Beitrag zur Theorie des Elektromobils. ETZ-A Bd. 94. 1973. H. 11. p. 622–631.
- [15] *Görlach, U.*: Zusammenhang zwischen Wirkungsgrad und Reichweite von Elektrofahrzeugen. ETZ-A. Bd. 94. 1973. H.11 p. 632–636.
- [16] *Bader, C.*—*Plust, H.*: Elektrische Antriebe für Strassen-Fahrzeuge, Entwicklungsstand und aktuelle Probleme. ETZ-A. Bd. 94. 1973. H.11. p. 637–645.
- [17] *Keizer, C. P.*: An electric Propulsion System for a town and City Bus Int. Conf. on Electr. Vehicle Dev. 31 st. May-1 st june 1977. p. 91–92.
- [18] *Gerstberger*: Abschlussbericht zur NV 1–9/R-B 1000 mit 3000 kg Gesamtmasse. 1975. júl. p. 1–12.
- [19] *KÖTUKI*: Elektromos meghajtású gépjárművek közlekedésbiztonsági, műszaki, munkavédelmi követelményei. 1975. p. 1–19.
- [20] *Kahlen, H.*: Vergleichende Messungen an verschiedenen Elektroantrieben für einen Versuchspersonenkraftwagen. ETZ-A. Bd. 94 (1973) H.11. p. 646–652.
- [21] *Harding, G. G.*: High performance electric commercial vehicles for City Use. Automative eng. Congress and exposition. Detroit. 1976. febr.
- [22] MITI project. Research and development electric vehicles in Japan. SAE of Japan, 1977.
- [23] *Griffith, J. T.*: Performance of an electric van fitted with a Hydrodynamic torque converter transmission. E.V.S. Düsseldorf 1976. 212. 2 (E).
- [24] *Ratcliff, J. E.*: Torque converters make electric vehicles competitive. E.V.S. Düsseldorf 1976. 212. 2. (E).

A VILLAMOS ENERGIA KÖZVETLEN ELŐÁLLÍTÁSA

11.

A cink elektrokémiájának néhány problémája

HORVÁTH PÁL

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerző gyakorlati szempontokból elemzi a cinket, mint a korszerű kémiai áramforrások elektrokémiailag aktív anyagát.

Bemutatja azokat az elvi problémákat, amelyek a nagyenergiásűrűségű áramforrás számára alkalmasnak mutakozó cink gyakorlati elterjedését korlátozzák, illetve lassítják. Néhány olyan kísérleti megoldást ismertet, amely a kielégítően hosszú élettartamú cinkanódú áramforrás lehetséges kiviteli formájának alapjául szolgál.

Elemzi annak okait, hogy miért tekintik a cinket tartalmazó áramforrásokat a villamos járműhajtás egyik lehetséges erőforrásának.

Végezetül a szerző néhány, a Villamosipari Kutató Intézetben folyó úttörő jellegű munkáról számol be.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОХИМИИ ЦИНКА

П. Хорват

Резюме

Автором анализируется цинк с практической точки зрения, как электрохимически активное вещество современных источников тока.

Представляются принципиальные проблемы, ограничивающие или замедляющие практическое распространение цинка, хотя он по видимому может использован для применения в химическом источнике тока с большой плотностью энергии. Излагаются некоторые опытные решения, которые служат основой для создания возможной формы реализации источника тока с достаточно большим ресурсом цинкового анода.

Анализируются причины принятия источников тока с содержащих цинка, как одного из возможных источников энергии привода электротранспортных средств.

В конце статьи излагаются некоторые передовые работы, проводимые в ВКИ.

EINIGE ELEKTROCHEMISCHE PROBLEME DES ZINKES

P. Horváth

Zusammenfassung

Der Verfasser analysiert aus praktischem Standpunkt das Zink als elektrochemisch aktiven Stoff der zeitgemässen chemischen Stromquellen. Er stellt die Grundprobleme vor die praktische Verbreitung des Zinkes, das sich für die Stromquelle grosser Energiedichte für geeignet gehalten wird, begrenzen, bzw. verlangsamen. Einige Versuchslösungen werden dargelegt, die der möglichen Ausführungsform der Zinkanodenspeisung befreidend langer Lebensdauer zugrunde liegen

Er befasst sich mit den Gründen, warum die zinkhaltigen Stromquellen für eine mögliche Kraftquelle des elektrischen Fahrzeugantriebes gehalten werden.

Schliesslich berichtet der Verfasser über einige, im Forschungsinstitut der Elektroindustrie verlaufende bahnbrechende Arbeiten.

SOME PROBLEMS OF THE ELECTROCHEMISTRY OF THE ZINC

By P. Horváth

Summary

The author analyses the zinc practically as an electrochemically active material of the up-to-date chemical power sources.

He introduces the principal problems which restrict and retard the practical spreading of the zinc proving suitable for the power source of high energy density. He deals with some experimental solutions which form the basis of the possible construction form in the zinc anode power source of long life.

He analyses the reasons why the power sources containing zinc are considered as one of the possible energy sources in the field of the electrical vehicle.

In the end the author gives a survey of the pioneering activity proceeding in the Research Institute of the Electrical Industry.

1. Bevezetés

A cink elektrokémia szempontból kiváló tulajdonságú elektródanyag a villamos energia termelésére vagy tárolására szolgáló, lúgos elektrolitú elektrokémiai áramforrásokban. Ennek oka a cink viszonylag alacsony, 32,7 g grammegyenérték-tömege, ami azt jelenti, hogy a kétvegyértékű Zn elektrokémiai oldásakor 1 Ah töltés termelése 1,22 g cink felhasználásával jár.

Ezen kívül lúgos közegben megfelelő adalékok jelenlétében a cink stabil marad, azaz spontán (kémiai) oldódásának sebessége elhanyagolhatóan alacsony értékűre csökkenthető. Erre azért van szükség, mert a Zn a hidrogénelektrodnál azonos körülmények közt (erősen lúgos elektrolitban) hozzávetőlegesen 400 mV-tal negatívabb reverzibilis elektródpotenciál-értéket vesz fel. Ez pedig természetes körülmények közt azt jelenti, hogy a cinkelektrod potenciálján a víz elemeire bomlik. E folyamat gátolható hatékonyan a hidrogénleválási túlfeszültséget növelő adalékanyagok (pl. higany, indium stb.) jelenlétében.

A cinkelektrodnak hidrogénelektrodnál negatívabb elektródpotenciál-értéke egyben azt is jelenti, hogy megfelelően választott jellemző katód-pár esetén magas energiasűrűségű rendszer építése lehetséges. Ebből a célból a hagyományosnak tekinthető cink—ezüst, cink—nikkel mellett az újabban vizsgált elem-párok közül néhányat a jellemző paraméterekkel együtt összefoglalunk a 11-1. táblázatban.

Pusztán összehasonlításként az első sorban megadjuk a savas ólomakkumulátor értékeit is. A táblázat adatai egyértelműen igazolják azokat a törekvéseket, amelyek célja új elektrokémiai rendszerek kidolgozása. Számos felhasználási területen ugyanis nagyon fontos követelmény a magas fajlagos energiájú villamos energiaszolgáltató rendszerek alkalmazhatósága. Elegendő a hordozható készülékek egyre növekvő számát tekinteni, vagy a közúti közlekedés számos aggasztó problémájára gondolni (környezetszennyezés, zajártalom stb.), melyek megoldásának egyik reális alternatívája a villamos hajtású járművek kifejlesztése.

A leginkább kidolgozott elem-pár az előzőek közül a legutolsó sorban található Zn—O₂ rendszer. A Zn-halogen elemeket semleges, vagy enyhén savas elektrolitban

11-1. táblázat

Elemrendszerek elektrokémiai jellemzői

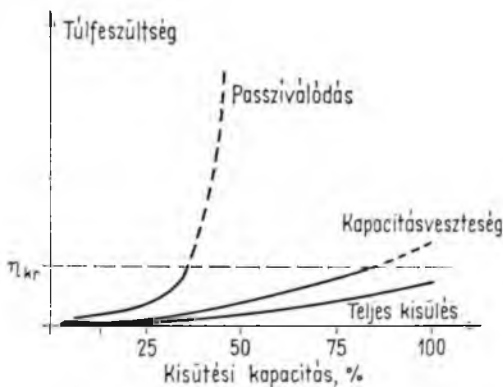
Elemrendszer	Elektrokémiai ekvivalens értékek, g/Ah	Elméleti feszültség, V	Elméleti energiasűrűség, Wh/kg
Pb/PbO ₂	Pb PbO ₂	3,87 4,46	2,04 171
Zn/NiOOH	Zn NiOOH	1,22 3,42	1,73 326
Zn/AgO	Zn AgO	1,22 2,31	1,81 434
Zn/Br ₂	Zn Br ₂	1,22 2,98	1,82 430
Zn/Cl ₂	Zn Cl ₂	1,22 1,32	2,12 834
Zn/F ₂	Zn F ₂	1,22 0,71	3,61 1870
Zn/O ₂	Zn O ₂	1,22 0,33	1,64 1087

lehet leginkább megvalósítani. Ez utóbbi esetekben azonban vagy reakcióképességi, vagy korróziós problémák jelentősen korlátozzák a konkrét típus kivitelezhetőségét, illetve alkalmazhatóságát. Ezért jelen közleményünkben erősen lúgos elektrolitokban üzemelő cinkelektrodok számos olyan elektrokémiai problémáját tekintjük át, amelyek az utóbbi évek vizsgálatának homlokterében álltak és ezek fokozatos megoldása a lúgos elektrolitú Zn-rendszerek közül mind a hagyományos, mind az új típusok előállításában és alkalmazhatóságában új perspektívákat nyitnak.

Nagyon sok kutató foglalkozott a Zn-elektrodnak lúgos elektrolitban megfigyelhető reakciómechanizmusával és e munkák eredményeként ma már nagyjában azonosak a vélemények e reakciómechanizmus mibenlétét illetően, továbbá abban is, hogy miképpen lehet ezeket módosítani a gyakorlati igényeknek megfelelően. E rendszerek tulajdonságai közül számos szerző foglalkozott az alkalmazható szeparátoranyagokkal (ennek szükségességét és fontosságát később elemezzük). Szerves és szervetlen műanyagokat, természetes anyagokat is vizsgáltak és ezek alapján lényeges javulást sikerült elérni az áramforrások tulajdonságaiban.

A legutóbbi évekig eléggé kevés figyelmet szenteltek az ilyen elemek egyik leglényegesebb komponensének, az elektrolitnak a tanulmányozására. Ez kevésbé érthető, mivel már a Zn-elektrod folyamatainak tanulmányozása során felismert jelenségek felhívták a Zn-elektrolit rendszer együttes tanulmányozásának fontosságára a figyelmet. A probléma megvilágítására idézzük az alapvető kísérleti tapasztalatokat.

Tömör, sík felületű Zn-elektrodot anódosan polarizálunk (kisütjük) j áramsűrűséggel, miközben az η polarizációs potenciált regisztráljuk. A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy különböző j áramsűrűségek esetén az η polarizáció értéke időben folyamatosan változik (esetenként állandó j értékek mellett), azonban egy jól megha-



11-1. ábra. Zn-elektrod jellemző polarizációs viszonyai különböző áramsűrűségek esetében

épített fémelektrod energiataralmát a legnagyobb mértékben ki tudjuk használni. E célból a konkrét rendszerekben végbemenő reakciókat számba kell venni. Általában az a legfőbb probléma, hogy miként lehet a fémek felületén a kisütés során képződő oxidációs termékek gátló hatását megszüntetni. Lúgos közegben a Zn-elektrodon végbemenő elektrokémiai reakciók:



ahol a Zn(II) az elektrolitban a cinket tartalmazó jellemző ionfajta jelenti. Ezt általában Zn(OH)_4^{2-} alakú ún. cinkátionnak képzelik el, bár más forma is lehetséges. Jelen esetben teljesen érdektelenek a konkrét reakciómechanizmus különböző lépései, lényeg a kétértékű ionfajta képződése. Tömör cink lúgos közegben csak addig tud üzemelni, míg a főlegesen levő lúgos elektrolit a kisütés termékeit oldani tudja. A kisütés termékeként képződő Zn(II) ionokat a diffúzió a

$$j_{kr} = j - k\tau_p^{-1/2} \quad (2)$$

összefüggéssel megadható j_{kr} áramsűrűség-értéknél kisebb áramok esetén mindaddig el tudja szállítani a felületről, amíg az oldat alapvető tulajdonságai a felület közvetlen környezetében meg nem változnak. A 11-1. ábra η_{kr} polarizációja megfelel a $j < j_{kr}$ áramsűrűségű polarizációs folyamat aszimptótájának.

A kritikus értéknél nagyobb áramsűrűség esetén bizonyos τ_p idő elteltével a cinkelektrod potenciálja hirtelen megnövekszik, jelezvén, hogy a felület nem oldódó reakciótermék-filmmel fedetté vált. A kritikus áramsűrűségnél kisebb kisütőáram-értékek esetében az *elektrolit tömege* határozza meg a folyamat határát, ez az érték általában 1...12 N KOH, illetve NaOH esetében a gyakorlatban $10^{-2} \text{ Ah} \cdot \text{ml}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ szobahőmérsékleten.

A cinkelektrod kinetikai jellemzői közül két fontos tulajdonságra célszerű felhívni a figyelmet. Az egyik a Zn(II) ionfajta már említett relatíve magas oldékonysága. Az oldékonyság értéke más mértékegységben kifejezve 1...2 mol/l, a Zn-tartalomra nézve, szemben pl. az ólomakkumulátorban képződő ionok 10^{-8} mol/l értékével. Az (1) reakciót jellemző cseleáram-sűrűség „friss” elektrod felület esetén $0,1 \text{ A/cm}^2$ körüli érték a szokásos körülmények közt (3...10 N KOH-ban). E másik fontos ki-

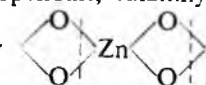
tározott kritikus értéket túllépve, viszonylag hamar bekövetkezik a Zn-elektrod felületének irreverzibilis polarizációja. Lényegében tehát három áramsűrűség-tartomány különböztethető meg, ahogy ezt a 11-1. ábrán bemutatjuk. A megfelelő értékek függnek az elektrolit koncentrációjától, hőmérsékletétől és az elektrod—elektrolit felületének térbeli elhelyezkedésétől (függőleges, vízszintes stb.).

E kísérleti eredmények a gyakorlat szempontjából az alábbiak szerint fogalmazhatók meg. Áramforrás építése esetén a gyakorlati követelmény az, hogy az elembe be-

netikai paraméter jelzi, hogy az (1) reakcióban a *töltéscsere nagyon gyors*. Ahogy azonban a folyamat időben előrehalad, úgy más kinetikai folyamat határozza meg a Zn anódos oldásának tulajdonságait (11-1. ábra). Mindezek a körülmények indokoltá tesszik az elektrolit szerepének részletesebb elemzését (megjegyezzük, hogy ennek fontosságára a legújabb szakirodalmi publikációk is felhívják a figyelmet).

2. Az elektrolit szerepe

A Zn-elektrod anódos oldása közben az (1) reakció szerint képződő Zn(II) ionfajtát leggyakrabban $Zn(OH)_4^{2-}$ alakban képzelik el. Egyes vizsgálatok — mint már említettük — más ionforma képződésének a lehetőségét vetik fel. Például a Zn(II) lehet elektrolitban szuszpendált, valamilyen kolloid alak is. Nem zárható ki annak a lehetősége sem, hogy

 polimer alakú ionfajták képződnek. Látni fogjuk, hogy a Zn(II) ionfajtát tartalmazó lúgos elektrolit anomális vezetőképességi viselkedésének kialakításában mindezeknek fontos szerepe van.

Az eddig elmondottakból nyilvánvaló, hogy az elektrolit bizonyos *puffer*, vagy pontosabban fogalmazva *tartályszerepet* tölt be, miközben a Zn(II) ion képződéséhez *a szükséges OH^- ionokat szolgáltatja*. Ezt az alkalmazott lúgos oldat biztosítja. Az oldat választható koncentrációját számos körülmény határozza meg, ezek közül csak néhányat említünk: a választott jellemző katód folyamat kinetikája (pl. AgO elektrod, levegőoxigén elektrod stb.), optimális ohmos feszültségesés az elektrolitban, tervezett üzemi hőmérséklet-tartomány stb. Gyakorlati körülmények közt nem lehetséges 4...10 N KOH tartománytól eltérő elektrolit használata. (Mindjárt felhívjuk a figyelmet arra is, hogy cinket tartalmazó áramforrásokban szinte kivétel nélkül KOH-t használnak, holott kielégítő lenne *a gazdasági szempontból* megfelelőbb NaOH használata is — ugyanis csak minimálisan alacsonyabb a vezetőképessége. Egyéb, elvi okok nincsenek, ami az NaOH használata ellen szólna.)

Például katódként levegőelektrodot használva, ezen az ún. négyelektronos Berlfolyamatot feltételezve érvényesnek, a levegő oxigénjének katódos oldásakor, 1 Faraday töltésenként 1 mol OH^- ion képződik a katódon, miközben a Zn-elektrodon az elektrod folyamat a $Zn(OH)_4^{2-}$ ionos alak képződésével 2 mol OH^- iont fogyaszt. A következmény: az oldatban a hidroxilionok koncentrációja a katódos folyamat során fellépő növekményhez képest az anódos folyamat során kétszeresen csökken. Tehát az elektrolitban a koncentrációgradiens kialakulásával egyidőben a hidroxilionok koncentrációja abszolút értékben is csökken. Ez a folyamat megfigyelhető pl. az ólomakkumulátorban is üzem közben azzal az eltéréssel, hogy abban a kisütés termékeinek számottevő koncentrációja nem alakul ki; másként fogalmazva az ólomakkumulátorban heterogén folyamat megy végbe, míg a lúgos elektrolitú Zn-elektrodos áramforrásokban homogén térfogati reakcióval is számolnunk kell.

Ez utóbbi megállapításunk mutat rá az elektrolit másik szerepére is: az elektrolit *az anódos folyamat termékeit tárolja*, illetve a katódos folyamathoz szolgáltatja a szükséges Zn(II) iont. Ha azonban az elektrolit az anódos folyamat során a Zn(II) ionra nézve telítődik, akkor a tapasztalat azt mutatja, hogy ZnO-precipitáció következik be vagy az elektrod felületén vagy az oldatban. Ez a körülmény magyarázza, hogy nagyon sok tanulmány foglalkozik a ZnO oldékonyságának a mérésével. Azonnal hangsúlyozni kell, hogy Zn(II) iont sokféleképpen lehet lúgos oldatba vinni. A telítési értékek ennek megfelelően különbözőek lesznek. Ha pl. ZnO-ot kívánunk oldatba

vinni (forró KOH-ban tartós kezeléssel), az oldékonyság értékei megegyeznek a 11-2. táblázat adataival. A táblázatban összehasonlításként NaOH- oldatra is megadjuk az adatokat.

11-2. táblázat

ZnO oldékonysága KOH- és NaOH-oldatban, szobahőmérsékleten

Az oldat lúgkoncentrációja, M	NaOH ZnO oldékonysága, mol/l	KOH
3	0,35	0,25
4	0,65	0,40
5	1,00	0,60
6	1,35	0,75
7	1,75	1,00
8	2,20	1,30
9	2,80	1,65

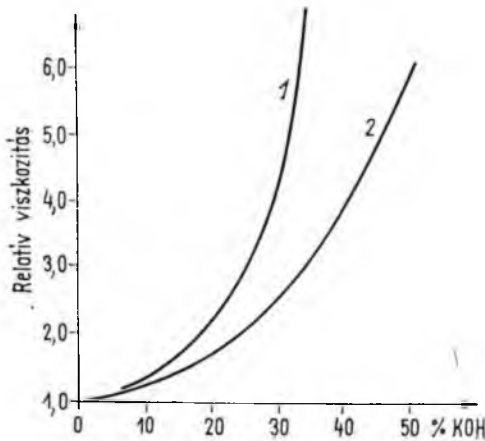
A Zn (I) reakció szerinti anódos oldása (kisütése) során a Zn(II) ionfajta az (I) reakcióra jellemző elemi elektrokémiai lépések eredményeként jut az oldatba. Ez szükségszerűen más folyamat, mint az egyszerű oldás.

Ebben az esetben a táblázatban szereplő oldhatósági értékeknél nagyobb mennyiséget is képes „abszorbeálni” az oldat. Ezt az érdekes jelenséget *túltelített cinkátos oldatok* képződésének lehetőségeként ismerik. Az ilyen túltelített oldatok Zn(II) tartalma — ami kétszerese is lehet a 11-2. táblázatban látható adatoknak — nem rögzített, hanem stacionárius érték, ami az anódos folyamatban alkalmazott áramsűrűségtől függ. Az ilyen oldatok nem stabilak, hanem szabad állapotban fokozatosan bomlanak, alacsonyabb Zn(II) tartalmú oldat képződik, miközben a ZnO precipitálódik. Hosszú idejű állás alatt (laboratóriumi megfigyelések szerint hetes vagy hónapos nagyságrendben) az ilyen oldat a 11-2. táblázat szerinti egyensúlyi Zn(II) koncentrációt közelíti meg.

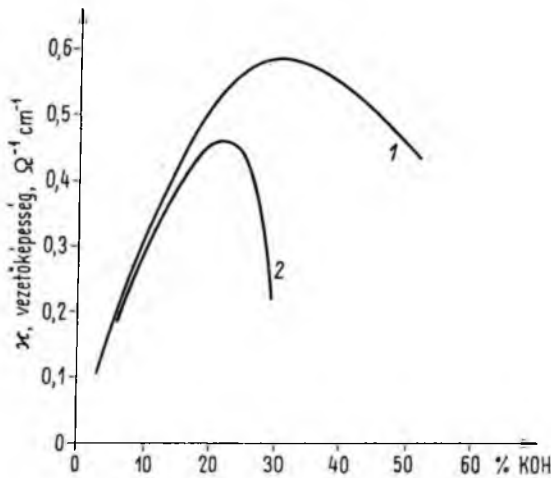
A Zn anódos folyamata során a ZnO precipitációja szokásos körülmények közt hamar bekövetkezik. Elméleti megfontolásokból is következik, hiszen a 11-2. táblázat alapján 7 n KOH elektrolit 1 l mennyisége mellett 1 molnyi Zn(II) oldatba vitele, tehát 54 Ah kisütése után ez már várhatóan bekövetkezik. A tömör, sík cinkelektrod alkalmazását ezért kell kerülni. Pórusos cinkelektrodok alkalmazása során konstrukciós okokból ZnO a reakció „primer” terméke, úi. ilyen esetekben 54 Ah töltés mennyiségére max. 100 ml KOH-t választanak (ezt is előzetesen cinkátra telített formában). Ezzel kívánják biztosítani a cinkelektrod szerkezetének, alakjának, stb. változatlanóságát a működés során.

Az elektrolit további szerepe cinkelektrodot tartalmazó rendszerekben a *reakciópartnerek transzportjának* fenntartása. Az ez irányú vizsgálatokból egyértelműen megállapítható, hogy a gyakorlati áramforrásokban ez a számottevő korlátozó tényező. Ismeretes, hogy „homogén” folyadékban levő idegen részecske áramlási ellenállását a Stokes-féle törvény írja le. Ez, hidrátburokkal rendelkező ionok esetében is jó közelítéssel igaz. Az illető ion diffúziós együtthatója pedig az Einstein-féle $D = \frac{kT}{f_s}$

kifejezéssel adható meg, ahol f_s a hidrodinamikai súrlódási ellenállás (Stokes-féle erő). Mivel a súrlódási ellenállás arányos a viszkozitási együtthatóval (az oldat egyetlen



11-2. ábra. KOH oldatok relatív viszkozitása 25°-on
1 KOH oldat; 2 Zn(II) ionfajttákkal túltelített oldat



11-3. ábra. KOH oldatok vezetőképessége 25°-on
1 Zn(II) ionfajttákkal túltelített oldat 2; KOH oldat

szerepet játszó fizikai tulajdonsága), ennek változását célszerű vizsgálni. Zn(II) iont tartalmazó KOH-oldatok relatív viszkozitásadatait a 11-2. ábrán mutatjuk meg.

A viszkozitás drasztikus növekedése önmagában is utal arra, hogy az elektrolit vezetőképessége a Zn(II) ionfajta koncentrációjának növekedésével csökken. Ezt mutatjuk meg a 11-3. ábrán vizes KOH elektrolit esetében. Az ábrán a tiszta elektrolit és Zn(II) ionfajttával elektrokémiaailag túltelített elektrolit vezetőképessége látható. A 11-2. ábra adataival összehasonlítva egyértelműen a részecsketranszport sebességének csökkenése (pontosabban a súrlódási ellenállás viszkozitás növekedéséből adódó növekedése) jut kifejezésre. Természetesen ebben szerepet játszhat, bár kisebb mértékben az is, hogy nagy mozgékonyaságú OH^- ionok száma is lecsökken az elektrolitban.

Az előzőekben vázolt jelenségek miatt a gyakorlatban arra törekednek, hogy bár a Zn-elektrodon a töltéscsere gyors, mégis tartós, nagy áramsűrűségű üzemmódra tervezett áramforrásokban a Zn-elektrodot pórusos szerkezetűnek építik. Ez a konstrukciós módszer egyben azt is lehetővé teszi, hogy a pórusokban megtapadó elektrolit minimális mennyiségét kivéve, az áramforrás elektrolitfogatát — megőrzendő a Zn(II) ionfajta számára nem túltelített elektrolit számos kedvező tulajdonságát — a Zn(II) ionra át nem járható *szeparációval* leválasszák. Ez magyarázza a szeparátorkutatás nagyon fontos szerepét.

A szeparátornak ezenkívül még egyéb, hasonlóan fontos szerepe is van. Ezek közül a legfontosabbakat felsoroljuk:

- Szeparátor beépítése lehetővé teszi a szomszédos pozitív és negatív elektrodok közti távolság csökkentését (vezetőképességi szempont). A lehetőség szerinti minimális távolságot úgy kell biztosítani, hogy közben elektromos vezető anyagok ne kerülhessenek a két elektrod közé; ez triviális követelmény.
- A cinkelektrod töltése közben az oldott Zn(II) ionfajtákból a Zn leválasztása térben nem szabályozott. Így a szeparátor feladata, hogy a leváló cink az elektrod geometriai tartományában maradjon.
- Az anódos folyamat során képződő ZnO nagyon voluminózus, nem nagyon kötődik semmilyen felülethez. Így a Zn-elektrod kedvezőtlen alakváltozásainak elkerülésére a szeparátor egyik feladata az aktív anyag eredeti elosztásának fenntartása. Ebből a célból ajánlatos a cinkelektrodba vázképző (pórusos inert anyagok) és kötőanyagokat (polivinil-alkohol vagy inkább politetrafluoretilén szuszpenzió formájában stb.) is alkalmazni.

Szekunder üzemű cinkelektrod

A szekunder üzemű cinkelektrod ciklizálás során bekövetkező romlását a szakirodalom két fő probléma köré csoportosítja: egyik, az elektrod alakjának, struktúrájának változása, a másik, dendritképződés veszélye a töltés közben. A leghatékonyabb *adalékanyagok* két csoportba oszthatók: *kémiai természetűek és vázképző*, inert tulajdonságúak. Az első csoport tipikus képviselője pl. a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ — közismerten oltott mész — alkalmazásával nem oldódó kalciumcinkát képződik. Ezáltal tehát egyrészt csökken az oldat — Zn(II) ionfajta-tartalma — másrészt a reakciótermék a helyén marad. A kétségtelen előnyös hatásmechanizmusának értelmezése tekintetében a szakirodalomban nem egységesek a vélemények.

A vázképzőül előszeretettel alkalmazott PVA-t (polivinil-alkoholok) valószínűleg vízdoldhatósága miatt, elsősorban technológiai okokból használják, mivel így pasztaszerűen kenhető, könnyebben kezelhető az aktív anyag. Ugyanakkor sokkal kedvezőbb tulajdonságú a PTFE szuszpenzió alkalmazásával nyert cinkelektrod.

A dendritképződés fizikai okai az eddig elmondottakból nyilvánvalók. Az elektrolitban oldódó Zn(II) ionfajta nézve a katódos cinkleválasztás során az elektrolit nagyon gyorsan elszegényedik. Ugyanis a cinkelektrodot katódosan polarizálva a Zn(II) ionokat tartalmazó oldatból a cink minimális (néhány tized millivolt!) túlfeszültség hatására leválik, azaz a reakció nagyon gyors, az elektrod—fém—elektrolit teljes határfelületén homogén módon megy végbe. E reakció sokkal gyorsabb, mint az oldatban a diffúzió (a vizsgálatok szerint $1...7 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ a Zn(II) ionfajta diffúziós együtthatója a gyakorlati körülmények közt) vagy migráció folytán a Zn(II) koncentrációjának a kiegyenlítődése, tehát e folyamat elkerülhetetlenül jelentős kon-

centrációgradienst okoz. Ha egy növekvő kristály (kedvező orientáció, stb. folytán) a nagyobb koncentrációjú elektrolittartományba kinő, katasztrofálisan megnövekszik a kristályosodási sebesség, tehát a cink tú formájában megnő (ez a dendrit). Ezután már minden ennek kedvez: a megnövekedett térerősség, a növekvő lokális áramsűrűség, és a nagy Zn(II) koncentráció az elektrolitban.

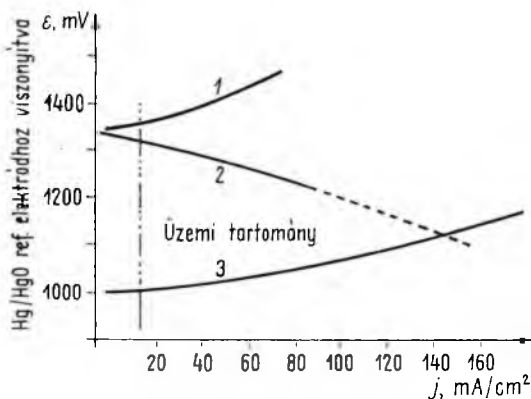
Az elektrokémiai szeparátor a dendrit mérettartományába eső, lyukméretű (kb. 100 μm) vékony háló is lehet. Készítettek már fém-szivacs módjára is ilyen szeparátort. Lényeges tulajdonsága, hogy a fém felületét alkalmas katalizátorral kezelve a Zn potenciáljához képest lényegesen csökkenjen le a hidrogénleválás túlfeszültsége. A 11-4. ábrán 75 μm szálméretű 100 μm lyukméretű, a felületén NiAl ötvözzel bevont nikkelháló katódos polarizációs görbét láthatjuk. A katódos polarizáló áram vizes elektrolitban hidrogén leválasztását jelenti; a folyamatot élénk gázfejlődés kíséri. Az ábrán a töltő üzemi Zn-elektrod katódos polarizáló görbét is ábrázoljuk. Az ábra szerinti elrendezésben a Zn-elektrod töltése közben tételezzük fel, hogy dendritkristály kinő a hálóra. A két polarizáló görbe metszésének megfelelő áramsűrűséget jellemző sebességgel a



folyamat szerint azonnal megkezdődik a Zn oldása. Mivel a gázfejlődés és Zn oldásának sebessége lényegében meghaladja a Zn leválasztásának sebességét (kicsi a töltőáram-sűrűség), a dendrit leválik az elektródról és oldatba megy. Ezt még a Zn-elektrod és a háló közt elhelyezett mikroporozus szeparátor elektrolitellenállás-növelő szerepe is segíti.

A lehetséges fizikai szeparátorok közül két módszert emelünk ki. Az egyik, ahogy már említettük, a töltött Zn-elektrod mechanikus rázása. Gondoljuk meg még egyszer a dendrit növekedésének fizikai—kémiai okait. Elsősorban a töltés közben kiszélesedő diffúziós határrétegben lecsökkenő Zn(II) ionkoncentráció a felelős ezért. Gondoljuk el, hogy az elektrod saját síkjában rezeg. Közvetlenül a Zn-elektrod felületén ébredő mikroturbulenciák és az elektrolittérfogatban a szívó—nyomó hatásra ébredő makroturbulenciák keverő hatása folytán olyan fizikai—kémiai viszonyok jönnek létre, hogy az elektrod felületén jól tapadó és egyenletes struktúrájú és vastagságú Zn válik le. Krusenstierna (1976-ban Brightonban a 10. Power Sources Szimpoziumon megtartott előadás) szerint még 1000...1500 töltéskisütési ciklus után sem figyelhető meg alakváltozás, vagy dendritképződés a Zn-elektrodon. A kívánt jelenség előérének feltételei 20...30 Hz rezgési frekvencia 2...2,5 mm rezgési amplitúdóval.

A Villamosipari Kutató Intézetben végzett elméleti és kísérleti vizsgálatok azt jelzik, hogy alkalmas töltési programmal is el lehet érni a Zn dendrites növekedésének hatékony megakadályozását. E vizsgálatok még további pontosítást és ellenőrzést kívánnak. A vizsgálatok eredményeiről külön közleményben fogunk beszámolni.



11-4. ábra. Elektrokémiai szeparátorral üzemelő Zn-elektrod polarizációs görbéi
1, 2 Zn-elektrod anódos és katódos polarizációs görbéi; 3 Renay-típusú katalizátoros szeparátor anódos görbéje

12.

Járműhajtási célra tervezett kémiai áramforrások kutatása

ÁGH JÁNOS—HORVÁTH PÁL—KULCSÁR SÁNDOR

ÖSSZEFOGLALÁS

A villamos hajtású közúti járművek áramforrásainak kutatása világszerte nagy intenzitással folyik. Néhány kémiai áramforrás fejlesztési eredménye már lehetővé tette, hogy kísérleti járművekben vizsgálják alkalmazhatóságát. E kísérletek értékelése közelebb hozta a fenti járművek, illetve energiaellátásukat biztosító rendszerek realitásának megítélését.

A szerzők beszámolnak a járműhajtási üzemmódra alkalmas áramforrások kifejlesztésére irányuló törekvésekről és az ipari megvalósuláshoz legközelebb álló rendszerekről. Egy 20 kWh-s cink — levegő áramforrással kapcsolatos kísérletet ismertetnek, amely 12 V 140 Ah-s cink — levegő telepekből és 12 V 48 Ah-s savas ólomakkumulátorokból áll. Beszámolnak a jelenleg folyó kísérletek alapján a várható fejlesztési irányról.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ДЛЯ ТЯГОВЫХ ЦЕЛЕЙ

Я. Аг—П. Хорват—Ш. Кулчар

Резюме

Исследование источников тока (ИТ) дорожных электротранспортных средств во всем мире ведутся с большой интенсивностью. Результаты разработки некоторых химических ИТ позволяют испытать их применимость в опытных транспортных средствах. Результаты этих экспериментов позволили более объективно оценить реальность вышеуказанных транспортных средств и систем их энергообеспечения.

Авторы показывают усилия, направленные на разработку ИТ, применяемых в режиме привода транспортных средств, указывают системы, находящиеся близко к промышленному решению.

Излагается эксперимент в связи с цинко-воздушным ИТ, в котором цинково-воздушный ИТ с параметрами 12 в, 120 ач был соединен со свинцовым аккумуляторным ИТ с параметрами 12 в, 48 ач. В конце статьи на основе проводимых экспериментов описывается ожидаемое направление развития.

FORSCHUNG VON ELEKTROCHEMISCHEN STROMQUELLEN FÜR ELEKTROFAHRZEUGE

J. Ágh — P. Horváth — S. Kulcsár

Zusammenfassung

Die Forschung der Stromquellen der elektrisch angetriebenen Fahrzeuge ist weit und breit mit grosser Intensität im Gange. Das Entwicklungsergebnis von einigen chemischen Stromquellen hat es schon möglich gemacht, ihre Anwendbarkeit in den Versuchs-

fahrzeugen zu prüfen. Die Bewertung dieser Versuche brachte die Beurteilung der Realität der die Energieversorgung der obenerwähnten Fahrzeuge sichernden Systeme näher.

Die Verfasser berichten über ihre Bestrebungen nach der Entwicklung der für die Fahrzeugantriebe geeigneten Stromquellen und über die der industriellen Verwirklichung nächststehenden Systeme.

Sie legen einen mit einer 20 kWh — Zink-Luft — Stromquelle zusammenhängenden Versuch dar, der aus 12 V 140 Ah — Zink-Luft-Batterien und 12 V 48 Ah — Bleiakumulatoren besteht. Schliesslich berichten sie über die voraussichtliche Entwicklungsrichtung auf Grund der gegenwärtig im Gange befindlichen Versuche.

RESEARCH OF THE CHEMICAL POWER SOURCES DESIGNED FOR VEHICLE DRIVE

By J. Ágh — P. Horváth — S. Kulcsár

Summary

Research of the power sources of the electric vehicles is going at a quick pace all over the world. The development result of some chemical power sources has made it possible to investigate the possibility of application in experimental vehicles. The evaluation of these tests brought nearer the estimation of the reality of the systems ensuring the power supply of the above-mentioned vehicles.

The authors give a survey of the efforts regarding the development of the power sources suitable for vehicle drive operation and the systems which are near the industrial realization.

They show an experiment with a 20 kWh zinc-air power source which consists of 12 V 140 Ah zinc-air batteries and 12 V 48 Ah lead-acid accumulator. In the end they deal with the expectable development direction of the actual experiments.

1. Bevezetés

Már a múlt század utolsó évtizedei óta üzemelnek saját villamos energiaforrású járművek. Ezek a járművek a közúti forgalomból fokozatosan kiszorultak, a benzin- és dízelmotoros gépkocsik gyorsabb ütemű technikai tökéletesítése, illetve a kémiai áramforrások (akkumulátorok) műszaki fejlődésének lassúbb üteme miatt.

A villamos hajtás közismert előnyei (könnyebb kezelhetőség, egyszerűbb karbantartás) mellett, fontos társadalmi igények is indokolják a villamos hajtású járművek kifejlesztését. Ezeket az igényeket a következőképpen fogalmazhatjuk meg:

- A környezetvédelem (légszennyezés és a zajártalom csökkentése), amely a nagyvárosi közlekedésben különösen fontos, megoldásra váró feladat.
- Az energiagazdálkodás javítása, amit az energiahordozókkal való fokozottabb takarékoság indokol.

Ez utóbbi szempont megítélésekor figyelembe kell venni az alapenergia hasznosításának mértékét a kétféle hajtású járműnél. A benzinmotorok az értékes szénhidrogéneket a motor szempontjából 20...25%-os hatásfokkal, a jármű szempontjából pedig 9...10%-os hatásfokkal alakítják át mechanikai energiává. A szokásos járműkonstrukciók esetében az energiaátalakítási folyamatokban csak kismértékű hatásfokjavulás várható.

A villamos hajtású járművek esetében az áramforrás típusától függően két alternatívát vizsgálhatunk: Az egyik: valamilyen akkumulátor (pl. ólomakkumulátor) alkalmazása, amelyben az energilánc hatásfoka közel kétszer nagyobb, mint az Otto-

motoros járművekben. A felhasználásra kerülő villamos energia nem kizárólagosan kőolajból, illetve származékaiból nyerhető, hanem a rendelkezésre álló, valamennyi energiahordozóból előállítható. Ezenkívül figyelemreméltó energiagazdálkodási szempont, hogy az erőművekben előállított villamos energia gazdaságosabb felhasználását teszi lehetővé — a terhelésingadozás csökkentése révén — az akkumulátorok csúcsidőszakon kívüli (éjszakai) töltése.

A másik alternatíva olyan energiaátalakító rendszerek alkalmazása, amelyek a folyamatosan betáplált kémiai energiát alakítják át villamos energiává. Ilyen energiaátalakító rendszer a tüzelőanyag-elem, vagy a fél-tüzelőanyag-elemnek tekinthető fém—levegő áramforrás.

Ezek a rendszerek lényegesen kedvezőbb, minimálisan 50%-os hatásfokú energiaátalakítást ígérnek az alapenergiahordozóra vetítve, amelyek alkalmazása a szokásos erőátviteli kivétel esetében is 25...35%-os összhatékonyságot eredményez.

Mindezek alapján megállapítható, hogy elvileg a villamos hajtású járművek alkalmazása energiagazdálkodási szempontból előnyösebb.

Az előzőekben ismertetett igények kielégítésének alapvető feltétele: olyan energiaforrás kifejlesztése, amely biztosítja a belsőégésű motorokkal hajtott járművek menettulajdonságait és üzemeltetési költség tekintetében lehetővé teszi egy gazdaságosabb villamos jármű kifejlesztését. E követelmények teljesítése kémiai áramforrásokkal — az utóbbi két évtized alatt bekövetkezett fejlődést tekintve — már a közeljövőben megvalósíthatónak látszik. A villamos hajtású járművek száma különösen néhány preferált kategóriában (városi személyszállító és bevásárlókocsi, kisáruterítő jármű) évről évre növekszik.

Az 1976-ban előállított járművek számát mutatja a 12-1. táblázat három ország adatai alapján. Ugyanezen időszak alatt, kilenc fejlett ipari ország több, mint 45 ezer darab villamos hajtású közúti járművet állított elő [1].

12-1. táblázat

1976-ban előállított villamos hajtású járművek száma [1]

(becsült értékek)

Jármű típusa	Japán	Nagy-Britannia	USA
Személyautó	660	500	2580
Autóbusz	10	10	10
Teherautó	90	2000	490
Áruterítő	600	1100	1800
Motorkerékpár	100	—	800
Golfkocsi	300	50	2700

A villamos járművek fejlesztésének nemzetközi színvonalára jellemző a villamos járművek 1977-ben, Chicagóban megrendezett első nemzetközi kiállítása [2].

A kémiai áramforrások járműhajtási célú alkalmazhatóságának perspektívái, járműhajtási üzemmódban elvárt műszaki jellemzői már számos tanulmány és kísérleti eredmény alapján kijelölhetők [3], [4].

Ezek közül a legfontosabbak :

- fajlagos energia 100...200 Wh/kg
- fajlagos teljesítmény 100...200 W/kg

- ciklusélettartam min. 500
- gazdaságosság az ólomakkumulátorokkal azonos, vagy alacsonyabb ár a tárolt energiára vonatkoztatva.

Az utóbbi évek fejlesztési eredményeinek értékelése alapján a közeljövő legvalószínűbb energiaellátó rendszerei:

- ólomakkumulátor,
- fém-nikkelhidroxid akkumulátor (cink és vas anóddal),
- fém—levegő áramforrás (cink és vas anóddal),
illetve ezek különféle ún. hibrid üzeme.

Nem soroljuk ide a tüzelőanyag-elemet, valamint az olvadék elektrolitú alkálifém—kén rendszert, amelyeknek járműhajtási célú alkalmazása csak a 90-es évek körül várható, annak ellenére, hogy több országban intenzív kutatási program keretében folyik a kifejlesztésükre irányuló munka.

2. Ólomakkumulátor

Járműhajtási célra már alkalmazzák az ólomakkumulátor továbbfejlesztett változatát. Alkalmazhatóságát elsősorban annak köszönheti, hogy kielégítően ismertek a működését leíró elméleti összefüggések, s ennek megfelelően hagyományos változatainak gyártástechnológiája általában magas színvonalú. Az újabb kutatási eredmények lehetővé tették nagyarányú fejlesztését, amit a fajlagos energiatároló képesség fokozatos növelése jellemez. Az energiatároló képesség értéke a korszerű típusoknál meghaladja a 40 Wh/kg-ot 5 h kisütési idő mellett [5], [6].

A savas ólomakkumulátor fajlagos teljesítménye 100...200 W/kg között van, amely a jármű kielégítő gyorsulásához szükséges csúcsteljesítményt is biztosítja.

A ciklusélettartam a jármű üzemmódjától függően változik, értéke alig több 500 ciklusnál a jelenlegi áramforrás-konstrukciónál. Ugyanakkor 5 h (névleges) kisütés esetén nagyobb, mint 1000 ciklus.

Az ólomakkumulátor továbbfejlesztése az energiasűrűség és az élettartam növelésére irányul. Ennek reális lehetősége a konstrukció optimalizálása, ezen belül az áramvezető súlyának csökkentése, valamint az aktív anyag jobb kihasználása területén kínálkozik. A hagyományos ólomrács helyett alkalmazott ólombevonatú réz vagy alumíniumrács, közel 30%-os súlymegtakarítást eredményezhet az elektródoknál. Az aktív anyag kihasználási foka 20 h kisütési idő mellett maximum 60%, rövidebb idejű kisütés esetén pedig még kisebb érték [7], [8]. Ennek növelése az energiatároló képesség javítását eredményezheti. A hagyományos elemkonstrukcióval történő szakítás, illetve új megoldások keresése (pl. a bipoláros elektródok alkalmazása) még a kutatások tárgyát képezi. Amerikai kutatók néhány éven belül elérhetőnek tartják a 37...40 Wh/kg energiasűrűségű ólomakkumulátor kifejlesztését, 2 h kisütési időnél [6], [9].

Az ólomakkumulátorok fejlesztése terén említésre méltóak a japán eredmények. Ezek közül kifejezetten járműhajtási célra fejlesztett ólomakkumulátorok három típusát érdemes kiemelni. Az EV2P típusjelű, 1480 kg összsúlyú, négy személyes villamos jármű ólomakkumulátora vékonyított, kent pozitív és több rétegű negatív lemezekkel épített rendszer. A lemezek közti szeparációt is két különböző típusú szeparátorral biztosítják: az egyik hagyományos, a másik üvegszövet alapú. Az EV3P

típusjelű, 1,5 t összsúlyú kisáruterítő jármű hajtására a hagyományos, műanyag szövetű trakciós akkumulátort fejlesztették tovább. Az EV4P típusú, 3,5 t összsúlyú, 1 t hasznos terhelésű áruterítő jármű akkumulátora lényegében a kent lemez és szövetű kombinációja (a pozitív elektródot lemez formájú és hasáb alakú műanyag szövetűskában helyezték el). A két elektród közötti térben a reakcióhoz szükséges sav „tárolására” a hagyományos szeparátor mellett még perforált és hullámformára hajlított műanyag lemezeket is alkalmaznak. A rendszert műgyanta házban, monoblokkrendszerű konstrukcióban építik. Mindhárom típusra az 50...55 Wh/kg energiasűrűség jellemző, 5 h kisütési idő mellett. Ezekről eltérő, nagyobb energiasűrűségű ólomakkumulátorok fejlesztésével is foglalkoznak [10].

Figyelemre méltó a VARTA Batterie AG. törekvése, miszerint nemcsak az áramforrás jellemzőinek javítását tűzi ki célul, hanem adott típusú járműhöz fejleszt ki energiaellátó rendszert. Ez az áramforráson kívül az optimális működést biztosító segédberendezésekből áll és a fejlesztési programhoz tartozik a töltőberendezés tervezése is [11]. Ez az igény különösen a nagyobb gördülősúlyú járműveknél (autóbusz) válik fontossá. A segédberendezések szerepét, a járműhajtási üzemmódban működő áramforrás rendszertechnikai szemléletének indokoltságát a következő példával illusztráljuk:

Válasszunk egy 455 Ah névleges kapacitású, járműhajtási célra fejlesztett VARTA gyártmányú, H 585 V1 (7 PzF 455) típusú műanyag szövetű ólomakkumulátort, amelynek 5 h kisütési idő melletti kapacitását 100%-nak tekintjük. Wh-hatásfoka legyen 80%. Ha ezt az elemet 15 perc alatt akarjuk kisütni, miközben közel 800 A-rel terheljük, akkor kapacitása csak 40...50% lesz, azaz kb. 200 Ah, ugyanakkor Wh-hatásfoka pedig 30...40%-ra csökken [12]. A tárolt energia több, mint 60%-a tehát nem hasznosítható. Ennek oka döntően a cella belső ellenállásának gyors növekedése, illetve a Joule-hő. A cella hőmérséklete kisütéskor számottevő mértékben növekszik. Miután 45 °C felett már az elektródok károsodásával számolhatunk, ilyen igénybevételek esetén intenzív hűtés szükséges. Ezt korábban léghűtéssel, az említett cella esetében beépített csőkipóval, vízhűtéssel oldották meg. A nagyobb üzemi hőmérséklet fokozza a párolgási veszteséget, így folyamatos elektrolitszint-ellenőrzést és vízutántöltést kell biztosítani.

A bemutatott paraméterekkel rendelkező, továbbfejlesztett ólomakkumulátorok már lehetővé teszik elsősorban a személy- és áruterítő járművek kategóriáiban (1500 kg gördülősúly mellett) — a forgalmi viszonyoktól függően — a 100...160 km-es hatótávolság elérését. Ilyen járművek egyes típusai már kis sorozatban gyártott, kereskedelmi termékek [2]. Az autóbuszok egy töltéssel megtehető útja szerényebb, mintegy 60...90 km. A többéves próbajáratások ellenére sorozatgyártásukat még nem tervezik.

Tekintettel az ólomakkumulátor kedvező fajlagos teljesítményére (100...200 W/kg), további alkalmazási területe lehetséges hibrid rendszerekben olyan áramforrás mellett, amely nagy energiasűrűségű, de fajlagos teljesítménye kicsi. Ilyenkor az ólomakkumulátor tölti be a teljesítménytároló és pl. a cink—levegő áramforrás az energiatároló szerepét.

3. Fém—nikkelhidroxid áramforrások

Az e típushoz sorolhatók közül a cink- és vanádú akkumulátorok fejlesztési eredményeit ismertetjük.

3.1 Cink—nikkelhidroxid akkumulátor

Ez a hagyományos kadmium—nikkel és cink—ezüst áramforrások nikkel és cink elektródjainak továbbfejlesztésével létrehozott lúgos akkumulátor. Elméleti energiasűrűsége 326 Wh/kg, amely az ólomakkumulátor értékének közel kétszerese. A jelenlegi legjobb eredményként 68 Wh/kg fajlagos energiasűrűséget értek el, 2 h kisütés mellett. Szovjet és amerikai kutatók reálisnak tartják néhány éven belül a 75...80 Wh/kg elérését járműhajtási üzemmódban [6], [12].

A kísérletek elsősorban az élettartam növelésére irányulnak. Itt utalunk arra az ismert problémára, amely a cinkelektrodokon töltéskor keletkező dendritképzésből ered. A dendritek belső rövidzár kialakulásához vezetnek, ami a kapacitásvesztés mellett az élettartam egyik korlátját jelenti. Megfelelő adalékok és új, hatékony szeparátorok alkalmazásával a ciklusélettartamot 200 körüli értékről 500 fölé próbálják növelni.

Az áramforrás fejlesztésével párhuzamosan folynak a járműben történő alkalmazhatósági vizsgálatok. Szovjet kutatók 50 Wh/kg-os energiatároló képességgel rendelkező áramforrást ismertetnek. Hollandiában kifejlesztettek egy 20 kWh-s telep járműhajtási célra. A vizsgálatok során 40 Wh/kg energiasűrűséget értek el, háromórás kisütés mellett [13]. Lengyel szerzők 100 Ah-s kapacitású cellákból felépített 30 kWh tárolóképeségű telep létrehozásáról és járműhajtási vizsgálatáról számolnak be. A telep 45 Wh/kg-os fajlagos energia tárolóképesége mellett 450 ciklust teljesített [14].

Az ismertetett eredmények elemzése arra a következtetésre vezet, hogy a cink—nikkelhidroxid típusú áramforrás fajlagos értékei a 80-as évek közepére elérhetik az ólomakkumulátor által biztosítható fajlagos jellemzők kétszeresét. Élettartamát 500 ciklus fölé növelve ez az áramforrás megteremtené a jelenleg csaknem kizárólagosan használt savas akkumulátor kiválasztásának lehetőségét.

3.2 Vas—nikkelhidroxid akkumulátor

A vas—nikkelhidroxid akkumulátor tulajdonképpen a klasszikus akkumulátor továbbfejlesztése alapján tekinthető a közeljövő egyik ígéretes járműhajtási áramforrásának. Elméleti energiatároló képessége viszonylag kicsi (267 Wh/kg), ugyanakkor nagy élettartama és kedvező ára növeli a villamos járműben történő alkalmazásának esélyét. Ciklusélettartama 2000 fölött van. Az aktív anyagok nagyobb hatékonyságát biztosító elektródok a tárolóképeség mellett a többi műszaki jellemző javulását is eredményezték.

E téren amerikai kutatók 44 Wh/kg energiasűrűségű áramforrást fejlesztettek ki 2 h kisütési idő mellett, s jelenleg a 60 Wh/kg fajlagos paraméterű megvalósításán dolgoznak [6]. Hasonló intenzív kutatási eredményekről számol be a német szakirodalom is [5].

3.3 Fém—levegő áramforrás

Ez az áramforrás működési elvét tekintve eltér a korábban ismertetett savas és lúgos akkumulátortól. Fél-tüzelőanyag-elemnek is nevezhető, miután a levegő (oxigén) elektród működése megegyezik a tüzelőanyag-elemben alkalmazott katód működésével: olyan inaktív elektród, amely az oxidálószer nem az elektródban tárolja, mint például az ólomoxid vagy nikkelhidroxid elektród, hanem a levegőből folyamatosan biztosított oxigént használja fel az áramtermelő elektrokémiai folyamathoz. Anódja

viszont aktív elektród: olyan fém, amelynek elektrokémiai és kémiai tulajdonságai alapvetően meghatározzák az áramforrás működését.

A fém—levegő áramforrás primer elemként használatos típusai (pl. : cink—levegő elem) már kereskedelmi termékek. A szekunder üzemű fém—levegő áramforrások fejlesztésének legfőbb problémája a levegőelektród kifejlesztése. A tényleges szekunder üzemre alkalmas levegőelektród három fajtáját lehet megkülönböztetni. Az egyik a nemesfém-katalizátoros levegőelektród, amelyben a nemesfém az oxigéngáz keletkezésekor fellépő intenzív korróziós igénybevételnek ellenáll. Ennek az ára nagyon magas. Másik típusa a Siemens által [15] kifejlesztett többrétegű, gázleválasztó pórusos nikkelleteget is tartalmazó, hidrofób üzemű elektród.

Harmadikként a hidrofíl üzemű nikkell és ezüst katalizátort tartalmazó szekunder levegőelektród említendő [16]. A problémát harmadik, ún. töltőelektród beépítésével is próbálják megoldani, amely elsősorban konstrukciós problémákat vet fel [2].

A fém—levegő elemek járműhajtási célú kutatását az anódreagensre vonatkoztatott igen kedvező elméleti energiasűrűségeik indokolják. Pl. :

cink—levegő elemnél	1340 Wh/kg
alumínium—levegő elemnél	8222 Wh/kg
vas—levegő elemnél	1220 Wh/kg

Ezek közül a legjobban kifejlesztett típus a cink—levegő elem. Komoly problémát jelent a szekunder üzeműben (töltéskor) keletkező cink dendrit, hasonlóan a cink-anódú akkumulátorhoz. A kutatások jelentős hányadát képezi még a szekunder üzeműben dolgozó levegőelektród tulajdonságainak javítása is, az előzőekben részletezett okok miatt. Járműhajtási kísérletekhez kifejlesztett változatait már több országban vizsgálták.

Angol kutatók kidolgoztak egy 45 kW-os cink—levegő elemet, amelynek súlya segédberendezésekkel együtt 600 kg és 65 kWh energiát szolgáltatott. Az áramforrás fajlagos energiátároló képessége 110 Wh/kg, fajlagos teljesítménye pedig 75 W/kg. Az áramforrással 2500 kg összsúlyú járművet üzemeltettek 160...370 km távolságon [18].

Japánban a nagyszabású kutatási program keretében létrehozott kísérleti járművek közül, említést érdemel egy 1000 kg hasznos terhelésű, városi áruterítő jármű. Áramforrása szekunder üzemű cink—levegő telepből (168 V, 600 Ah kapacitás) és ólomakkumulátorból (120 V, 170 Ah kapacitás) áll. 5 h kisütési idő mellett a cink—levegő áramforrás 110 Wh/kg, az ólomakkumulátor pedig 50 Wh/kg energiasűrűséggel rendelkezik. Ez a megoldás lehetővé tette, hogy a 3600 kg gördülő súlyú jármű 40 km/h állandó sebességgel, egyszeri töltéssel 496 km-t tegyen meg [2].

A fém—levegő áramforrások közül járműhajtási célra a másik, sokat ígérő típus a vas—levegő elem. Mivel elméleti energiasűrűsége nem sokkal kisebb mint a cink—levegő rendszeré, szekunder üzeműben a vaselektrod közismert jó tulajdonságai miatt (elsősorban a magas cikluslettartam és az alacsony ár) érdemel nagy figyelmet. A negatív elektród a lúgos vas—nikkel akkumulátorokban is alkalmazott vaselektrod továbbfejlesztett változata. Jelenleg hagyományos táskás típusú elektróddal [16] épp úgy foglalkoznak, mint a szinterelt típusú elektród kifejlesztésével. A szekunder üzemű levegőelektród problémaköre ugyanaz, mint a cink—levegő elem esetében. A kísérleti típusoknál az eddig elért energiasűrűség (ami majdnem kizárólag a vaselektrod fejlettségi fokától függ) 70...90 Wh/kg. A levegőelektród alacsony terhelhetősége miatt a teljesítménysűrűség a 30...40 W/kg értéket nem haladja meg.

Az ismertetett háromféle áramforrástípus (ólom—, fém—nikkelhidroxid akkumulátor, valamint a fém—levegő elem) kutatási-fejlesztési eredményei alapján látható,

hogy a már alkalmazott ólomakkumulátorral néhány év múlva versenyképes lehet a fém—nikkelhidroxid rendszer, cink- vagy vasanóddal. A fém—levegő rendszerek (bár kutatásuk világszerte intenzíven folyik, s egyes cink—levegő típusok kísérleti gyártását is megkezdték) járműhajtási célra való alkalmazását még további kutatási és fejlesztési munkának kell megelőznie.

4. A Villamosipari Kutató Intézetben kifejlesztett cink—levegő elem és ólomakkumulátorból álló hibrid rendszerű áramforrás

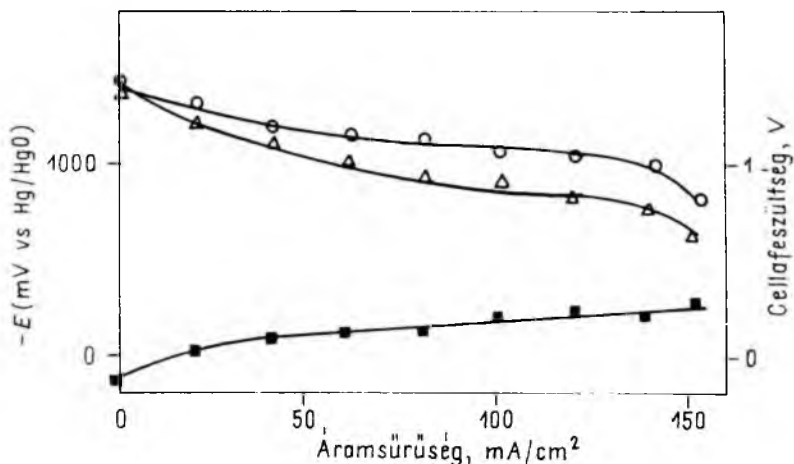
A járműhajtási célra szolgáló áramforrások kutatása keretében létrehoztunk egy 196 V és 140 Ah kapacitású cink—levegő telepet és tanulmányoztuk a villamos hajtásúra átalakított „Elektro-Barkas” áruterítő jármű hajtására való alkalmazhatóságát [19].

Az energiaszolgáltató rendszer tervezésénél figyelembe vettük, hogy a cink—levegő elem teljesítménysűrűsége kicsiny (30..40 W/kg), ezért elsősorban energiatárolóként használható. Teljesítménypufferként savas ólomakkumulátor telepet alkalmaztunk.

A telep készítésére használt cink—levegő cellák működési elvét és szerkezeti felépítését egy korábbi tanulmányban részletesen ismertettük [20]. Ezek egy továbbfejlesztett változatban (kapacitásuk és terhelhetőségük növelése mellett) egy 20 kWh-s járműhajtási telepben kerültek alkalmazásra. A beépített cellák mindkét oldalán 120 cm² felületű levegőelektrodot helyeztünk el. Névleges, 5 h kisütési időre vonatkozó kapacitásuk 140 Ah volt. A cink- és levegőelektrodok polarizációja, valamint a cellafeszültség a terhelőáram függvényében a 12-1. ábrán látható.

A telep cinkanódjai a kisütés végén cserélhetők voltak, így mechanikusan újratölthető áramforrásként üzemeltettük. A kiemelt cinkelektrodok villamos töltése 30...50 ciklusig volt végezhető.

Egy-egy modul 12 cellából állt, amelyeket oly módon rögzítettük, hogy a levegőelektrodok optimális működéshez szükséges feltételek is teljesüljenek. A modulok

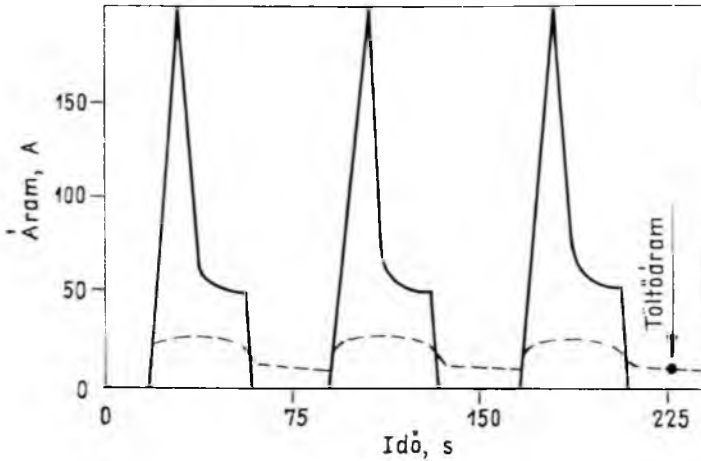


12-1. ábra. A cink és levegő elektrodok polarizációja, valamint a cella terhelési görbéje ($t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)

△ cellafeszültség; ○ cinkelektrod; ■ levegőelektrod

kapacitását és terhelhetőségét 50 A-ig vizsgáltuk. A kisütőáram 50 A fölé történő növelésének elsősorban a cinkelektrod terhelhetősége szabott határt, ugyanis 150 mA/cm² áramsűrűség felett a cinkelektrod polarizációja jelentősen megnövekedett. A levegőelektrod polarizációja ugyanakkor kisebb mértékű volt.

Vizsgáltuk a 12 V, 140 Ah kapacitású modul az IEC előírás szerinti csúcsterhelhetőségét 200 A-ig (12-2. ábra) modellezve a járműhajtási üzemmódot. A méréseket



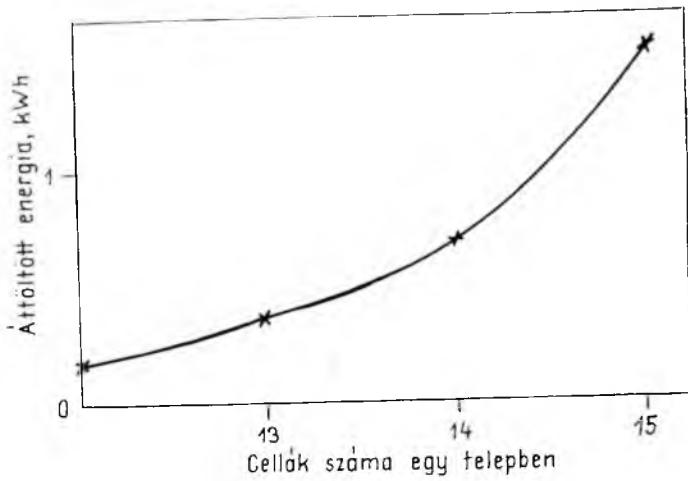
12-2. ábra. A cink—levegő telep (12 V, 140 Ah) önállóan és ólomakkumulátorral (12 V, 48 Ah) párhuzamosan kötve mint hibrid telep csúcsterhelhetősége IEC előírás szerint

———— hibrid telep árama;
 - - - - - cink—levegő telep árama

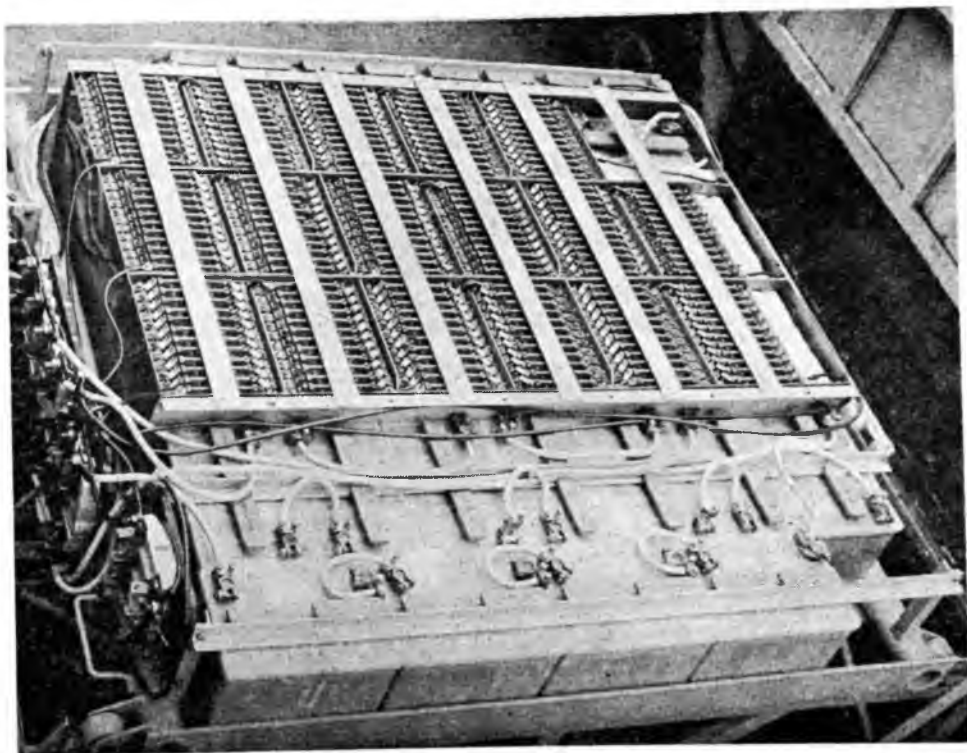
12 V, 48 Ah kapacitású ólomakkumulátorral párhuzamos villamos kapcsolásban végeztük. A hibrid áramforrás mérési eredményei azt mutatták, hogy a 200 A-es csúcsterhelésnél a cink—levegő modul csak 27...30 A-t szolgáltat. A külső terhelés megszűnésekor pedig átlagosan 10 A-es töltőáramot biztosított az ólomakkumulátor számára.

Tanulmányoztuk az ólomakkumulátor töltésére fordított villamos energia nagyságát a különböző cellaszámú cink—levegő elem alkalmazása mellett. A mérésekhez egy 12 V-os, kisütött állapotban levő ólomakkumulátor telepet kötöttünk párhuzamosan a cink—levegő áramforrással. Mérési eredményeinket a 12-3. ábrán mutatjuk be. Megállapítható, hogy az optimálisra választott cellaszámú cink—levegő elem járműhajtási üzemben biztosítani képes az ólomakkumulátor utántöltését, s ezzel a működési idő, illetve a hatótávolság növelését.

A cink—levegő áramforrás további, elsősorban járműhajtási üzemmódban mutatott jellemzőinek vizsgálatához létrehoztunk egy, járműhajtásra is alkalmas telepet, amelyet két különböző típusú ólomakkumulátorral külön-külön párhuzamos kapcsolásban, mint hibrid áramforrást tanulmányoztunk. Az első kísérlethez elkészült A üzemszámú áramforrást a 12-4. ábrán mutatjuk be. A felvétel alsó részén láthatók a 12 V, 48 Ah-s névleges kapacitású ólomakkumulátorok műanyag házban. A kép felső részén található a cink—levegő áramforrás. A második kísérlethez 192 V 120 Ah-s névleges kapacitású ólomakkumulátort (B) alkalmaztunk, szintén műanyag



12-3. ábra. Egy 12 V-os ólomakkumulátor töltésére felhasznált villamos energia különböző cellaszámú cink—levegő elem esetében



12-4. ábra. Cink—levegő elemből és ólomakkumulátorból álló üzemszerű járműhajtási áramforrás

házias kivitelben. A kísérletek eredményeit a 12-2. táblázatban ismertetjük. Az Elektrobarkas a fenti hibrid áramforrással az *A* esetben 80 km, a *B* esetben 120 km távolságot tett meg egyszeri töltéssel.

12-2. táblázat

A VKI-ban járműhajtási célra kifejlesztett áramforrás jellemzői

Tipus	Áramforrás	Névleges telepfezült-ség, V	Névleges kapacitás, Ah	Leadott töltés, Ah	Tömeg, kg	Leadott energia, kWh	Energiasűrűség, Wh/kg
<i>A</i>	Cink — levegő telep	196	140	106,0	250	18,8	75,0
	Ólomakkumulátortelep	192	48	35,4	270	6,4	24,0
	hibrid telep	196	188	141,4	510	25,1	48,3
<i>B</i>	cink — levegő telep	196	140	113,2	250	20,3	81,5
	ólomakkumulátortelep	192	120	87,0	720	15,4	22,0
	hibrid telep	196	260	200,2	960	35,8	37,1

Az ezekből a kísérletekből levonható következtetések:

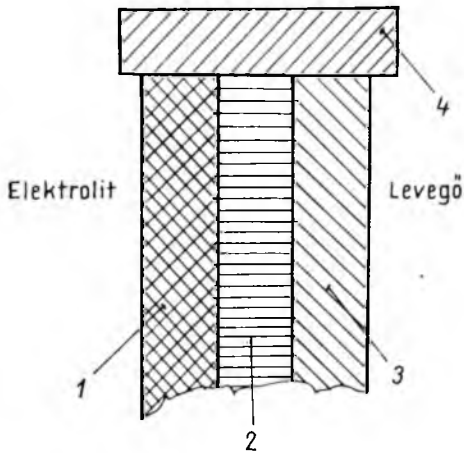
- A cink—levegő áramforrás a kísérletek ideje alatt megbízhatóan üzemelt. A meghibásodott cellák száma 1,0%-ot tett ki.
- A vizsgált áramforrás ólomakkumulátorral párhuzamosan kapcsolva előnyös a hajtási teljesítmény biztosítása szempontjából.
- A cink—levegő elem továbbfejlesztett változata alkalmas lehet járműhajtási célra. A további kutatást elsősorban az áramforrás töltésekor tapasztalt problémák indokolják.

Kísérleteink eredményei és tapasztalatai alapján folytatjuk a cink—levegő elem és az ólomakkumulátorból álló hibrid rendszer, valamint ezek egyes elemeinek fejlesztését a nagyobb energia- és teljesítménysűrűségeken kívül a töltési mód egyszerűsítésének irányába.

E célkitűzések elsősorban a cinkelektrod szekunder üzemű tulajdonságainak javítását, valamint a szekunder üzemű levegőelektrod kifejlesztését jelölik ki. Az első problémakörrel részletesen foglalkozunk e kötet 11. cikkében [21].

A szekunder üzemre alkalmas levegőelektrod kifejlesztésénél tekintetbe kell venni a töltő és kisütő üzemmód jellegéből adódó alapvető különbségeket. Azaz a töltő üzemmódban, mivel az elektródon oxigén válik le, fontos követelmény a lehetőség szerint kicsi oxigénleválási túlfeszültség biztosítása, valamint az alkalmazott katalizátor védelme. Az anyagokon megfigyelhető oxigénleválási túlfeszültségen ugyanis a legtöbb katalizátort korróziós károsodás éri (ezüst esetében a katalizátorszemcsék oxidálódnak, így az ezüst-oxid egy része — azonkívül, hogy a kisütő üzemben redukálódik, a keletkezett ezüst fokozatosan elveszti eredeti struktúráját — oldódik is az elektrolitban), valamint a leváló gázbuborékok magát az elektródstruktúrát is roncsozzák.

Kísérleteink során a már említett harmadik, ún. töltőelektrod és a primer üzemű levegőelektrod „összevonásával építettünk szekunder” üzemű levegőelektrodokat.



12-5. ábra. Szekunder üzemű levegőelektrod vázlatos felépítése

1 nikkelréteg; 2 aktív réteg; 3 hidrofób réteg; 4 műanyag keret

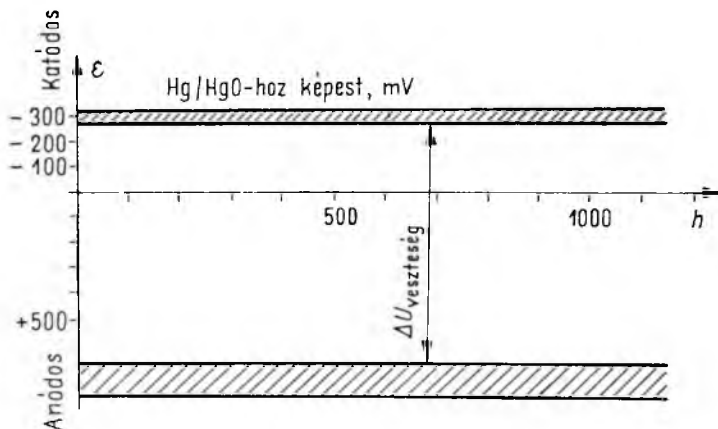
Az elektródépítési koncepciót a 12-5. ábrán mutatjuk be vázlatosan. Az 1 jelzett réteg beállított porozitású, szinterelt nikkelréteg. Két előállítási módját vizsgáltuk: karbonil-nikkel porból szinterelve, valamint szén vázra impregnált nikkelsóból kiindulva ezt termikusan bontva és a keletkező szerkezetet szinterelve. A 2 réteg katalizátortartalmú aktív réteg, összetételére nézve szén, teflon, ezüst és higany, pórusképzővel kialakított struktúrában. A 3 réteg a folyadékzáró hidrofób réteg szén és teflon tartalommal.

Az előre elkészített pórusos nikkelrétegre egy további lépésben, nagy hőmérsékletű préseléssel alakítottuk ki az elektród szerkezetet. A szekunder üzem mód miatt alkalmazott pórusos nikkelrétegen válik le a töltéskor az oxigén. A beállított porozitás és rétegvastagság gondoskodik arról,

hogy polarizáló áram, illetve potenciál a 2 aktív réteg tartományában nem ébredhet. Ezenkívül még a Hg alkalmazása is ennek csökkentését hivatott szolgálni.

A 12-6. ábrán több mint 1300 h folyamatos üzemben ($j = 40 \text{ mA/cm}^2$ áramsűrűség mellett) a katódos (kisütő) és anódos (töltő) polarizációs potenciáltartományt ábrázoljuk. A tartomány ábrázolása azért szükséges, mert a szobahőmérséklet $\pm 5^\circ \text{C}$ -nyi ingadozásának hatásán túl változást a potenciálok alakulásában nem észleltünk. (Egy 100 cm^2 felületű elektród tömege 29 g .)

A szekunder üzemű levegőelektrodok fejlesztését tovább folytatjuk, elsősorban technológiai szempontokat alapul véve. E munkákkal párhuzamosan töltőelektrodos Zn—levegő elemek műszaki paramétereinek elemzését is folytatjuk. Ez a rendszer tanulmányozására alkalmas, ami a megfelelő szekunder üzemű levegőelektrod technológiai problémáinak megoldásáig szükséges.



12-6. ábra. Szekunder üzemű levegőelektrod élettartam-vizsgálata

Irodalom

- [1] *Mutzner, J.*: Haben Elektromobile eine reele Zukunftschance? Bull. SEV/VSE 68 (1977) 3,5 Februar.
- [2] *Hatos G.*: Elektromos járművek. Műszaki Élet 17 (1977).
- [3] *Horváth P.—Sors L.*: Kémiai áramforrások és alkalmazásuk. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [4] *Horváth P.*: Nem kötőtpályás villamos közúti járművek áramforrásai. Villamosipari Kutató Intézet Közleményei 6, 1978.
- [5] *Salamon, K.—Krämer, G.*: Traction batteries for existing and future electric road vehicles. Fourth International Electric Vehicle Symposium, Düsseldorf, 1967.
- [6] *Carr, E. S.—Harsch, W. C.—Erisman, Jr. L. R.—Judd, D.*: Near-term advanced electric vehicle batteries. Fourth International Electric Symposium, Düsseldorf, 1967.
- [7] *Vielstich, W.*: The development of electrochemical power sources for electric traction. Fourth International Electric Vehicle Symposium, Düsseldorf, 1967.
- [8] *Mandil, J.*: Main experiments carried out to date Compagnie Européenne d'Accumulateurs. Fourth International Electric Vehicle Symposium, Düsseldorf, 1976.
- [9] *Taylor, A. H.—Goebel, F.—Giner, J.*: Factors influencing the design of a high power density lead acid battery for electric propulsion. Power Sources 4 (Collins, D. H. Ed) Oriol Press, 1973.
- [10] Research and Development of Electric Vehicles in Japan. Soc. of Autom. Eng. of Japan Inc. (1977).
- [11] *d'Arcy, R.—Lionel*: Konzepte für Fahrzeug-Antriebs batterien ETZ-B 5. 27 (1975).
- [12] *Varta Batterie AG*: Áruismertető. (1977–78).
- [13] *Lidorenko, N. S.—Dmitrenko, V. E.*: Power Sources for Electric Vehicles Based on the Nickel—Zinc Electrochemical System. 28th ISE Meeting, Varna, 1977.
- [14] *Schneider, F. A.—Dominiczak, Z.*: A Bipolar NiO(OH)—K₃—BO₃—Zn Accumulator Power Sources 4 (Collins, D. H., Ed.) Oriol Press, 1973.
- [15] *Appelt, K.—Jurewicz, K.*: Ein Nickel—Zink Akkumulator für Elektrofahrzeuge. 28th ISE Meeting, Varna, 1977.
- [16] *Cnobloch, H.—Siemsen, G.—Sturm, F. V.*: Hybrid Oxigen Electrode for Metal—Air Batteries. Power Sources 4 (Collins, D. H., Ed.) Oriol Press, 1973.
- [17] *O. Lindström*: Iron—air battery systems for traction purposes. Power Sources 5 (Collins, D. H., Ed.) Academic Press, 1975.
- [18] *Adams, D. S.*: A Zinc—Air Battery for Electric Vehicle Application. Power Sources 4 (Collins D. H. Ed.) Oriol Press, 1973.
- [19] *Kulcsár S.—Ágh J.*: Experiments with zinc-air power source for vehicle drive. 3. Internationales Symposium "Elektrochemische Stromquellen", Dresden, 1978.
- [20] *Horváth P.—Kulcsár S.*: Cink—levegő áramforrások. Villamosipari Kutató Intézet Közleményei, 6, 1978.
- [21] *Horváth P.*: A cink elektrokémiájának néhány problémája. Villamosipari Kutató Intézet Közleményei, 7, 1979.

13.

Kis energiájú oxigénionok kölcsönhatása szilárd szén- és platina targetekkel*

DR. LUKÁCS JÓZSEF—GADÁNYI PÉTER

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők bemutatják azon kísérleti munkájuk eredményeit, amelyeket a $C+O^+$ reakciónál keletkező CO^+ ionok reakció okozta többlet translációs energia meghatározása terén értek el.

Bemutatják és részletesen ismertetik a 15 eV-os energiájú ionokat előállító, fékező- és fókuszálórendszert, valamint a meleg szén- és platina targetekről visszaszórt ionok energiaeloszlási méréseit, amelyek az egyidejűleg visszaszórt pozitív és negatív töltésű részecskék számításával történő szétválasztásán alapulnak.

A szerzők — eredményeiket elemezve — a meleg szénről és platináról történt visszaszórás energieloszlások alapján megállapítják, hogy meleg szén esetén határozott translációs energianövekedést kaptak, amelyet csak a $C+O^+$ reakció feltételezésével tudnak megmagyarázni.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КИСЛОРОДНЫХ ИОНОВ НИЗКОЙ ЭНЕРГИИ С ТВЕРДОЙ МИШЕНЬЮ ИЗ УГЛЯ И ПЛАТИНЫ. ЧАСТЬ II.

д-р. И. Лукач—П. Гадани

Резюме

Авторы излагают результаты экспериментальных работ при определении избыточной трансляционной энергии вызванной ионами CO^+ образующихся в реакции $C+O^+$.

Излагают и детально описывают систему замедления и фокусировки, создающую ионов с энергией 15 эв, а также измерения распределения энергии отраженных ионов с мишенью из высокотемпературных угля и платины, основанные на распределении положительных и отрицательных частиц расчетным путем.

Анализируя результатов, на основе распределения отраженной энергии из высокотемпературных угля и платины авторы определяют, что в случае высокотемпературного угля обнаруживается увеличение трансляционной энергии, которое можно объяснить только предположением наличия реакции $C+O^+$.

WECHSELWIRKUNG VON SAUERSTOFFIONEN NIEDRIGER ENERGIE MIT FESTEM KOHLEN- UND PLATINTARGET II. TEIL

Dr. J. Lukács — P. Gadányi

Zusammenfassung

Die Verfasser stellen die Ergebnisse ihrer Versuchsarbeit vor, welche sie bei der Bestimmung der Mehr-Translations-energie erzielt haben, die durch die Reaktion der bei $C+O^+$ Reaktion entstehenden CO^+ -Ionen hervorgerufen wurde.

* A cikk első részét a VKI Közleményei 6 (1977) tartalmazza (16. sz. cikk; p. 201...210).

Im Aufsatz wird das System zur Herstellung, Bremsung und Fokussierung der Ionen von 15 eV ausführlich erörtert. Ferner werden die Energieverteilungsmessungen der von dem warmen Kohlen- und Platintarget zurückgestreuten Ionen vorgestellt, die auf der Trennung der gleichzeitig zurückgestreuten Teilchen positiver und negativer Ladung durch Rechnung beruhen. Die Verfasser stellen ihre Ergebnisse analysierend, auf Grund der von der warmen Kohle und dem Platin zurückgestreuten Energieverteilungen fest, dass sie bei warmer Kohle ausgesprochene Translationsenergiezunahme bekommen haben, die sie nur mit der Voraussetzung der C-O⁺-Reaktionen erklären können.

INTERACTION OF LOW-ENERGY OXYGEN IONS WITH SOLID CARBON AND PLATINUM TARGETS. II. PART

By Dr. J. Lukács — P. Gadányi

Summary

The authors give the results of their experimental work, the appearance of the translational energy of the CO⁺ ions, generated by the reaction of O⁺ ions with solid carbon targets.

They show the experimental apparatus, which was generating, accelerating, focussing and retarding the ion beam to 15 eV kinetic energy. They show as well, the results of the energy distribution measurements of the ions, reflected from warm solid carbon and platinum targets. These measurements were evaluated by a method of calculation. Analysing their results, the authors concluded on the basis of the energy distributions of reflected positively charged particles from different target materials (platinum and graphite), that they determined a translational energy increase of CO⁺ ions, arising from the supposed C-O⁺ ion-molecule chemical reaction.

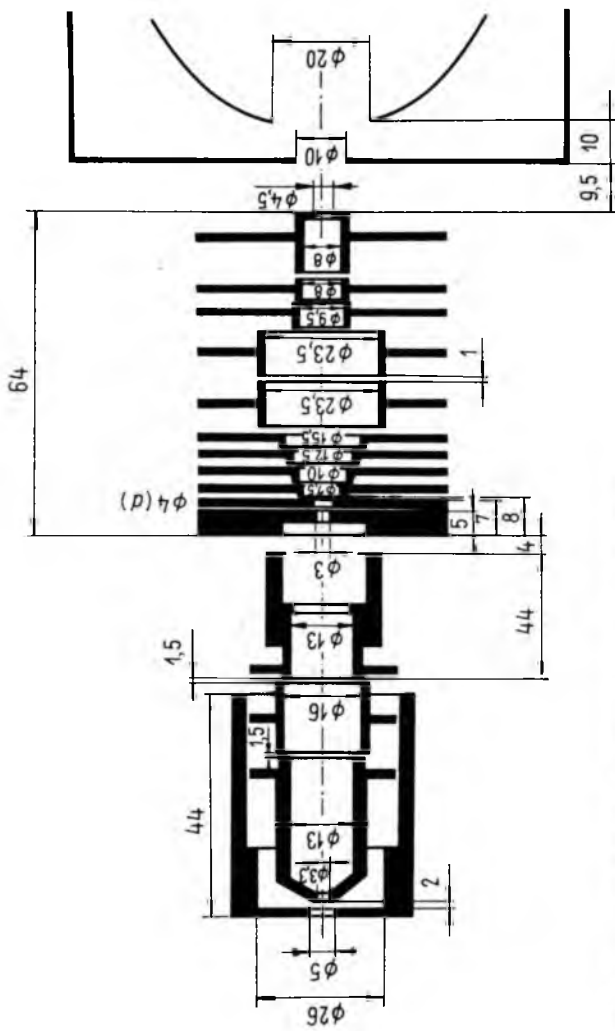
A következőkben arról a munkáról számolunk be, amelyet 15 eV energiájú oxigénionokkal végeztünk. Az oxigénionoknak szilárd szénrel, azaz grafittal való töltött kölcsönhatási termékeinek energiaeloszlását vizsgáltuk. E vizsgálat célja ugyanaz volt, mint az előző [1], vagyis a feltételezett C + O⁺ reakcióból származó CO⁺ ionok járulékos translációs energiájának kimutatása, ill. tanulmányozása.

Erre a célra az előzőekben [1] részletesen leírt berendezésünket használtuk, a következő módosításokkal: Kistemaker-féle ionforrásból származó 150 eV energiájú ionokat 50 eV-ra lassítottunk le egy 11-elemes fékezőlencsével, amelyet Gustafsson és Lindholm írtak le először [2]. További 40 eV energiacsökkenést értünk el a detektálógömb Faraday-féle árnyékolásával és így a targeten 10...15 eV beeső ionenergiát értünk el.

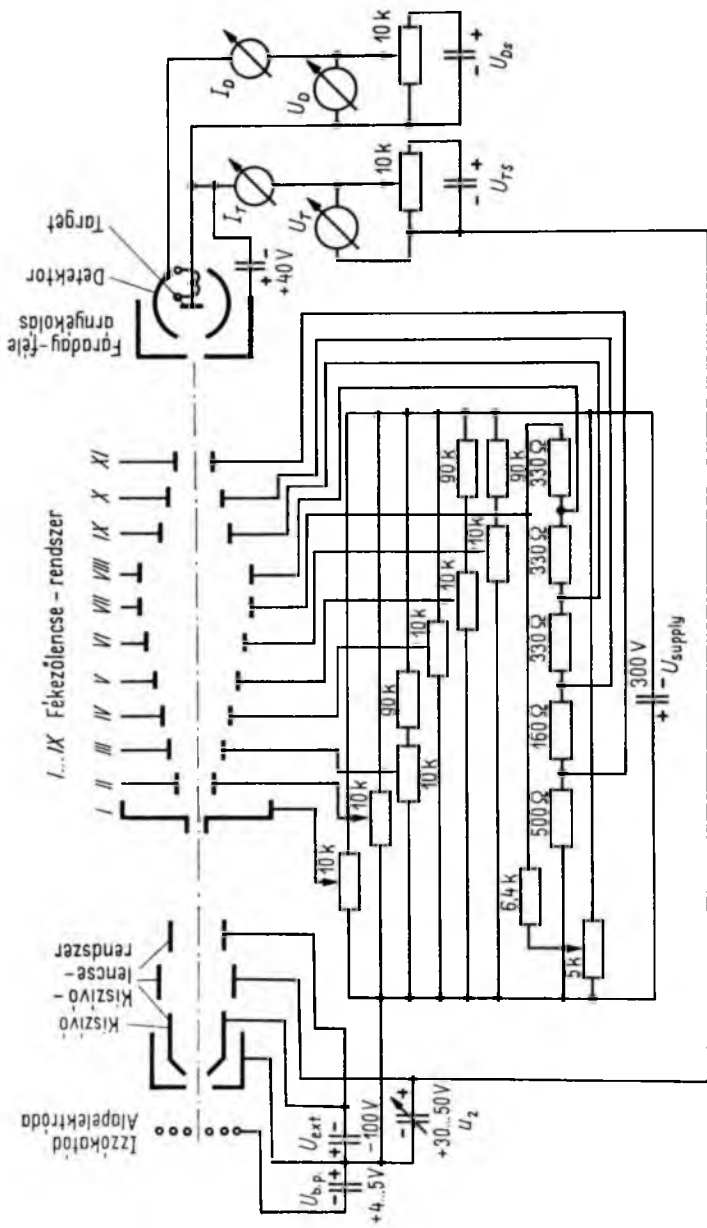
Csupán a kiszívóelektródot és a 11-elemes fékezőlencsét használva, csak 1...5 nA ionáramot kaptunk, ezért a kiszívóelektródot egy háromelemes lencserendszerrel helyettesítettük. Ezzel a tökéletesítéssel 40...50 nA beeső ionáramot és 1...5 nA visszaszórt ionáramot értünk el, 15 eV energián. Azért volt szükséges a beeső ionoknak a detektor árnyékolásával való fékezése is, mivel a 11-elemes fékezőlencse a rajta áthaladó ionok energiáját legfeljebb a kiszívóelektróda potenciáljának megfelelő energiával tudta csökkenteni. Az ionforrásból kiáramló ionok energiaszórása kb. 30 eV, ennek a szórási intervallumnak a súlypontját tudtuk a fékezőfeszültséggel, 40 V-tal lejjebb tolni.

A módosított berendezés geometriai elrendezése a 13-1. ábrán látható.

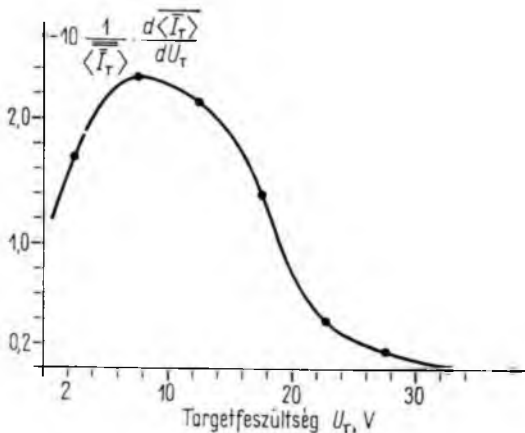
A mérés villamos kapcsolása a 13-2. ábrán látható. A 13-3. ábrán a különféle targeteken mért beeső oxigénionok átlagolt energiaeloszlását tüntettük fel. A 13-4. ábrán a meleg platina targetekről visszaszórt ionok átlagolt energiaeloszlása, a 13-5. ábrán pedig a meleg szilárd széntargetekről visszaszórt ionok átlagolt energiaeloszlása látható.



13-1. ábra. A kiszívó- és fékezőlense geometriai elrendezése

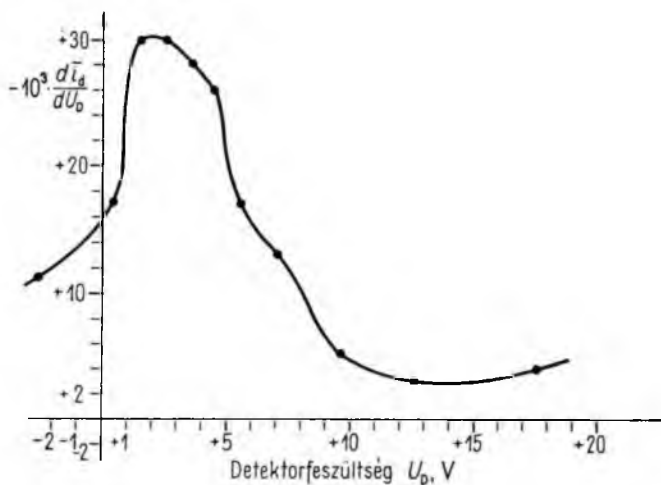


13-2. ábra. A mérés teljes villamos kapcsolása



13-3. ábra. Beeső ionok energiaeloszlása

(nagy hőmérsékletű szilárd szén és platina targeteken mérve, a N° 19–82 számú mérések alapján); $T = +300 \dots 600 \text{ }^\circ\text{C}$ között

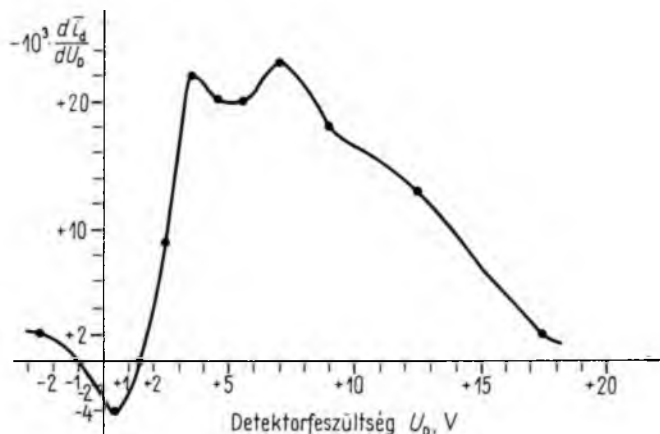


13-4. ábra. A visszaszórt pozitív ionok energiaeloszlása, nagy hőmérsékletű platina targeteken mérve

(N° 41-76 számú mérések alapján); $T = +300 \dots 600 \text{ }^\circ\text{C}$ között

A 15 eV-os és az 50 eV-os beeső energiájú ionokkal végzett számítások között a lényeges különbség a következő volt: az utóbbi esetben a mért visszaszórt ionáramot egy pozitív és egy negatív részáramra kellett szétbontani. A 15 eV-os esetben erre már nem volt szükség, minthogy a negatív töltésű részecskék visszaszórási árama elhanyagolható.

Ezt nyilvánvalóan az a 15 eV-os beeső ionenergia okozta, amely már nem volt elég nagy ahhoz, hogy mérhető szekunderelektron-áramot hozzon létre. Érdekes megjegyezni, hogy a visszaszórási energiának kb. 2 eV-tal kisebb csúcsát kaptuk a platínáról, mint a grafittargetről. Véleményünk szerint ez a grafittargetnél kémiai reakció



13-5. ábra. A visszazört pozitív ionok energiaeloszlása nagy hőmérsékletű szilárd szén targeteken mérve

(N^o 31-40 számú mérések átlaga alapján);
 $T = +300 \dots 600 \text{ } ^\circ\text{C}$ között

jellegre utal. A mérések kifogástalan kiértékelésénél problémát okozott egyrészt az ionforrás viszonylagosan nagy energiaszórása, másrészt pedig a tömegszelekció hiánya és végül, hogy a nyomás a mérőkamrában csak $10^{-5} \dots 10^{-6}$ torr közötti volt.

A 13-5. ábrán egy érdekes jelenség látható, nevezetesen a „negatív” csúcs, a detektorfeszültség (U_D) a skála elején. Ez a jelenség a részecskeáram megnövekedését mutatja (ez azért van így, mert az ábrán a detektoráram negatív deriváltját tüntettük fel), amit nem mutattak az előző 50 eV-os mérések. Az U_D detektorfeszültségben ez a lefelé mutató csúcs azt jelenti, hogy a fékező detektorfeszültségek tartományába átlépve, a meleg szilárd széntargetekről való visszazórásnál a detektoráram hirtelen egy kissé megnőtt -1 V és $+1 \text{ V}$ detektorfeszültségek között. Ez a jelenség a platínáról való visszazórásnál nem jeletkezett. A növekedés oka több mechanizmus is lehet. Jelenleg azonban erre megnyugtató választ adni nem lehet. Mindenesetre az irodalom szerint felületi reakciók elképzelhetők termikus és hipertermikus energiákon. Minthogy a beeső ionnyaláb átlagos kinetikus energiája kb. 15 eV, meg lehetett figyelni, hogy a beeső ionok intenzitása az ennél jóval kisebb energiáknál is még igen jelentős. Így lehetséges, hogy e kis energiájú rész reaktív szórása szerepet játszik ebben a jelenségben. Szerintünk ez feltétlenül a szén aktív szerepére utal, mert ugyanezzel az ionforrással platina target esetén ez a jelenség sohasem fordult elő. Talán egy másik lehetőség, a szilárd széntargetről a szorbeált réteg lebombázása, amelynek egy része, mint kis energiájú ion jelenik meg.

Mindenesetre — ha fenntartásokkal is — azt mondhatjuk, hogy a meleg széntargetről a kis energiájú oxigénionok visszazórási energiája határozottan nagyobb, mint a meleg platina targetről visszazórt oxigénionoké.

Véleményünk szerint, ezt az energianövekedést az ionizált oxigén—szén kémiai reakcióenergia translációs hányadának lehet tulajdonítani.

Irodalom

- [1] Dr. J. Lukács—P. Gadányi: Acta Technica Hungarica. 85 (3—4) 1978.
- [2] Atomic and molecular processes. Ed. by D. R. Bates 1962. Academic Press. New-York and London. p. 705.
- [3] Dr. Antal János professzor még nem publikált elmélete és közlései.

FÉLVEZETŐ-, VILLAMOS ÉS HŐTECHNOLÓGIÁK

14.

Korszerű hűtés alkalmazása a teljesítményelektronika területén

MOLNÁR ISTVÁN—SZTRÓKAY ISTVÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

A teljesítményelektronikában kulcsfontosságú kérdés a disszipált hőmennyiségek alacsony hőgradiensben való elvezetése. E feladatot hőcsövek alkalmazásával kedvező helykihasználás mellett lehet megoldani. Megfelelő közvetítőanyag kiválasztása és optimális geometrikus elrendezés esetén az alkalmazott egy- és többretegű félvezető teljesítményelemek statikus és dinamikus paraméterei jobban kihasználhatók. Korszerű hűtés alkalmazásának fő eredménye, hogy a berendezésekben elhagyható a meghibásodási lehetőséget tartalmazó kényszerkeréngető rendszer.

Kényszerhűtés nélkül természetes hűtés alkalmazásával lehetségessé válik a nagy teljesítményű egyenirányító, illetve átalakítók fajlagos típus teljesítményének növelése. A hőcsövek esetleges meghibásodását erre a célra kifejlesztett elektronika jelzi.

Az új hűtési elv alkalmazásával egyenirányító berendezés készült a VBKM Anód Áramirányító Gyárral kooperációban.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В ОБЛАСТИ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

И. Мольнар—И. Стрoкay

Резюме

В силовой электроники особенно важным вопросом является отвод выделенного тепла при обеспечении небольшого температурного градиента. Эта задача может решиться с применением тепловых трубок с хорошим использованием места. В случае соответственного выбора рабочей среды и обеспечения хорошей геометрии, позволяет лучше использовать статические и динамические параметры примененных мощных одно- или многослойных полупроводниковых элементов. Важным результатом применения современного охлаждения является то, что в оборудовании можно исключить систему принудительной циркуляции, несущую собой возможность появления повреждений.

Таким образом, исключив принудительное охлаждение с применением естественного охлаждения возможно увеличить удельную типовую мощность силовых выпрямителей и преобразователей. Повреждение тепловых трубок защищается электронной частью, разработанной специально для этой цели.

На основе нового принципа охлаждения, в кооперации с заводом «Анод-Преобразователи Тока» треста ВБKM было изготовлено выпрямительное оборудование для применения.

ANWENDUNG DER ZEITGEMÄSSEN KÜHLUNG AUF DEM GEBIET DER LEISTUNGSELEKTRONIK

I. Molnár — I. Sztrókaý

Zusammenfassung

In der Leistungselektronik ist die wichtigste Frage die Abführung der dissipierten Wärme auf niedrigem Wärmegradienten. Diese Aufgabe kann durch Anwendung von Wärmehöhren bei günstiger Platzausnützung gelöst werden. Bei Auswahl des entsprechenden

Vermittlungsstoffes und bei der geometrischen Anordnung können die statischen und dynamischen Parameter der angewandten ein — und mehrschichtigen Halbleiter-Leistungselemente besser ausgenutzt werden. Das Hauptergebnis der Anwendung der zeitgemässen Kühlung besteht darin, dass in den Einrichtungen das die Beschädigungsmöglichkeit enthaltende Zwangsumlaufsystem vernachlässigt werden kann.

Ohne Zwangskühlung natürliche Kühlung anwendend wird es möglich, die spezifische Typenleistung der Hochleistungs Gleichrichter bzw. Umwandler zu erhöhen. Das Signal der eventuellen Beschädigung der Wärmeröhren wird von der zu diesem Zweck entwickelten Elektronik durchgeführt.

Mit der Anwendung des neuen Kühlungsprinzips wurde — in Kooperation mit der VBKM Anód Áramirányító Fabrik — ein Gleichrichter-Einrichtung verfertigt.

APPLICATION OF THE UP-TO-DATE COOLING IN THE FIELD OF THE POWER ELECTRONICS

By I. Molnár — I. Sztrókay

Summary

In the power electronics the conduction of the dissipated heat at low heat gradient is of great importance. This task can be solved by using heat pipes at favourable space utilization. In case of the selection of adequate intermediate material and in that of geometrical arrangement the static and dynamic parameters of the used single- and multilayer semiconductor power elements can be better utilized. The main result of the application of an up-to-date cooling lies in the circumstance that the forced circulating system including the failure possibility can be neglected in the equipments.

Without forced cooling, by using natural cooling it will be possible to increase the specific type power of the high-power rectifier and the converters. The possible failure of the heat pipes is signalled by the electronics developed for this purpose.

By using a new cooling principle a rectifier equipment was made in cooperation with VBKM Anód Áramirányító Factory.

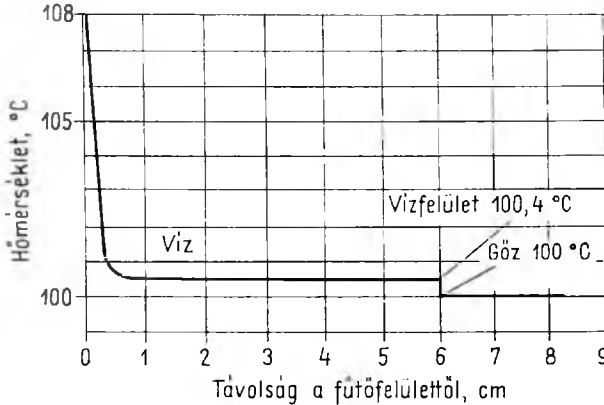
A teljesítményelektronikában alkalmazott egy- vagy többretegű félvezető elemek terhelhetősége ma már eléri a 10^3 A nagyságrendet és ennek megfelelően ugyanilyen nagyságrendbe esik egyetlen félvezető elemen keletkezett veszteségi teljesítmény (hőáram) is. Ez a tény a hűtéseknel is komoly követelményeket vet fel és a korábban alkalmazott kényszerhűtésű hűtőtöncök mellett folyadékűtések, sőt elpárolgató hűtőrendszerek alkalmazását is igényelte. Mind a kényszerhűtésű hűtőtöncök, mind pedig a folyadékűtések alkalmazása mozgó alkatrészeket tesz szükségessé a teljesítményelektronikai egységben, ugyanakkor a folyadékűtés alkalmazása még szigeteléstech-nikai problémákat is felvet. Mindkét felsorolt nehézséget kiküszöböli az elpárolgató hűtés elvén alapuló hőcsöves hűtés, aminek egy speciális alkalmazását ismerteti ez a cikk.

A hőcső közismerten csőszerűen kiképzett, vákuumba szívott zárt tér, amiben a hőközlés oldalán folyadék helyezkedik el. A folyadék elpárolgatótásakor keletkezett gőz a hőcső másik végén elhelyezett hőelvonó hűtés révén kondenzálódik és általában gravitációs úton visszacsurog a folyadéktérbe. A forrásban levő folyadéknál, illetve a lecsapódó gőznél a hőtadás folyamata a közeg halmazállapotának változásával jár együtt, és ez a körülmény ezt a hűtési módot mereven elválasztja az egyfázisú folyadékáramlásos hőcserélőktől.

A cikk a későbbiekben a hőcsöves hűtés rövid működési elméletét ismerteti, illetve kitér a VBKM Anód Áramirányító Gyárban vontatási célra készült 2400 A névleges terhelhetőségű és 825 V névleges feszültségű egyenirányító berendezéshez a VKI-ban kifejlesztett hőcsöves hűtés ismertetésére.

1. A forrásban levő folyadék vizsgálata

A forrás jellemző tulajdonsága a gőzképződés, amely a t_s telítettségi hőmérsékleten jön létre és függvénye a mindenkori nyomásnak. A telítettségi hőmérséklet nem egyenlő a forrási hőmérséklettel, mivel a folyadék mindig túlhevített állapotban van (t_w). A folyadék és a gőz közötti határfelületen mindig van hőmérséklet-különbség, amelyet a folyadék fizikai tulajdonságai és a gőzképződés mértéke határoz meg. Ez a különbség víz esetén a vízfelület és a gőz között atmoszferikus nyomáson kb. $0,5\text{ }^\circ\text{C}$. A folyadékfelülettől a melegített felület felé haladva a hőmérséklet alakulását a 14-1.



14-1. ábra. Forrásban levő víz hőmérséklete a melegítő felülettől mért távolság függvényében

ábra mutatja. A forrásban levő víz hőmérséklete gyakorlatilag állandónak tekinthető, kivéve a melegített felület menti 2...3 mm-es réteget. Ebben a rétegben a víz túlhevített (t_w) és a forrási (t_s) hőmérsékletéhez mért különbsége $\Delta t = (t_w - t_s)$ függ a fűtőfelület q hőterhelésétől ($\text{kcal/m}^2 \text{ h}$). A gőz tehát azokon a pontokon fejlődik a legintenzívebben, ahol Δt a legnagyobb. Δt növekedésével a gőzképződés központjának Z száma növekszik, és a forrás folyamata intenzívebbé válik. Ezt az összefüggést a gőz és a folyadékhatár felületén létrejövő σ felületi feszültség határozza meg [1].

$$\sigma = c(\gamma' - \gamma'')^4 \quad \text{kg/m},$$

ahol γ' a folyadék fajsúlya;

γ'' a gőz fajsúlya (telítettségi hőmérsékleten);

c arányossági tényező.

$20\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten a víz felületi feszültsége $\sigma = 0,00745 \text{ kg/m}$, a benzolé $\sigma = 0,00294 \text{ kg/m}$, az etilalkoholé $\sigma = 0,00227 \text{ kg/m}$. Víz esetén a képlet egyszerűsíthető:

$$\sigma = 0,00714 \left(\frac{\gamma' - \gamma''}{1000} \right) \quad \text{kg/m}.$$

A felületi feszültség következtében a gőzbuborékokon belüli p_1 nyomás nagyobb, mint a folyadék p nyomása. Egyensúlyi feltételek között a Laplace-egyenlet [1] alapján:

$$p_1 - p = \vartheta_p = \frac{2\sigma}{\varrho} \quad \text{kg/m}^2,$$

ahol ϱ a buborék görbületi sugara.

A gőzbuborék keletkezése és növekedése csak abban az esetben válik lehetségessé, ha: $\vartheta_p > \frac{2\sigma}{\varrho}$ és a buborék keletkezésének pillanatában a görbületi sugár nem egyéb, mint a gőzképződési középpontonként fellépő érdességi domborulat ϱ_0 sugara. Ez a ϱ_0 érték, mint minimum határozható meg a hőátadó felület felületnövelésének alsó határaként. Ha a nyomáskülönbséget és Δt értékét figyelembe vesszük, akkor a ϱ_0 minimális értéke:

$$\varrho_{0 \min} = \frac{2\sigma}{\vartheta_p \Delta t}$$

formában határozható meg. Ez az érték a gyakorlatban víz esetére 10^{-3} mm nagyságrendbe esik.

A létrejött gőzbuborékok gyorsan növekednek és egy meghatározott nagyság elérése után elszakadnak a felületről és felemelkednek; 1 atmoszféra nyomásnál kb. 0,25 m/s sebességgel. A gőzbuborékok nagysága függ a felületi feszültségtől és a környező folyadék áramlási sebességétől, valamint attól, hogy a folyadék a hőközlő felületet nedvesíti-e vagy nem.

A folyadék nedvesítő tulajdonságát a fal és a folyadék szabad felülete között keletkező α illeszkedési szög határozza meg. Ha $\alpha < 90^\circ$, akkor a folyadékot úgy tekintjük, amely nedvesíti a felületet. Ilyen pl. a nyersolaj ($\alpha = 26^\circ$), a víz ($\alpha = 50^\circ$) stb. Nem nedvesíti a felületet a higany ($\alpha = 137^\circ$).

A kapillaritás elmélete [1] alapján a gőzbuborékok elszakadási átmérőjét víz esetén a következőképpen lehet kifejezni:

$$d_0 = 2,67 \sqrt{\frac{\gamma' - \gamma''}{10^3}} \quad \text{mm},$$

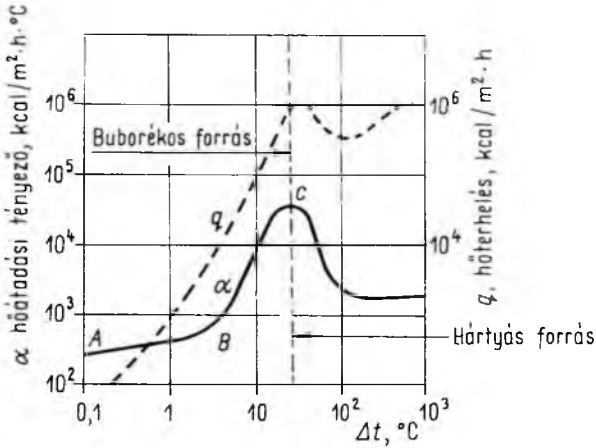
$$t_s = 100^\circ \text{C} \text{ esetén: } \gamma' = 958 \text{ kg/m}^3; \quad \gamma'' = 0,58 \text{ kg/m}^3 \quad \text{és} \quad d_0 = 2,5 \text{ mm}.$$

A képletből következik, hogy a nyomás növekedésével a gőzbuborékok elszakadási átmérője csökken.

Ha a forrásban levő folyadék a fűtőfelületet nedvesíti, akkor mintegy alámossa a gőzbuborékokat és így azok könnyen elszakadnak a felülettől. Abban az esetben, ha a folyadék nem nedvesíti a hőközlő felületet, a gőzképződés az egész felületen bekövetkezik és a gőz hártya alakjában jön létre. Mivel a forrásban levő folyadék t_f hőmérséklete magasabb a telítési hőmérsékletnél, a folyadék és buborék között intenzív hőcsere megy végbe, aminek következtében a gőzbuborékok növekedése folytatódik a felülettől való elszakadása után is. A felemelkedés hosszától és a túlhevítettség mértékétől függően ez a buborékátmérő tízszeresére is nőhet. A felülettől közvetlenül a gőz felé irányuló hőátadás csupán a buborék növekedési periódusában lehetséges egészen az elszakadásig. A buboréknak a fallal való kis érintkezési felülete és a gőz

kisméretű hővezetése következtében ebben a periódusban csak kis mennyiségű hő adódik át. A forrásban levő folyadékokban a hőátadás hasonlóan megy végbe, mint a változatlan halmazállapotú folyadékok esetén, csak itt a buborékképződés intenzív áramlást eredményez.

A forrás pontosabb vizsgálata alapján kétféle forrási állapot különböztethető meg, a buborékos és hártvás állapot. A két állapot jól szemléltethető a 14-2. ábrán. Az ábrán látható az α hőátadási tényező összefüggése a Δt hőmérséklet-különbséggel,



14-2. ábra. A hőátadási tényező és a hőterhelés Δt függése

logaritmikus koordinátákban. Az AB tartományban kis hőmérséklet-különbségek és kis hőterhelések esetén a hőátadási tényező értékei kicsik, így ezek az értékek megfelelnek az egyfázisú folyadékok szabad áramlására jellemző értékeknek. A víz normális légköri nyomásnál való forrása esetén ez a terület a $\Delta t = 5^\circ\text{C}$ hőmérséklet-különbség és ennek megfelelően a $q = 5000 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ hőterhelés tartományára korlátozódik. A BC tartományban a hőátadás intenzitását a folyadékoknak a gőzbuborékok növekedése és mozgása következtében keletkező áramlása határozza meg. Ekkor a Δt hőmérséklet-különbség növekedésekor az α hőátadási tényező gyorsan nő és igen nagy értékeket ér el. Mivel e szakaszra az intenzív buborékképződés a jellemző, ezért ezt a tartományt „buborékos állapotnak” nevezzük. A BC tartomány az $5 \dots 25^\circ\text{C}$ -ig terjedő hőmérséklet-különbségre és az $5 \cdot 10^3 \dots 1 \cdot 10^6 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ hőterhelésre korlátozódik. Ebben az esetben a hőátadási tényező $40\,000 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$ értéket érhet el. A BC tartomány C pontja az ún. kritikus hőterhelés. E ponthoz tartozó érték fölé elelve a hőterhelést, az α hőátadási tényező meredeken csökken és az eddig kedvező viszonyok gyorsan romlanak.

Pár anyagra a kritikus hőterhelés értékei a következők :

	$q_{\text{krit}}, \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$
víz	$1000 \cdot 10^3$
alkohol	$520 \cdot 10^3$
benzol	$380 \cdot 10^3$

A telített vízgőz paramétereit
Mollier-táblázat

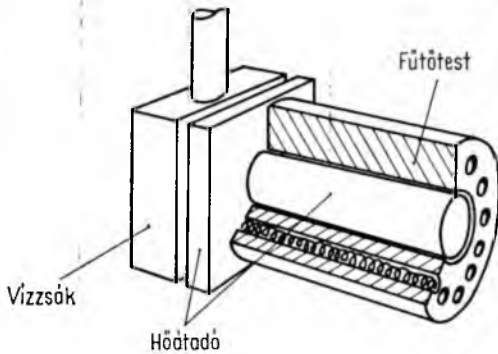
Nyomás p , absz. at.	Telített gőz hőmér- séklete t , °C	Gőz térfogata v'' , m ³ /kg	Entrópia		Melegtartalom		Párolgás- hő ($i' - i''$) r cal/kg
			folyadék	gőz	folyadék	gőz	
			s' , cal/°kg	s'' , cal/°kg	i' , cal/kg	i'' , cal/kg	
0,01	6,6	131,6	0,0239	2,1395	6,6	598,0	591,4
0,015	12,7	89,64	0,0453	2,1048	12,7	600,9	588,2
0,02	17,1	68,27	0,0609	2,0803	17,1	602,9	585,8
0,025	20,7	55,28	0,0732	2,0614	20,7	604,6	583,9
0,03	23,7	46,53	0,0833	2,0460	23,7	606,0	582,3
0,04	28,6	35,46	0,0996	2,0219	28,6	608,2	579,6
0,05	32,5	28,73	0,1125	2,0032	32,5	610,0	577,5
0,06	35,8	24,19	0,1232	1,9880	35,8	611,5	575,8
0,08	41,1	18,45	0,1403	1,9642	41,1	614,0	572,8
0,10	45,4	14,96	0,1539	1,9458	45,4	615,9	570,5
0,12	49,0	12,60	0,1652	1,9308	49,0	617,6	568,5
0,15	53,6	10,22	0,1792	1,9126	53,6	619,6	566,0
0,20	59,7	7,797	0,1976	1,8892	59,7	622,3	562,7
0,25	64,6	6,325	0,2122	1,8712	64,6	624,5	559,9
0,30	68,7	5,331	0,2244	1,8567	68,7	626,3	557,6
0,35	72,3	4,614	0,2348	1,8441	72,3	627,8	555,6
0,40	75	4,072	0,2439	1,8334	75,4	629,2	553,8
0,50	80,9	3,304	0,2595	1,8156	80,9	631,5	550,6
0,60	85,5	2,785	0,2723	1,8011	85,5	633,4	548,0
0,70	89,5	2,411	0,2834	1,7889	89,5	635,1	545,6
0,80	93,0	2,128	0,2931	1,7783	93,0	636,5	543,6
0,90	96,2	1,906	0,3018	1,7690	96,2	637,8	541,7
1,0	99,1	1,727	0,3096	1,7607	99,1	639,0	539,9
1,1	101,8	1,580	0,3168	1,7532	101,8	640,1	538,3
1,2	104,2	1,457	0,3235	1,7464	104,3	641,1	536,7
1,3	106,6	1,352	0,3297	1,7401	106,7	642,0	535,3
1,4	108,7	1,261	0,3354	1,7343	108,9	642,8	533,9
1,5	110,8	1,182	0,3408	1,7289	110,9	643,6	532,7
1,6	112,7	1,113	0,3460	1,7238	112,9	644,3	531,4
1,8	116,3	0,997	0,3554	1,7146	116,6	645,7	529,1
2,0	119,6	0,903	0,3639	1,7063	119,9	646,9	527,0
2,2	122,6	0,826	0,3717	1,6988	123,0	648,0	525,0
2,4	125,5	0,7616	0,3789	1,6920	125,8	649,0	523,1
2,6	128,1	0,7066	0,3856	1,6857	128,5	649,9	521,4
2,8	130,5	0,6592	0,3919	1,6799	131,0	650,8	519,7
3,0	132,9	0,6180	0,3977	1,6745	133,4	651,6	518,1
3,2	135,1	0,5817	0,4033	1,6694	135,7	652,3	516,6

14 – 1. táblázat folytatása 1.

Nyomás p , absz. at.	Telített gőz hőmér- sége t , °C	Gőz térfogata v'' , m ³ /kg	Entrópia		Melegtartalom		Párolgás- hő ($i' - i''$) r , cal/kg
			folyadék	gőz	folyadék	gőz	
			s' , cal/°kg	s'' , cal/°kg	i' , cal/kg	i'' , cal/kg	
3,4	137,2	0,5495	0,4085	1,6646	137,8	653,0	515,2
3,6	139,2	0,5208	0,4135	1,6601	139,9	653,7	513,8
3,8	141,1	0,4951	0,4182	1,6558	141,8	654,3	512,4
4,0	142,9	0,4718	0,4227	1,6518	143,7	654,9	511,1
4,5	147,2	0,4224	0,4333	1,6425	148,1	656,2	508,0
5,0	151,1	0,3825	0,4428	1,6341	152,2	657,3	505,2
5,5	154,7	0,3497	0,4515	1,6265	155,9	658,4	502,5
6,0	158,1	0,3222	0,4596	1,6195	159,4	659,3	499,9
6,5	161,2	0,2987	0,4671	1,6131	162,7	660,2	497,5
7,0	164,2	0,2785	0,4742	1,6071	165,7	660,9	495,2
7,5	167,0	0,2609	0,4808	1,6015	168,7	661,7	493,0
8,0	169,6	0,2454	0,4870	1,5962	171,4	662,3	490,9
8,5	172,1	0,2317	0,4929	1,5913	174,0	662,9	488,8
9,0	174,5	0,2195	0,4985	1,5866	176,6	663,4	486,8
9,5	176,8	0,2085	0,5038	1,5822	179,0	663,9	484,9
10	179,0	0,1985	0,5090	1,5778	181,3	664,4	483,1
11	183,2	0,1813	0,5186	1,5699	185,7	665,2	479,5
12	187,1	0,1668	0,5275	1,5625	189,8	665,9	476,1
13	190,7	0,1545	0,5358	1,5556	193,6	666,6	472,8
14	194,1	0,1438	0,5435	1,5493	197,3	667,0	469,7
15	197,4	0,1346	0,5508	1,5432	200,7	667,4	466,7
16	200,4	0,1264	0,5577	1,5375	204,0	667,8	463,8
17	203,4	0,1192	0,5643	1,5321	207,1	668,1	460,9
18	206,2	0,1128	0,5705	1,5270	210,1	668,3	458,2
19	208,8	0,1070	0,5764	1,5220	213,0	668,5	455,5
20	211,4	0,1017	0,5821	1,5173	215,8	668,7	452,9
22	216,2	0,0927	0,5928	1,5084	221,0	668,9	447,9
24	220,8	0,0850	0,6026	1,5001	226,0	669,0	443,0
26	225,0	0,0785	0,6119	1,4923	230,6	669,0	438,4
28	229,0	0,0729	0,6205	1,4850	235,0	668,8	433,9
30	232,8	0,06802	0,6287	1,4780	239,1	668,6	429,5
32	236,4	0,06372	0,6364	1,4713	243,1	668,3	425,2
34	239,8	0,05991	0,6437	1,4650	246,9	668,0	421,1
36	243,1	0,05651	0,6507	1,4589	250,5	667,6	417,0
38	246,2	0,05345	0,6573	1,4530	254,1	667,1	413,0
40	249,2	0,05069	0,6637	1,4474	257,4	666,6	409,2
42	252,1	0,04817	0,6698	1,4418	260,7	666,0	405,3
44	254,9	0,04588	0,6757	1,4365	263,9	665,5	401,6
46	257,6	0,04378	0,6813	1,4314	266,9	664,8	397,9
48	260,2	0,04185	0,6868	1,4264	269,8	664,1	394,3

14—1. táblázat folytatása 2.

Nyomás p , absz. at.	Telített gőz hőmér- sége t , °C	Gőz térfogata v'' , m ³ /kg	Entrópia		Melegtartalom		Párolgás- hő ($i'' - i'$) r cal/kg
			folyadék	gőz	folyadék	gőz	
			s' , cal/°kg	s'' , cal/°kg	i' , cal/kg	i'' , cal/kg	
50	262,7	0,04007	0,6921	1,4215	272,7	663,4	390,7
55	268,7	0,03616	0,7046	1,4098	279,6	661,5	381,9
60	274,3	0,03289	0,7162	1,3987	286,1	659,5	373,5
65	279,6	0,03009	0,7270	1,3882	292,2	657,5	365,3
70	284,5	0,02769	0,7371	1,3781	298,0	655,3	357,3
75	289,2	0,02559	0,7467	1,3684	303,5	653,0	349,5
80	293,6	0,02374	0,7557	1,3591	308,8	650,6	341,8
85	297,9	0,02210	0,7645	1,3501	313,9	648,1	334,2
90	301,9	0,02064	0,7731	1,3413	319,0	645,6	326,7
95	305,8	0,01933	0,7813	1,3328	323,9	643,0	319,2
100	309,5	0,01815	0,7893	1,3245	328,7	640,5	311,8
110	316,5	0,01609	0,8049	1,3087	338,1	635,1	297,0
120	323,1	0,01437	0,8198	1,2935	347,3	629,7	282,4
130	329,3	0,01290	0,8342	1,2789	356,4	624,2	267,8
140	335,0	0,01164	0,8483	1,2649	365,3	618,6	253,3
150	340,5	0,01054	0,8622	1,2514	374,1	612,9	238,8
160	345,7	0,00956	0,8754	1,2372	383,4	606,3	222,8
180	355,4	0,00782	0,9044	1,2079	401,9	592,6	190,7
200	364,2	0,00614	0,9404	1,1715	425,6	572,8	147,3
225	374,0	0,00310	1,0558	1,0558	501,1	501,1	0



14-3. ábra. Egyfőrhelyes vízszák ellenállásfűtésének vázlatja

A hőmérséklet növekedésével a q_{krit} értéke növekszik és egy maximális érték elérése után erősen csökken.

A telített vízgőzzel kapcsolatos összes szükséges paramétert összefoglaló ún. Mollier-féle gőztáblázatot [2] a 14-1. táblázatban mellékeljük.

1.2 A hőátadás különböző tényezőktől való függése

A folyadék minőségének hatása

A különböző folyadékoknak a hőátadás-intenzitása forrás esetében különböző. Ezt a különbséget a folyadék fizikai jellemzői határozzák meg. Bármelyik fizikai jellemző hatását a többitől függetlenül nem lehet meghatározni, de az egyes tényezők és a jellemzők általánosítása alapján a folyamat leírható. Az előzőkből következik, hogy a hőátadás intenzitására a legnagyobb hatást a fűtőfelület hőterhelése, a forrásban levő folyadék fajsúlya és hővezetési tényezője gyakorolja. Mindezek a következtetések csupán a fűtőfelületet nedvesítő folyadékokra érvényesek. Ha a folyadék nem nedvesíti a felületet, akkor a forrás folyamata más összefüggések alapján megy végbe. Ebben az esetben az egész fűtőfelületen képződik gőz és hártya formájában jön létre. A gőzhártya nagy termikus ellenállásának következtében a hőátadás intenzitása jelentéktelen. Ez esetben nem használhatók ki a fázisváltozás adta hőszállítási lehetőségek.

A felület alakjának és méretének hatása

A fűtőfelület alakja és méretei, valamint a folyadékrétegnek a fűtőfelület feletti magassága a hőátadás intenzitására gyakorlatilag nincsenek hatással, ha a fűtőfelületnek és a folyadékréteg magasságának méretei nagyobbak a gőzbuborékok elszakadási átmérőjénél (kb. 4...6 mm-nél). Ebből kifolyólag a hőátadást és gőzképződést elősegítő bordák lehetőleg 4...6 mm-nél nagyobbak legyenek.

Gázok kiválásának hatása

Melegítéskor megindul buborékok formájában a gázok heves kiválásának folyamata. Forrás esetén, amikor a falak mentén a folyadék túlhevül, a gőzbuborékok gőzképződési középpontokká válnak. Ennek következtében a gőzképződés folyamata igen intenzív. Az oldott gázok kiválása után a gőzképződési intenzitás csökken és egy kisebb értéken állandósul. Ebben az esetben a gőzképződési központok számát és ennek következtében a hőátadás intenzitását magának a fűtőfelületnek az állaga határozza meg.

A fűtőfelület anyagának hatása

A fűtőfelület anyagának, amennyiben őt a töltő folyadék nedvesíti, a gőzképződés szempontjából nincs jelentősége. Az egész folyamat stabilitása és a kész berendezés időállósága érdekében tekintettel kell lenni az anyagok egymás közötti korrózió hatására.

A felület érdességének hatása

Mivel az érdesség egyenetlenségei gőzbuborékok keletkezési helyei, ezért a melegített felület érdessége meghatározza a gőzképződési középpontok számát. Azonos hőmérséklet-különbségek esetén a forrás érdes felületeken intenzívebben megy végbe, mint sima felületeken.

A fenti szempontok betartása lényeges a hőcsöves hűtés ún. vízszákjainak kialakításánál.

2. Hőátadás gőzök kondenzációja esetén

Ha a gőz olyan fallal érintkezik, amelynek hőmérséklete alacsonyabb a telítettségi hőmérsékletnél, akkor a gőz lecsapódik és a folyadék a falhoz tapad. Kétféle kondenzációt szokás megkülönböztetni. Hártás és cseppek lecsapódást. Cseppek lecsapódás

csupán abban az esetben lehetséges, ha a csapadék nem nedvesíti a hűtőfelületet. Előfordulhat vegyes lecsapódás is. Az esetek többségében hártvás lecsapódás figyelhető meg, különösen nagyobb gőzsebességek esetén.

Mindezek alapján részletesebben a hártvás lecsapódás folyamatával célszerű foglalkozni. A gőz lecsapódásánál szabaddá váló összes hőmennyiség a csapadékhártván át jut el a falhoz. Ha a folyadékhártvában az áramlás lamináris, akkor a hőátvitel rajta keresztül csupán hővezetés útján következhet be. Ha a fallal érintkező csapadékrezecskék hőmérséklete egyenlő a fal t_w hőmérsékletével, a gőzzel érintkező részecskék hőmérséklete pedig a gőz t_s lecsapódási hőmérsékletével, továbbá a csapadék hővezetési tényezője λ és a réteg vastagsága ϑ_x , akkor a felületegységnek átadott hőmennyiség a Newton-képlet [3] alapján:

$$q_x = \frac{\lambda}{\vartheta_x} (t_s - t_w) \quad \text{kcal/m}^2 \text{ h.}$$

Ha az átadott q_x hőmennyiséget osztjuk az r párolgási hővel, megkapjuk a létrejött csapadék mennyiségét:

$$G_x = \frac{q_x}{r} = \frac{\lambda}{\vartheta_x} \cdot \frac{1}{r} (t_s - t_w) \quad \text{kg/m}^2 \text{ h.}$$

Hőcsöves hűtés esetén a meghatározott hőmennyiséget kényszer-, illetve természetes hűtéssel kell elvezetni, illetve a lecsapódott folyadékot visszavezetni a hőcsövek alján elhelyezkedő vízsákba.

2.1 Gőzáramlás és lecsapódás különböző tényezőktől való függése

A gőzáramlás sebességének és irányának hatása

Az ismertetett képletek csak abban az esetben érvényesek, hogyha a gőzáramlás, illetve a felületek kialakítása olyan, hogy nem okoz turbulens áramlást. Turbulens áramlás esetén a számítások [1] nagymértékben komplikálttá válnak.

A felület minőségének hatása

A gőzlecsapódáskor keletkező hőátadás igen nagymértékben függ a felület minőségétől. Ha a felület érdes, vagy oxidréteggel van bevonva, akkor a hártva áramlásának nagyobb ellenállása következtében a hártva vastagsága megnő, és a hőátadási tényező akár 30%-kal is romolhat. Igen nagy hatást gyakorol még a felületen levő oxidhártva hőellenállása is.

A gőzben levő nem kondenzáló gázok hatása

Ha a gőzben levegő, vagy más nem kondenzáló gáz van jelen, a lecsapódáskor fellépő hőátadás jelentékeny mértékben csökken. A vonatkozó elméleti összefüggések e cikk kereteit túlhaladják és a VKI Közlemények jelen kötetében külön cikk [12] keretében kerülnek tárgyalásra.

A hűtőfelület elrendezésének hatása

A kondenzátorok számításánál nagy figyelmet kell fordítani a fűtőfelület helyes elrendezésére. Vízszintes elrendezés esetén a hőátadási tényező kb. 70%-kal jobb, de prob-

lémát jelent a lecsapódott folyadék visszavezetése. Függetlenül csöveknél a hőátadási tényező a hártya megvastagodásának következtében lefelé csökken. Ebben az esetben a hőátadási tényező a cső magassága mentén csapadékelvezető gyűrűk elhelyezésével növelhető.

3. Hőcsövek működése

A hőcső egy részlegesen folyadékkal feltöltött, vákuumra szívott zárt cső, amely alkalmas hőmennyiségek átvitelére kis hőmérsékletesések mellett. Egy hőcső hővezető képessége nagyságrendekkel jobb a fémek hővezető képességénél. E tulajdonságok alapján kitűnően használható nagy hőmennyiségek továbbítására igen kis keresztmetszeteken keresztül, számottevő távolságokra. A rendszer üzembiztonsága nagy, mivel mozgó alkatrészt nem tartalmaz [7].

A hőátvitel a következő folyamat alapján jön létre: A zárt csövet, amely részlegesen folyadékkal van feltöltve, egyik végén felmelegítik, ezáltal a folyadék elpárolog (l. részletesen az 1. fejezetben) és gőz formájában kitölti e teret, majd a cső másik végén, amelynek hőmérséklete valamivel alacsonyabb, lecsapódik (l. részletesen a 2. fejezetben). Abban az esetben, ha a csövet függőlegesen, vagy a vízszintes helyzetétől eltérően helyezük el, a lecsapódott folyadék a gravitációs erő segítségével visszafolyik a cső alsó pontjára. Amennyiben a hőcsövet vízszintes pozícióban kívánjuk üzemeltetni, akkor a cső belső falát kapilláris struktúrájú anyaggal kell bevonni, így a folyadék visszazállását a kapilláris erő biztosítja. A cső melegített végét elpárologtató, a hűtött végét kondenzátor oldalnak nevezzük.

A hőcsövön szállítható maximális hőteljesítmény [4] a

$$Q_{\max} = \alpha \vartheta \frac{R^3}{l} p^{2/3} \cos \Psi L \gamma \quad W,$$

képlettel határozható meg,

ahol α a töltőfolyadék anyagállandója, s/m^2 (kp/cm^2)^{2/3};

ϑ kapillárfaktor;

R a hőcső belső sugara, m;

l a hőcső hossza, m;

p a közepes gőznyomás, kp/cm^2 ;

Ψ a hőcső belső falának nedvesítési szöge;

L a latens hő, Ws/kg ;

γ a felületi feszültség, N/m .

Abban az esetben, ha a hőcső nem rendelkezik kapillár réteggel és a folyadék-visszavezetés a gravitációs erő segítségével történik, a $\vartheta = 1$ értékű.

Az α konstans tartalmazza a folyadék sűrűségét, viszkozitását, gőznyomását, valamint a gőz fajlagos sűrűségét és viszkozitását.

Víz esetére a következő értékekkel lehet számolni:

$$\text{anyagállandó} \quad \alpha = 2,5 \cdot 10^4 \text{ s/m}^2 \text{ (kp/cm}^2\text{)}^{2/3}$$

$$\text{latens hő} \quad L = 2,25 \cdot 10^6 \text{ Ws/kg.}$$

A töltőfolyadék kiválasztásánál tekintettel kell lenni arra, hogy az optimális működéshez kb. 1–2 kp/cm^2 gőznyomás tartozik. Ezen értéknél a hőcső hővezető képessége technikailag maximális. A cső két vége közötti gőzáramlást kb. 0,01...0,07 kp/cm^2 nyomáskülönbség kialakulása biztosítja.

A fenti adatokból következik, hogy félvezető elemek hűtésére töltőfolyadékként legkedvezőbb a víz felhasználása.

A hőteljesítmény szállításakor a hőcsövön létrejövő hőellenállást az alábbi egyenlet [5] segítségével számíthatjuk:

$$\frac{\Delta T}{N} = \frac{M\eta_v}{L^2 P_v(T)\rho_v(T)} \cdot \frac{T^2 \cdot 8Rl}{r^2 A} \text{ K/W,}$$

- ahol ΔT a csövön létrejövő hőmérsékletesés, K;
 N a cső által szállított hőteljesítmény, W;
 η_v a munkafolyadék gőzének kinematikus viszkozitása, Ns/m²;
 L a munkafolyadék párolgáshője, kJ/kg;
 P_v a munkafolyadék gőzeinek átlagos nyomása a csőben, N/cm²;
 ρ_v a munkafolyadék gőzének sűrűsége, kg/m;
 T a cső átlaghőmérséklete, K;
 R az univerzális gázállandó (itt $R = 8,3144 \text{ J/mol K}$);
 l a cső hossza, m;
 r a cső belső sugara, m;
 A a cső szabad belső keresztmetszete, m²;
 M a töltőanyag gőzének — molekulásúlya, mol.

A fenti képletből látszik, hogy konstrukciós szempontból az ideális állapotokat csak megközelíteni lehet, a technikai optimum érdekében a cső hossza, átmérője, töltőfolyadék minősége stb. között kompromisszumot kell létrehozni.

4. Hőcserélők méretezése

Annak érdekében, hogy a teljes hűtési rendszer belső hőellenállása meghatározható legyen, meg kell adni a félvezető eszköz és a hőcső párologtató része, valamint a kondenzátoroldal és a környezet közötti hőellenállás értékét is.

A félvezető elemeken képződött veszteség hő elvezetését hőközlés formájában, hőáramlás, hővezetés és sugárzás útján tudjuk biztosítani. A sugárzást, mint hőközlési tényezőt elhanyagolhatjuk, mivel a 100 °C körüli működési tartományban értéke nem jelentős.

4.1 Hőleadás hővezetés esetén

A hőáramlás sűrűsége (q) egyenlő a képződött hőmérsékletesés (°C/cm) és a hővezető képesség (λ) szorzatával és a nagyobb hőmérsékletű pontról a kisebb hőmérsékletű pont felé irányul

$$q = -\lambda \text{ grad } T.$$

Stacioner állapotban a gyakorlatban használatos képlet [6] megadja az áramló hő mennyiségét:

$$\frac{Q}{tA} = \frac{T_1 - T_2}{s} \lambda \text{ cal/s cm}^2;$$

- ahol Q az átvitt hőmennyiség, cal;
 t az idő, s;

- A az áramlás irányára merőleges felület, cm^2 ;
 s a T_1 és T_2 hőmérsékletű pontok távolsága, cm ;
 λ a hővezető képesség, $\frac{\text{cal}}{\text{cm s } ^\circ\text{C}}$.

Tranziens állapotban a viszonyok differenciálegyenlettel írhatók le.
 Az anyagok tulajdonságai a hőáramlási képesség

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad \text{cm}^2/\text{s}$$

számszerű értékeivel jellemezhetők,

ahol c a fajhő, $\frac{\text{cal}}{\text{g } ^\circ\text{C}}$;

ρ a sűrűség, $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Anyag	a hőáramlási képesség cm^2/s	c fajhő $\frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$
aluminium	0,853	0,217
vas (tisza)	0,195	0,114
réz	1,12	0,0938

A hőáramlási képesség fenti értékeinek használatára akkor van szükség, ha a hőcserélőkben többnemű anyag alkalmazására kerül sor.

4.2 Hőleadás levegőáramlás esetén

A másodpercenként átvitt hőmennyiség:

$$\frac{Q}{t} = \alpha A (T_1 - T_2) \quad \frac{\text{cal}}{\text{s}},$$

ahol α a hőátadási tényező, $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{s } ^\circ\text{C}}$;

A a hűtő felülete, cm^2 ;

T_1 a hűtő hőmérséklete, $^\circ\text{C}$;

T_2 a hűtőlevegő hőmérséklete, $^\circ\text{C}$.

A hőátadási tényező értéke Nusselt szerint [6] függőleges, sima felületnél, természetes konvekciós áramlás esetén:

$$\alpha = 6,1 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt[4]{T_1 - T_2} \quad \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \text{s } ^\circ\text{C}}.$$

Kényszerhűtés esetén jól használható képlet (a rézből készült, a levegőáramlásra merőleges síkban elhelyezett) hűtőbordák és az áramló levegő közötti hőmérséklet-

különbség meghatározására az alábbi:

$$\Delta T = \frac{11Q}{FV^{0,8}} \text{ } ^\circ\text{C},$$

ahol Q a másodpercenként átvitt hőmennyiség, W;

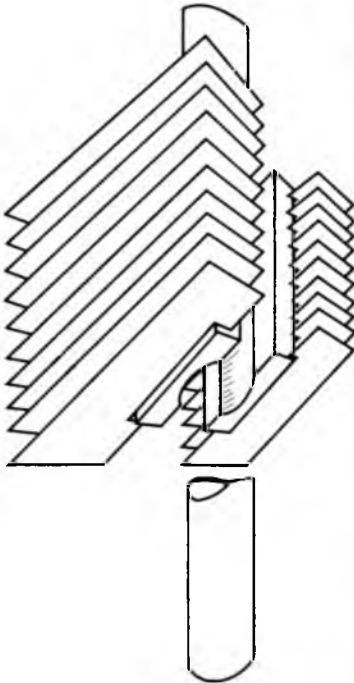
F a hűtőbordák felülete, dm²;

V a hűtőlevegő sebessége, m/s.

5. Teljesítményelemek hűtését szolgáló hőcsöves hűtőegységek fejlesztése

Az ismertetett számítások segítségével szerkesztettünk hőcsöves hűtőegységeket félvezető elemek, illetve egységek hűtése céljából. Az elmélet és a gyakorlat közötti eltérés megállapítására számos modellkísérleten végeztünk méréseket, egyedi és diódacsoportok hűtése esetén [8], [9], [10], [11].

A teljesítmény félvezető elemek hűtésére tervezett, víztöltetű hőcsöves hűtőrendszer üzemi viszonyait legjobban ellenállásfűtéssel tudtuk modellezni. A hűtőrendszer vízszákját fűtöttük, nevezetesen 500 W-os fűtőtesttel (14-3. ábra). A fűtőtestbe tömör vörösréz rúd nyúlik be, az egyik végén kielégítő vastag, a vízszák méreteivel egyező nagyságú vörösréz lappal. A felfekvőfelületek polírozottak. A négyzet alakú vízszák oldalhosszúsága megegyezett a DB-250 típusú dióda bázistönkjének átmérő-



14-4. ábra. Modul rendszerű melegoldali hőcsérelő felépítése



14-5. ábra. Hatférőhelyes, kétágú hőcső mérési összeállítása

jével. A fűtőtestet kívülről teljes hosszában hőszigeteltük, így a leadott hőáram közel 100%-a a vízszak felé tudott áramolni.

A működő hűtőrendszer hőmérsékletét egy-egy hőáramértéken akkor tekintetük stabilnak, ha a vízszakon mért hőmérséklet 15 percig állandósult állapotot mutatott. A méréseket zárt helyiségben végeztük a légáramlás zavaró hatásának kiküszöbölése érdekében.

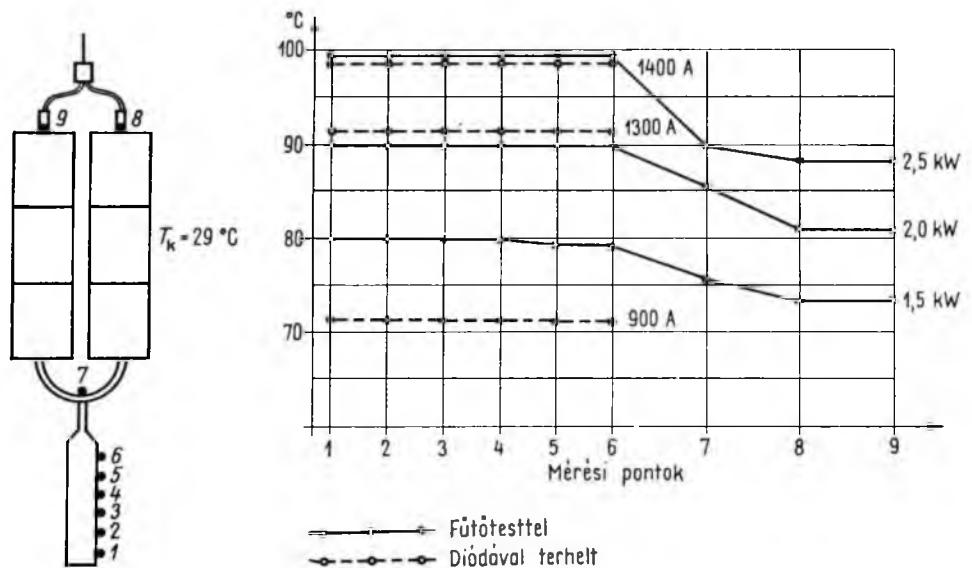
A kísérleti hűtőrendszer mérései bebizonyították, hogy a hőcsöves hűtési elv jól használható félvezető elemek hűtésére és az alapszámítások segítségével a konstrukció jól kézben tartható.

Annak érdekében, hogy a hűtési rendszer iparilag használható legyen, modulrendszerű melegoldali hőcserélőt terveztünk. A hűtőbordák egységekből állnak, az egység két felét csavarkötéssel rögzítettük egymáshoz, mely így közrefogja a hűtőrendszer hőcsövét. A bordák és a bordákat tartó tönk félkemény alumíniumból készült (14-4. ábra).

A kísérletek bebizonyították, hogy a hűtési rendszer csoportos diódák hűtésére is alkalmas. Ezen lehetőség bizonyítása azért fontos, mivel a nagyteljesítményű egyenirányító rendszerek természetes légűtésével a hűtéssel gazdaságosan megoldható.

A 14-5. ábra szerinti hűtőegységet 6 dióda hűtésére terveztük. A hűtőegységre 6 db bordamodult szereltünk 4,8 m² összfelülettel. A vízszak térfogata 700 cm³ volt. A próba során az egységet 1,5...2,5 kW hőáramhatárok között vizsgáltuk fűtőtesttel. A mérési eredmények természetes légűtés mellett a 14-6. ábrán láthatók.

A kapott eredmények lehetővé tették, hogy ugyanezen egységet kipróbáljuk félvezető elemek hűtésére. A kísérletet 6 db DB 250 típusú diódával végeztük el. A diódák bázistönkje 10 mm vastag volt és a tönkökbe mérőfuratokat készítettünk. Ezen furatok talppontján mértük a bázistönk-hőmérsékleteket. Egyórás, 900 A_K-es terhelés után a vízszak hőmérséklete 72 °C, a bázistönkben a hőmérsékletátlag 88 °C.



14-6. ábra. Hatfőrhelyes kétágú hőcső mérési eredményei; a mérési pontok helye a vázlaton látható

Egy órás, 1300 A_K-es terhelés után a vízszák hőmérséklete 92 °C, a bázistönkben a hőmérsékletátlag 107 °C. Kétórás, 1400 A_K-es terhelés után a vízszák hőmérséklete 98 °C, a bázistönkben a hőmérsékletátlag 116 °C volt.

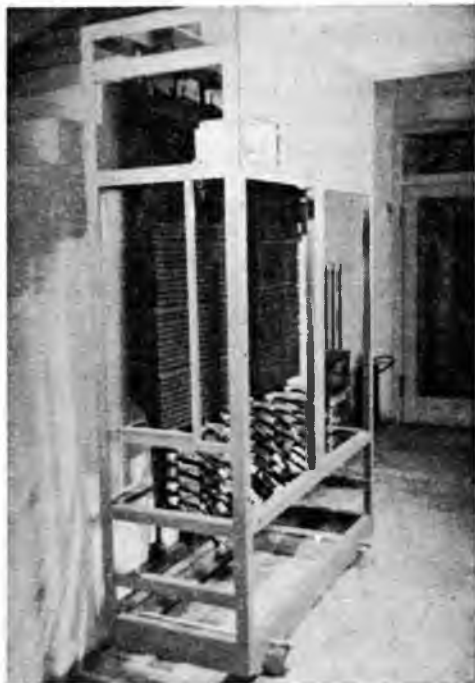
Egyórás, 1300 A_K-es terhelés után a diódákra 1500 A-es, 3 perces terhelést kapcsoltunk. A terhelés végén a vízszák hőmérséklete 92 °C-ról 96 °C-ra emelkedett. A bázistönkben a hőmérsékletátlag 117 °C volt.

A fentiek és a 14-6. ábra alapján megállapítható, hogy a kivitelezett hőcsöves hűtés (bázistönktől levegőig értelmezett) hőellenállása közelítően 0,03 °C/W értékű.

A mérési eredményeket felhasználva a VBKM Anódgyárával közösen nagyteljesítményű egyenirányító egységet terveztünk, amelybe a 14-7. ábrán látható tovább-



14-7. ábra. Hatfőrhelyes, egyágú hőcső



14-8. ábra. Nagyteljesítményű egyenirányító berendezés 6 db egyágú hőcsővel szerelve

fejlesztett, azonos hőellenállású, de egyágú hőcsövet építettük be. A részlegesen összeszerelt egyenirányító egység a 14-8. ábrán látható. Az egyenirányítót elláttuk hőmegfutas érzékelésre alkalmas védelemmel. Az egyenirányító célparaméterei megfeleltek egy 2400 A terhelhetőségű, fix telepítésű vontatási egyenirányítónak.

A modellkísérletekkel lényegében a teljesítmény félvezetők kétféle üzemmódját vizsgáltuk hőcsöves hűtőrendszereket alkalmazva. Az ellenállásfűtéssel a hosszú idejű állandó, diódával a rövid idejű lökészerű terhelés üzemmódját képeztük le. A különböző hűtőegységekkel végzett kísérletek elegendő eredményt adtak a számításokon alapuló tervezés ellenőrzésére.

6. Összefoglalás

A hőcső, mint technikai eszköz lehetővé teszi a teljesítmény-egyenirányító egységek természetes léghűtésen alapuló kivitelének megoldását. Az új módszer előnyei a következőkben határozhatók meg:

- A hűtőrendszer hőellenállása lényegesen jobb, mint az azonos teljesítményekre méretezett hagyományos hűtőbordás rendszereké.
- Az egyenirányító berendezéseknél elhagyható a kényszerhűtés, megoldható az egység teljes hűtése természetes légáramlás segítségével.
- A teljesítmény félvezető elemek statikus és dinamikus paraméterei jobban kihasználhatók, ezáltal a berendezések fajlagos teljesítménye nő.
- A berendezések konstrukciója egyszerűsödik a kényszerhűtést biztosító ventillátorok, légszatórnák, stb. elmaradása folytán.

A hűtési rendszer előnyei mellett számítani kell annak hátrányaira is:

- A gyártásnál szigorú technológiai fegyelem betartására van szükség.
- Kényszerhűtéshez képest jóval nagyobb hőátadó felületek szükségeseek.
- Bizonyos geometriai kötöttségek a lamináris áramlások biztosítása érdekében.

Súlyozva a hűtési rendszer előnyeit és hátrányait, megállapítható, hogy a hőcsöves hűtés a nagyteljesítményű egyenirányító, ill. áramátalakító berendezések területén tért fog hódítani.

Irodalom

- [1] *Mihejev, M. A.*: A hőátadás gyakorlati számításának alapjai. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1958.
- [2] *Dr. Pattantyús A. Géza*: Gépészeti Zsebkönyv I – II.
- [3] *Kruzsillin, G. N.*: Zsurnal techniceszkoj fiziki VII. 20–21. sz.
- [4] *Gammel, G.*: Heat Pipes zur Wärmeübertragung in Hochtemperatursystemen. BBC Nachrichten Bd. 48 (1966).
- [5] *Török—Keleti—Katona*: VKI belső tanulmány 1976. Akkumulátorok hűtése hőcsövekkel.
- [6] *Siemens*: Formel und Tabellen Buch 1960.
- [7] *Grover, G. M.—Cotter, T. P.—Erickson, G. F.*: Structures of very high thermal conductance. J. of Appl. Physics Bd. 35 (1964) H.G.S. 1990/1991.
- [8] *Gommel, G.—Heidtmann, U.*: Anwendung von Wärmeröhren in der Leistungselektronik. BBC Nachrichten 1973. H. 6/7.
- [9] *Eckert, E.*: Wärme und Stoffaustausch: Springer V. 1959.
- [10] *Korb, F.*: Die thermische Auslegung von fremdgekühlten Halbleitern bei netzgeführten Stromrichtern ETZ-A Bd. 92. 1976. H. 2.
- [11] *Gutkowski, K.*: Hűtőtechnikai számítások. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
- [12] *Török—Keleti—Katona*: A hővezető csövek méretezése és alkalmazása. VKI Közleményei 7 1979.

15.

A hővezető csövek méretezése és alkalmazása

TÖRÖK TIVADAR—KELETI JÓZSEF—KATONA ÁBRIS

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk részletesen ismerteti a hővezető csövekben lejátszódó fizikai folyamatokat és a működés alapelvét. A hővezető csövek méretezését, munkaközegének kiválasztását egy speciális példán mutatja be. Összefoglalja a hővezető csövek alkalmazásával a VKI-ban eddig elért eredményeket.

РАСЧЕТ И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ ТРУБОК

T. Török — Й. Келети — А. Катона

Резюме

Статья детально излагает физические процессы в тепловых трубках и основной принцип работы тепловых трубок. Расчет тепловых трубок, выбор рабочей среды показаны специальным примером. Доклад сообщает результаты, достигнуты до сих пор в VKI в области применения тепловых трубок.

BEMESSUNG UND ANWENDUNG VON WÄRMERÖHREN

T. Török — J. Keleti — Á. Katona

Zusammenfassung

Die in den Wärmeröhren erfolgenden physikalischen Vorgänge und der Grundsatz des Funktionierens werden im Aufsatz ausführlich erörtert. Die Bemessung der Wärmeröhren und die Auswahl des Arbeitsflusses sind durch ein spezielles Beispiel gezeigt. Schliesslich sind die durch Anwendung der Wärmeröhren im VKI bisher erzielten Ergebnisse zusammengefasst.

DIMENSIONING AND APPLICATION OF HEAT-PIPES

By T. Török — J. Keleti — Á. Katona

Summary

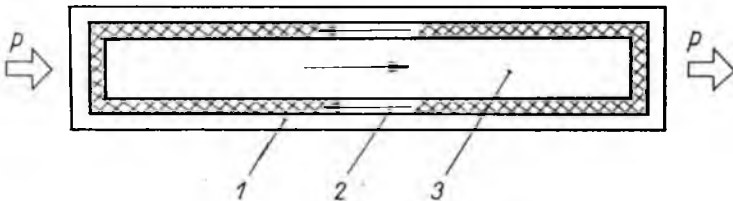
The physical processes taking place in heat-pipes as well as the basic principle of operation are reported in details. Dimensioning of heat pipes and choice of working fluid are shown by a special example. The results achieved in the VKI in the field of heat-pipe application are summarized.

Bevezetés

A természeti folyamatoknak a termodinamika II. főtétele által leírt irreverzibilis volta okozza a műszaki gyakorlatnak azt a problémáját, hogy a hasznos folyamatok hőfejlődéssel járnak. Ez a statisztikusan valószínűbb állapotba való önkéntes átmenet szükségzerű velejárója. A folyamatok során képződő hő rendszerint korlátozza a készülékek teljesítőképességét, hiszen elvezetésére csak véges hővezetőképességű anyagokból felépített rendszereket konstruálhatunk. Emiatt különös jelentőségűek az ún. hővezető csövek, amelyeket az angol nyelvű szakirodalomban heat pipe-nek neveznek, és alkalmazásuk rohamléptekkel fejlődik. A hővezető csövek az abszolút nulla fok környezetétől egészen 1500 °C-ig alkalmazhatók, és hővezető képességük például a szobahőmérséklet környezetében nagyságrendekkel nagyobb lehet, mint a vörösrézé.

1. A hővezető csövek működésének általános áttekintése

A hővezető csövek működését a 15-1. ábra segítségével tesszük szemléletessé. Az ábra a hővezető csövek legegyszerűbb formáját mutatja be. Lényegében véve nem más, mint egy zárt tér, amelyben egy folyadék és annak telített gőzei helyezkednek el, és amelyben mind a folyadék, mind a gőz elhelyezkedése és áramlása számára meg-

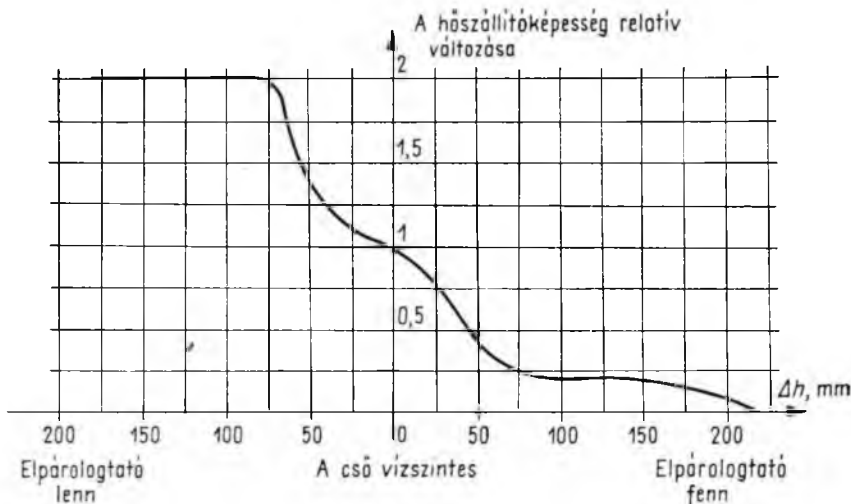


15-1. ábra. A legegyszerűbb hővezető cső sematikus rajza

felelő utat és teret biztosítunk. Az ábrán 1 a határoló falat, 2 a folyadék áramlására és elhelyezkedésére szolgáló térrészt, 3 a gőzök elhelyezkedésére és áramlására szolgáló térrészt jelöli. A hővezető csövek belsejében az energiaáramot anyagáram hordozza oly módon, hogy a hőfelvétel helyén a felvett energia a töltőfolyadék párolgási hőjeként kötődik meg, és az így képződött gőzök áramolnak végig a belső csatornán. A gőzök a hőelvonás helyére jutva kondenzálódnak, a párolgáskor felvett latens hő felszabadul, a kondenzátum pedig visszakerül a kiindulási helyre és így a cső belsejében zajló folyamat bezárul. Mind az elpárolgó, mind a kondenzáló folyadék felett saját gőznyomása uralkodik. A két hely hőmérséklet-különbségéből adódó belső nyomáskülönbség tartja fenn a folyamatos gőzáramlást. A folyadék visszajuttatására a gravitációs erőt, kapilláris erőt, centrifugális erőt, vagy ezek kombinációit szokás felhasználni. Ennek megfelelően az esetek egy részében a cső belsejében a 2 térrészt valamilyen textil vagy fém kapilláris rendszer, vulgárisan szólva „kanóc” tölti ki. Általában a kapilláris rendszer belsejében helyezkedik el a töltőfolyadék, lehetőséget adva így a nagy felületű hőbetáplálásra anélkül, hogy a szokásos forrási jelenségek fellépnének. Ezeknél a csöveknél a hőbetáplálás oldalán a hőáramot 5...7 W/cm² értékre kell korlátozni. Ebben az esetben a kapilláris belső felületén létrejövő intenzív párolgás biztosítja a hőátadást és elkerülhető a buborékképződéssel járó forrás. Bizonyos

hőcső-konstrukciónál kapilláris rendszert egyáltalán nem alkalmaznak, ezeknél a folyadékáramlás kizárólag gravitációs erők hatására megy végbe. Az ilyen csövek belső hőtadási viszonyaival részletesen a VKI Közlemények jelen kötetének 14. cikke foglalkozik.

Azokban az esetekben amikor a csőbe kapilláris rendszer is be van építve, megfigyelhető a hőszállító képesség változása a csővégek szintkülönbségének függvényében. Egy vízzel töltött hőcső viselkedését mutatjuk be a 15-2. ábrán, amelyet a Jermyn cég katalógusadatként ad meg gyártmányaira.

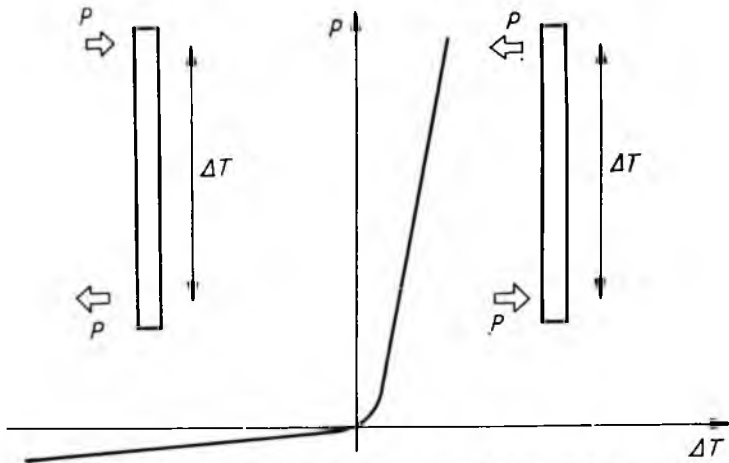


15-2. ábra. Egy vízzel töltött hővezető cső hőszállító képességének változása a pozíció függvényében

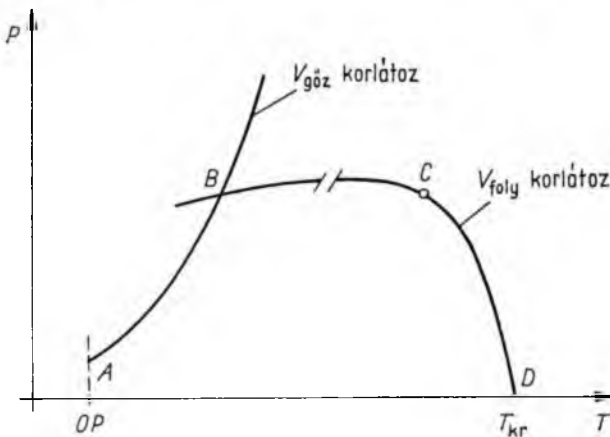
Az ábra egy adott hőmérséklet-tartományban ábrázolja a cső hőszállító képességét különböző szintkülönbségek esetén, a vízszintes állapothoz viszonyítva. A görbe lefutásából látható, hogy a kapilláris rendszer 150...200 mm magasra képes a folyadékot emelni, annál nagyobb szintkülönbség esetén a cső hőszállítása megszűnik. Reflux üzemmódban, azaz visszafolyós elrendezésben, a hőszállítási képesség a vízszintes állapotban mért érték kétszeresét is elérheti. Egy adott dőlés esetén vizsgálva a csövet különböző nagyságú és irányú hőáramokkal, a 15-3. ábrán bemutatott jellegzetes egyenirányító karakterisztikát kapjuk. Többek között ez az egyik jellegzetes eltérése a hőcsövek és a szilárd testek hővezetésének.

A cső működéséről alkotott kvalitatív képből is kitűnik, hogy a működéshez gőz- és folyadékfázis egyidejű, stabil állapotban való jelenléte szükséges. Így egy adott munkafolyadékkal csak egy bizonyos, az adott folyadékra jellemző hőmérsékleti intervallumban működhet a cső. A 15-4. ábrán egy adott geometriájú és töltőfolyadékú hőcső által elszállítható energiaáram változását ábrázoltuk a cső átlagos hőmérséklete függvényében.

Az ABCD görbeszakaszok által határolt területen jön létre hőszállítás a fent leírt módon. A görbén kívüli területen a hőcső nem működik, esetleg tönkremegy (szilárd testként vezeti a hőt, ha tudja). A görbe kezdeti szakaszán (AB szakasz) a kis nyomáson létrejövő kis gőzsűrűség miatt a gőzcsatornában létrejövő áramlás igen nagy sebességű súrlódásos áramlás.



15-3. ábra. Adott helyzetű (dőlésű) hővezető cső hőszállító képességének változása a cső két vége közötti hőmérséklet-különbség függvényében. A cső jellegzetes egyenirányító karakterisztikát mutat



15-4. ábra. A hőcső működésének határai a cső közepes hőmérséklete függvényében

Egyszerű okoskodással megmutatható, hogy

$$P \approx \frac{v_{\text{göz}}}{T} \exp - \frac{L}{RT}$$

ahol P a szállított teljesítmény;

$v_{\text{göz}}$ a gőz áramlási sebessége a gőzcsatornában.

Egy adott hőmérsékleten, adott hőszállítási képesség adott gőzsebességet tételez fel. A gőzsebesség növekedése addig a határig tarthat, ahol eléri a hang terjedési sebességét az adott közegben. Hangsebességgel való áramlás esetén az átáramló gőzmennyiség nem nő tovább a nyomáskülönbség növelésével.

A görbe következő része (*BC*) a kapillaris geometriájától és a folyadék visszáramlás körülményeitől függő magasságban elhelyezkedő, közel vízszintes szakasz. Ebben a tartományban többé-kevésbé kompenzálja egymást a folyadékviszkózitás csökkenésének és a fajtérfogatok növekedésének hatása.

A kritikus állapot közelében (*CD*) dominánssá válik a párolgáshő csökkenésének hatása azért, hogy az adott teljesítmény szállításához egyre növekvő gőztömeg oda-és folyadéktömeg visszaáramlása szükséges. A megnövekedett gőzáram elszállításának nincs akadálya, a folyadékáram azonban az elrendezéssel korlátozott. A kritikus ponton, ahol a párolgáshő nullává válik, a cső működése megszűnik.

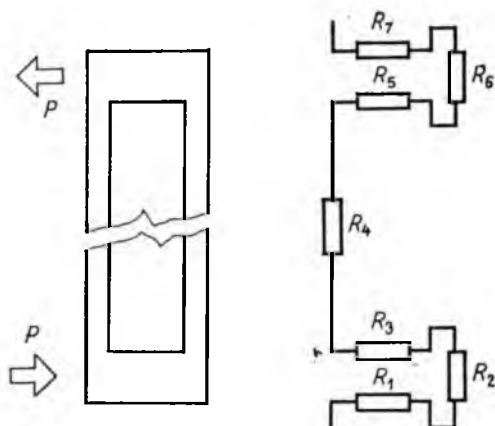
Az eddigi fejtegetésből nyilvánvaló, hogy a hővezető csövek munkapontját a *BC* intervallumban célszerű megválasztani, ami a reális folyadékok fizikai állandóinak ismeretében 200...500 °C széles működési hőmérséklet-intervallumot definiál. A bevezetőben említett széles hőmérséklet-tartományt különböző anyagok felhasználásával lehet megvalósítani.

Emlékeztetőül, a teljesség igénye nélkül, álljon itt azoknak az anyagoknak a felsorolása, amelyek felhasználásával a 4...1800 K-ig terjedő hőmérséklet-tartomány többé-kevésbé folyamatosan átfogható: He, Ne, N₂, NH₃, CO₂, CH₃OH, H₂O, Hg, Na, K, Li.

2. Hővezető csövek hőellenállásának meghatározása

A hővezető csövön létrejövő hőmérsékletesés függ a cső geometriai méreteitől, a munkafolyadéktól, a hőmérséklettől és a szállított hőmennyiségtől. Adott geometria, munkafolyadék és hőmérséklet esetén a hőmérsékletesés és a szállított hőmennyiség hányadosa a cső hőellenállását adja. Ez több hőlépcső összegeként határozható meg (15-5. ábra):

- R_1 fűtés—fal átmeneti ellenállás;
- R_2 fűtésoldali fal ellenállása;
- R_3 folyadék—gőz átmeneti ellenállás;
- R_4 gőzmozgással szembeni ellenállás;
- R_5 gőz—folyadék átmeneti ellenállás;
- R_6 hűtésoldali fal ellenállása;
- R_7 fal—hűtés átmeneti ellenállás.



15-5. ábra. Egy hőcső jellegzetes hőellenállásai

Mivel feltételezhetjük, hogy a heat pipe a hőfluxus szempontjából szimmetrikus, tehát $R_1 = R_7$; $R_2 = R_6$, és $R_3 = R_5$, elegendő az első négy ellenállást meghatározni.

R_1 (R_7) meghatározása

a) ha a hőforrás forró folyadék vagy gáz, akkor a hőmérsékletesés:

$$\Delta T = \frac{P}{aF},$$

a hőellenállás pedig

$$R_1 = \frac{\Delta T}{P} = \frac{1}{aF},$$

ahol P a szállított hőmennyiség;

a a hőátadási tényező;

F a felület;

b) ha a hőforrás szilárd test, akkor a hő tisztán vezetéssel jut el a hővezető cső faláig. A hőmérsékletesés:

$$\Delta T = \frac{s_1 P}{\lambda_1 F},$$

a hőellenállás

$$R_1 = \frac{\Delta T}{P} = \frac{s_1}{\lambda_1 F},$$

ahol s_1 a szilárd anyag vastagsága;

λ_1 a hővezető képessége.

R_2 (R_6) meghatározása

A heat pipe falán a hő tisztán vezetéssel jut keresztül (l. az előző pontot), így a hőellenállás:

$$R_2 = \frac{s_2}{\lambda_2 F},$$

ahol s_2 a heat pipe falvastagsága;

λ_2 a hővezető képessége.

A hőellenállás csökkentése érdekében a hővezető cső falát a lehetőségekhez mérten vékony, jó hővezető képességű anyagból készítjük.

R_3 (R_5) meghatározása

A folyadék—gőz átmeneti ellenállás meghatározásához meg kell állapítanunk a folyadék szabad felszínéről a gőztérbe lépő, illetve visszatérő molekulák mint hőhordozók számát. Nyugalmi helyzetben, ha a heat pipe nem szállít hőt, mind a folyadék, mind a gőz hőmérséklete azonos a környezet hőmérsékletével. Ekkor a gőz nyomása az adott hőmérséklethez tartozó gőznyomás lesz, a folyadékból kilépő és visszatérő molekulák száma azonos.

A folyadékból a gőztérbe egységnyi felületen időegység alatt kilépő molekulák száma

$$N_{f-g} = \sqrt{3/2\pi} \left(\frac{p_{foly}}{mc} \right),$$

ahol p_{foly} a munkaközeg gőznyomása az adott hőmérsékleten;

m a gőzmolekulák tömege,

c a gőzmolekulák átlagsebessége,

amelyet az átlagos kinetikus energiából a következők szerint lehet meghatározni:

$$c = \sqrt{3kT/m} = \sqrt{3RT/M}.$$

Ha a hőcső hőt szállít, a fűtött oldalon a párolgás véges túlfűtés hatására jön létre. A folyadék felszíne fölött kialakuló hőmérséklet és gőznyomás ($p_{g\delta z}$) ennek megfelelően mindig kisebb lesz, mint amekkora a folyadék hőmérsékletének egyensúlyi állapotában megfelelne (p_{foly}). Így a gőztérből a folyadékba visszatérő molekulák számát a következőképpen határozhatjuk meg:

$$N_{g-f} = \sqrt{3/2\pi} \frac{p_{g\delta z}}{mc} = \sqrt{M/2\pi RT} \frac{p_{g\delta z}}{m}.$$

A folyadékot elhagyó és oda visszatérő molekulák különbözete szállítja a hőt. Számuk

$$N = N_{f-g} - N_{g-f} = \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \frac{p_{foly} - p_{g\delta z}}{mc} = \sqrt{\frac{M}{2\pi RT}} \frac{\Delta p}{m},$$

a szállított teljesítmény pedig

$$P = \frac{N}{A} LF = \frac{\Delta p LF}{mA} \sqrt{\frac{M}{2\pi RT}} = \frac{\Delta p LF}{M} \sqrt{\frac{M}{2\pi RT}}.$$

A Δp nyomásesésnek megfelelő hőmérsékletesést a Clausius—Clapeyron-egyenletből határozhatjuk meg:

$$\frac{\Delta p}{\Delta T} = \frac{L}{T(V_{g\delta z} - V_{foly})} \approx \frac{L}{TV_{g\delta z}},$$

tekintettel arra, hogy a vizsgált esetben a gőz móltérfogata ($V_{g\delta z}$) mellett a folyadéké (V_{foly}) elhanyagolható. A gőzre nézve a tökéletes gázok törvényét érvényesnek vehetjük, így

$$V_{g\delta z} = \frac{RT}{p_{g\delta z}}$$

és

$$\frac{\Delta p}{\Delta T} = \frac{L p_{g\delta z}}{RT^2}.$$

Ezt az értéket a szállított teljesítmény kifejezésekbe helyettesítve kapjuk

$$P = \frac{FL^2p}{MRT^2} \sqrt{\frac{M}{2\pi RT}},$$

és a hőellenállás

$$R_3 = \frac{\Delta T}{P} = \frac{RT^2M}{FL^2\bar{p}} \sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}.$$

R_4 meghatározása

Az R_4 hőellenállás annak az áramlási ellenállásnak a következménye, amely a gőzök áramlásával szemben a gőzcsatornában fellép. Ez az ellenállás a gőz sűrűlódásának következménye. Az áramlás fenntartásához folyamatosan nyomáskülönbséget kell fenntartani. Ennek nagyságát a Hagen—Poiseuille-törvény segítségével határozhatjuk meg

$$G = \frac{\pi \Delta p r^4 M \bar{p}}{8\eta l RT} = \frac{\pi \Delta p r^4 \bar{p}}{8\eta l},$$

- ahol G a tömegáram;
 \bar{p} , ill. \bar{p} a gőz átlagos sűrűsége, ill. nyomása;
 Δp a cső mentén létrejövő nyomásesés;
 l a cső hossza;
 r a cső sugara;
 η a folyadék kinematikus viszkozitása.

A cső által szállított teljesítményre — ha Δp értékét a Clausius—Clapeyron-egyenlet előző fejezetben is használt alakjából behelyettesítjük —, illetve az R_4 ellenállásra a következő értékeket kapjuk

$$P = \frac{LG}{M} = \frac{L^2 \bar{p} \rho}{\eta M} \cdot \frac{r^4 \pi}{l} \cdot \frac{\Delta T}{8RT^2}$$

$$R_4 = \frac{\Delta T}{P} = 8RT^2 \cdot \frac{l}{r^4 \pi} \cdot \frac{\eta M}{L^2 \bar{p} \rho}.$$

Hogy az egyes hőellenállások értékére kapott eredményeinket értelmezni tudjuk, egyenleteinket megoldottuk egy 400 mm hosszú, 8 mm külső, 6 mm belső átmérőjű, vörösréz-ből készített csőre, amelyben munkaközegként vizet alkalmaznak 130 °C környezetében. Az R_1 — R_7 hőellenállások karakterisztikáit a 15-1. táblázatban hasonlítjuk össze. Az összehasonlításból kiviláglik, hogy a cső belsejének hőellenállása R_4 elhanyagolhatóan kicsi a hozzávezetések hőellenállásához képest. Különösen figyelemreméltó az a tény, hogy a hőszállítás távolsága csak R_4 összefüggésben szerepel. Ez az összes komponens közül a legkisebb, és így jó közelítéssel mondható, hogy a hőcsövön létrejövő hőmérsékletesés független a hőszállítás távolságától, azaz a cső a gyakorlati szempontokból izotermikusnak tekinthető. A hőcsöveknek ez a tulajdonsága magyarázza a különleges hőszállító képességet és azt, hogy segítségükkel hóáram transzformáció is megvalósítható.

15-1. táblázat

Egy víztöltésű heat pipe hőellenállásai

$R_1 = \frac{1}{aF}$ vagy $\frac{S_1}{\lambda_1 F}$	10^{-1} K/W
$R_2 = \frac{S_2}{\lambda_2 F}$	$5 \cdot 10^{-3}$ K/W
$R_3 = \frac{MRT^2}{L^2 p F} \sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}$	$3 \cdot 10^{-3}$ K/W
$R_4 = 8RT^2 \cdot \frac{l}{r^4 \pi} \cdot \frac{\eta \cdot M}{L^2 p \rho}$	$5 \cdot 10^{-6}$ K/W
$R_5 = R_3$	$3 \cdot 10^{-3}$ K/W
$R_6 = R_2$	$5 \cdot 10^{-3}$ K/W
$R_7 = R_1$	10^{-1} K/W

3. A hőcsövek munkaközegének kiválasztása

R_4 -re kapott összefüggés támpontot nyújt a munkafolyadék kiválasztására, illetve a hőcsőben való használhatóság szempontjából való minősítésre. A kifejezés utolsó tényezője csak anyagállandókat tartalmaz. Ennek a tényezőnek a reciprokát használhatjuk a munkaközegek összehasonlítására.

$$Z = \frac{\eta \cdot M}{L^2 p \cdot \rho}$$

A Z kifejezést szokás a munkaközeg jósági számának is nevezni.

A munkaközeg kiválasztását egy speciális példán mutatjuk be.

Tevékenységünk során meg kellett vizsgálnunk egy 25 és 45 °C közötti hőmérséklet-tartományban működő hőcsöves hűtés készítésének feltételeit. A lehetséges munkafolyadékokat, amelyeket a 15-2. táblázatban közlünk, a Z jósági számuk alapján válogattuk ki. A táblázat adatainak kiszámításához a moláris párolgáshőt KJ/kmol-ban; a nyomást N/m²-ben; a sűrűséget kg/m³-ben; a kinematikus viszkozitást Ns/m²-ben, és a mol-t kg/kmol-ban helyettesítettük. A táblázat adatainak kidolgozásánál némi nehézséget okozott a különböző anyagok gőzeire megbízható kinematikus viszkozitási adatot találni, ezért azokat a Hirschfelder-módszer Bromley és Wilke által kidolgozott módosítása szerint határoztuk meg.

A táblázatban felsorolt anyagok valamennyien 10⁻³ K/W értéknél kisebb gőzcsatorna-ellenállás (R_4) megvalósítását teszik lehetővé 6 mm átmérőjű 0,4 m hosszú gőzcsatorna esetén. Éppen ezért most már csak technológiai, stabilitási, és falanyag-töltőfolyadék összeférhetőségi kérdések határozzák meg választásunkat. További szempont, hogy a cső belső nyomását az atmoszferikushoz közeli értékre célszerű választani, mivel így a csőfal terhelése minimális és ezáltal R_2 és R_6 ellenállások is minimálisra állíthatók be.

Talán tanulságos megemlítenünk, hogy az itt felsorolt kiegészítő szempontokat figyelembe véve még a vázolt 35 °C közepes hőmérsékletű hűtés esetén is gazdaságos-

15-2. táblázat

Munkafolyadékok jósági számai az üzemi nyomás növekvő sorrendjében 35 °C-on

Anyagnév	Üzemi nyomás, Pa	Jósági szám
Víz	$5,57 \cdot 10^3$	$2,34 \cdot 10^{15}$
Etanol	$1,32 \cdot 10^4$	$1,15 \cdot 10^{16}$
Triklóretilén	$1,62 \cdot 10^4$	$9,85 \cdot 10^{16}$
Széntetraklorid	$2,43 \cdot 10^4$	$2,00 \cdot 10^{16}$
Metanol	$2,63 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^{16}$
Cisz-diklóretilén	$4,36 \cdot 10^4$	$6,59 \cdot 10^{16}$
Aceton	$4,46 \cdot 10^4$	$7,54 \cdot 10^{16}$
Széndiszulfid	$5,17 \cdot 10^4$	$8,38 \cdot 10^{16}$
Transz-diklóretilén	$6,48 \cdot 10^4$	$1,45 \cdot 10^{17}$
Triklór-trifluoretán (R-113)	$6,59 \cdot 10^4$	$1,22 \cdot 10^{17}$
Metilénklorid	$8,11 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^{17}$
Etilbromid	$9,12 \cdot 10^4$	$2,94 \cdot 10^{17}$
Dietyléter	$1,01 \cdot 10^5$	$2,96 \cdot 10^{17}$
n-pentán	$1,01 \cdot 10^5$	$2,45 \cdot 10^{17}$
Furán	$1,01 \cdot 10^5$	$3,74 \cdot 10^{17}$
Metilformiát	$1,22 \cdot 10^5$	$4,5 \cdot 10^{17}$
Triklór-fluorometán (R-11)	$1,53 \cdot 10^5$	$5,77 \cdot 10^{17}$
Acetaldehid	$1,62 \cdot 10^5$	$6,17 \cdot 10^{17}$
Etilklorid	$2,23 \cdot 10^5$	$4,32 \cdot 10^{17}$
Etilénoxid	$2,43 \cdot 10^5$	$1,59 \cdot 10^{18}$
Diklór-tetrafluoretán (R-114)	$2,94 \cdot 10^5$	$1,71 \cdot 10^{18}$
Dimetilamin	$2,94 \cdot 10^5$	$2,12 \cdot 10^{18}$
Kén-dioxid	$5,67 \cdot 10^5$	$6,34 \cdot 10^{19}$
Oktofluorbutén (RC-318)	$4,31 \cdot 10^5$	$3,74 \cdot 10^{18}$
Metilklorid (R-20)	$7,48 \cdot 10^5$	$8,58 \cdot 10^{18}$
Diklór-difluorometán (R-12)	$8,46 \cdot 10^5$	$8,83 \cdot 10^{18}$
Ammónia	$1,39 \cdot 10^6$	$2,89 \cdot 10^{19}$
Difluor-monoklórometán (R-22)	$1,45 \cdot 10^6$	$2,16 \cdot 10^{18}$
Víz (90 °C-on)	$7,09 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^{17}$

nak mutatkozott vizet használni töltőfolyadékként. Ezt a kiforrott csőlezárási technológia, az anyag stabilitása, korróziós tulajdonságai és nem utolsó sorban az ára indokolja.

4. Változó hőszállító képességű hőcsövek

Az előző fejezetekben ismertetett megoldások alapján az osztályunkon készített termovillamos generátorok hűtőrendszerében alkalmaztunk hővezető csöveket. A szállítandó hőmennyiség és a működési hőmérséklet ismeretében — amelyeket az alkalmazott termoelemek határoztak meg — többszáz, különböző hosszúságú hővezető csövet készítettünk. Ezek a hővezető csövek 100 °C-hoz közel eső üzemi hőmérsékletre készültek. Munkafolyadékuk ennek megfelelően víz volt. A gyártás folyamán

a kész csövek ellenőrzésére és minősítésére kialakult módszer szerint az a cső felelt meg, amely teljes hosszában azonos hőmérsékletű lett, ha az egyik végét az üzemi hőmérséklet feléig, kb. 50 °C-ig melegítettük. Azokat a csöveket, amelyek ezen a hőmérsékleten csak egy bizonyos hosszig melegedtek át, félretettük. Tapasztaltuk, hogy magasabb hőmérsékleten az átmelegedett hossz megnőtt, ami bizonyította, hogy a cső működik, csak éppen másképpen, mint terveztük. Az ilyen csöveket „változó hosszúságú” csöveknek neveztük el.

Ezeknek a csöveknek az esetében tulajdonképpen arról van szó, hogy a kész csőben a munkafolyadékon és gőzein kívül egyéb, nem kondenzálódó anyag, maradék gáz is van. A csőben levő nyomás adott hőmérsékleten mindig a jelen levő két anyag — a gőz és a gáz — parciális nyomásainak összege.

A fűtés megindításával a folyadékból kilépő gőzmolekulák száma nő, a folyadék feletti térben a gőz—gáz keverék gőzben gazdagabb lesz, a csőben megemelkedik a nyomás. A nagyobb nyomás hatására — mivel a gáz hőmérséklete nem emelkedik — az ott levő gőz lecsapódik, a keverék itt gázban lesz gazdagabb, térfogata csökken. A hőmérséklet további emelkedésének hatására még több gőz lép ki a folyadékból, és a cső vége felé áramlik. Így a gőzben elszegényedő gáz—gőz keveréket az áramló gőz a cső végébe szorítja. A gázzal töltött tér fala hideg — a külső tér hőmérsékletének felel meg — így a gázzal elegy gőz képes kondenzálódni és a már említett módon folyadékként a párologtató térbe visszajutni. Ezáltal a csőben kialakul a már ismert körfolyamat, az állandó irányú folyadék- és gőzáram, azzal a különbséggel, hogy a cső egy részét a benne levő ballasztgáz elzárja. A gőzáram a gázt a cső végébe „tolja”, a két anyag gyakorlatilag teljesen különválnak. Találkozásuknál egy többé-kevésbé éles határfelület alakul ki, ezen át bizonyos diffúzió ugyan megfigyelhető, de nem követünk el nagy hibát, ha ezt nem vesszük figyelembe, és a határfelületet mint egy „gázzáró dugattyút” vagy „mozgó membránt” képzeljük el. A hőmérséklet változásakor ez a „dugattyú” fogja változtatni a helyét, tehát a heat pipe hossza „változik”, mivel csak a „dugattyú” előtti rész fog úgy működni, mint a „valódi” hővezető csövek.

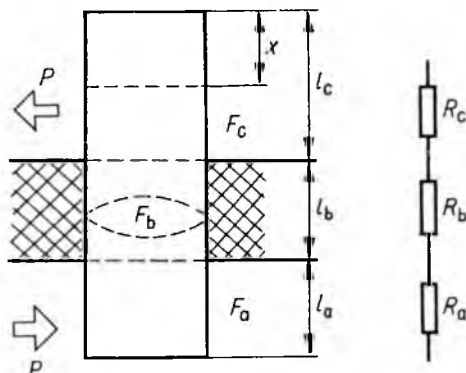
Vizsgáljuk egy ilyen l hosszúságú, változó hőcső működését olyan körülmények között, hogy az elpárologtatója l_a hosszban merül a hőtáradó közegbe, a kondenzátor szakaszból pedig a ballasztgáz x hosszúságú szakaszt elfoglal. A 15-6. ábrán is látható, hogy egy-egy tagba vontuk össze a fűtésoldali (R_a) a gőzárammal szemben tapasztalható (R_b) és a hűtésoldali (R_c) hőellenállásokat.

R_a értékét minden további nélkül számolhatjuk az első részben bevezetetteknek megfelelően R_1 , R_2 és R_3 összegeként. R_b értéke fog ugyan függeni x -től, azonban — mint azt az első részben megmutattuk — a cső teljes hőellenállását a gőzcsatorna ellenállása csak elhanyagolható mértékben befolyásolja, ezért ennek a változásával a továbbiakban nem foglalkozunk.

R_c kifejezését érdemes jobban megvizsgálni.

$$R_c = \frac{1}{F_c} \left(\frac{1}{a_c} + \frac{s}{\lambda} + \frac{MRT^2}{L^2 p} \sqrt{\frac{2\pi RT}{M}} \right).$$

R_c erősen függ a hőleadó felület (F_c)

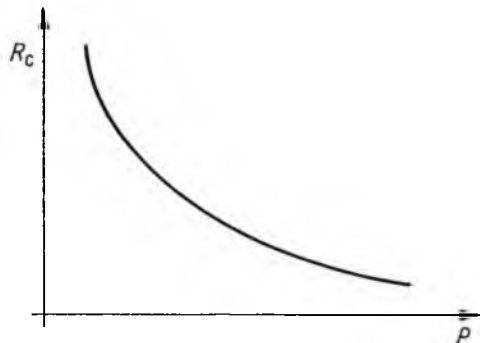


15-6. ábra. Változó hőszállító-képességű hőcső működési vázlatja

nagyságától, ami a hőcső változó működő hossza következtében változni fog.

$$F_c \approx 2r\pi(b-x).$$

Az x nagyságát, azaz a cső maradék gázok által elfoglalt inaktív részét, a maradék gáz mennyisége, és belső nyomásán keresztül az üzemi hőmérséklete határozza meg. Könnyű belátni, hogy változó teljesítmények hatására az ilyen hőcső hőmérséklete, és ezen keresztül aktív hőleadó felülete is változni fog. A hőteljesítmény növekedése esetén az eredetileg aktív felület csak nagyobb hőmérsékleten képes disszipálni a megemelkedett teljesítményt. A nagyobb csőhőmérséklet nagyobb belső nyomást okoz, ami viszont a maradék gáz térfogatcsökkenését, következésképpen az aktív hőleadó felület növekedését eredményezi.



15-7. ábra. R_c függése a szállított teljesítménytől

Végeredményképpen tehát a hőterhelés növelése az aktív hőátadó felületek növekedéséhez, azaz a hőcső R_c hőellenállásának csökkenéséhez vezet. Tapasztalataink szerint a maradék gázt tartalmazó hőcsövek $R_c(P)$ karakterisztikája a 15-7. ábrán bemutatott módon fut le. A hőcsöveknek ez a tulajdonsága hőmérséklet-stabilizációra használható ki, hiszen az $R-P$ görbe a fordított arányosságra utaló alakú.

Annak a feltételeit, hogy a hőcső elpárologtatója és ezzel együtt az általa hűtött térfogat hőmérséklete T_1 és T_2 hőmérsékletek között maradjon P_1 és P_2 teljesítmények esetén is, az ideális gázokra vonatkozó Boyle—Mariotte-törvényből kiindulva kaphatjuk meg, feltételezve, hogy a hőcső inaktív része állandó, a környezetével megegyező hőmérsékleten van.

$$p_1(V + \Delta V) = p_2V,$$

$$\frac{V}{\Delta V} = \frac{1}{\frac{p_2}{p_1} - 1},$$

ahol p_1 és p_2 a P_1 és P_2 teljesítmények szállításakor a csőben kialakult nyomások ($P_1 < P_2$);

V a ballasztgáz által a P_2 teljesítmény szállításakor elfoglalt térfogat, ami P_1 teljesítmény szállításakor még ΔV -vel nagyobb volt. A szimbólumok értelmezését egyébként a 15-8. ábra adja.

A hőleadó oldal hőátadási tényezőjének ismeretében ΔV -t meghatározhatjuk. Ha a hőátadási tényező T_1 hőmérsékleten a_1 és T_2 hőmérsékleten a_2 , akkor

$$\Delta V = r^2\pi \Delta x = \frac{r}{2} \left(\frac{P_2}{a_2} - \frac{P_1}{a_1} \right)$$

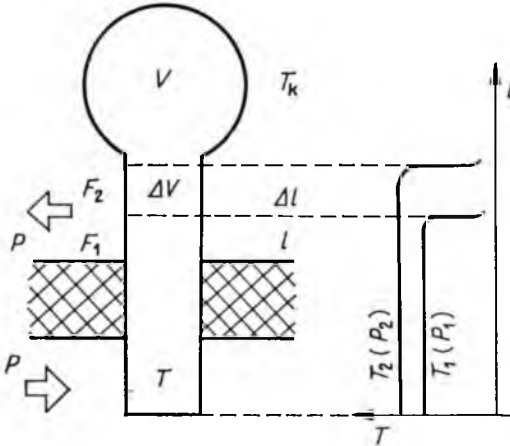
és

$$V = \frac{r}{2} \left(\frac{P_2}{a_2} - \frac{P_1}{a_1} \right) \frac{1}{\frac{p_2}{p_1} - 1}.$$

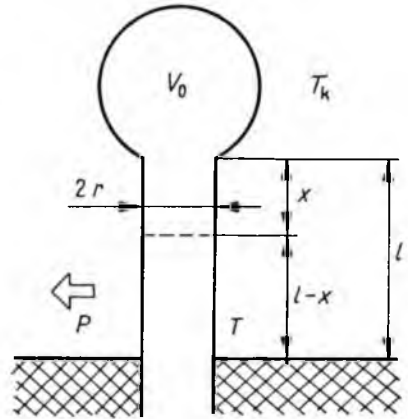
Az egyenletbe p_1 és p_2 értékeit a Clausius—Clapeyron-egyenlet felhasználásával helyettesítjük.

$$V = \frac{r}{2} \left(\frac{p_1}{a_1} - \frac{p_2}{a_2} \right) \frac{1}{\exp \left(\frac{L}{RT_1} - \frac{L}{RT_2} \right) - 1}$$

Eredményünk azt mutatja, hogy a ballasztgázt tartalmazó hőcső hőmérséklet-stabilizáló hatásának mértékére a ballasztgáz elhelyezkedésére szolgáló térfogat nagyságának van befolyása. A 15-8. ábrán vázolt térkialakításnak tulajdonképpen nyomásstabilizáló puffer szerepe van. Minél szigorúbb a követelményünk a $T_1 T_2$ intervallum nagyságára, eredményünk annál nagyobb V puffertérfogatot jelez.



15-8. ábra. Változó hőszállító képességű hőcső vázlatos rajza a ballasztgázt tartalmazó puffer edény térfogatának meghatározásához



15-9. ábra. Változó hőszállító képességű hőcső hőleadó végének vázlatos rajza a hőcső működési határainak meghatározásához és a környezeti hőmérséklet hatásának figyelembevételéhez

Ha a $T_1 = T_2$ feltételt szabjuk, akkor a csőnek „állandó nyomású üzemmódban” kell működnie. Ekkor V értékére végtelent kapunk. Tulajdonképpen ez az állapot valószínűleg meg az egyik végén nyitott cső, például egy visszafolyó hűtő esetében, amikor a végtelen nagyságú kiegyenlítő tartály az atmoszféra. Ilyenkor a nyomás atmoszferikus, és a kialakuló hőmérsékletet a munkafolyadék határozza meg. A zárt csövek esetén a kialakuló stabilizált hőmérsékletű munkapontot a töltőközeg által lehetővé tett határok között a ballasztgáz mennyisége határozza meg.

Bonyolultabb a helyzet, ha figyelembe akarjuk venni a környezeti hőmérséklet befolyásoló hatását. A környezeti hőmérséklet változása befolyásolni fogja a ballasztgáz által elfoglalt térfogatot, és ezáltal adott geometriai méretek esetén T_1 és T_2 értéket módosítani fogja.

A hőcső által elszállított teljesítményt a következők szerint számíthatjuk:

$$P = aF(T - T_k),$$

ahol T a hőcső működő részének hőmérséklete;

T_k a környezet hőmérséklete

(az egyéb szimbólumok értelmezéséhez l. a 15-9. ábrát).

Az F hőátadó felület nagyságát az $F = 2r\pi(l-x)$ összefüggés segítségével határozhatjuk meg. A kifejezésben szereplő x kiszámításához a csőbe zárt gázra felírva az általános gáztörvényt, abba a működő részben uralkodó gőznyomás értékét behelyettesítjük, hiszen állandósult állapotban a két nyomás egyenlőnek tekinthető.

$$p(V_0 + r^2\pi x) = nRT_k,$$

$$p = A \exp -\frac{B}{T},$$

$$x = \frac{nRT_k - V_0 A \exp -\frac{B}{T}}{r^2\pi A \exp -\frac{B}{T}}.$$

Eredményeinket a kiinduló egyenletbe helyettesítve:

$$P = \frac{2a}{r} \left(lr^2\pi + V_0 - \frac{nRT_k}{A \exp -\frac{B}{T}} \right) (T - T_k).$$

A kapott összefüggéseink segítségével meghatározható, hogy milyen teljesítmény, illetve hőmérséklet-határok között stabilizál a hőcső. A maximális teljesítmény szálítása esetén a hőcsőbe töltött ballasztgáz teljesen a V_0 puffertartályba van beszorítva. A maximális teljesítményhez tartozó még stabil (T_{\max}) hőmérsékletértékét x kifejezéséből kaphatjuk $x=0$ helyesítéssel. Mivel a nevező nem lehet 0,

$$nRT_k = V_0 A \exp -\frac{B}{T},$$

$$T_{\max} = \frac{B}{\ln \frac{V_0 A}{nRT_k}}.$$

A másik határeset az, ha a hűtendő térből a csővön keresztül nincs energiaáram ($P = 0$). Ebben az esetben a ballasztgáz kitölti a V_0 térfogaton kívül a teljes l hosszúságú csőszakaszt is.

$$V = lr^2\pi + V_0 = \frac{nRT_k}{A \exp -\frac{B}{T}},$$

ebből

$$T_{\min} = \frac{B}{\ln \frac{VA}{nRT_k}}.$$

Összefoglalás

Írásunkban megkíséreltünk rámutatni a hővezető csöveknek azokra az előnyös tulajdonságaira, amelyekből következik, hogy véleményünk szerint az elkövetkezendő évek technikájában nélkülözhetetlenek lesznek. Ezek közé a tulajdonságok közé tartozik a kiválóan nagy energiaszállító képesség, a kis hőkapacitás, a hőáram-egyenirányítás és hőáram-transzformáció lehetősége, és végül a hőmérséklet-stabilizáció egy — segédenergiát és felületelet nem igénylő — megoldásának lehetősége.

Eddigi eredményeink — a termovillamos generátorok hidegoldali hűtésének megoldása; koncentrátoros fotovillamos átalakítók (napelemek) hűtése; kísérleti lineáris motor álló- és mozgórészének hűtése; félvezető eszközök hűtése, ezen belül diódacsoportok önszellőztető hűtői; mikrohullámú áramköri elemek hűtése — a legmesszebbmenőkig megfeleltek várakozásunknak. Az Intézetben folyó munkánk során ezért is igyekszünk a hőcsövek kedvező tulajdonságait mind újabb és újabb területeken alkalmazni.

Reméljük, hogy a hőcsöves hűtések alkalmazásának elterjesztéséhez jelen írásunkkal is hozzájárulunk.

Irodalom

- [1] *Erdey Grúz T.—Schay G.*: Elméleti fizikai kémia. Egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó, Budapest, 1955.
- [2] *Török T.—Keleti J.—Katona Á.*: Akkumulátorok hűtése hőcsövekkel. VKI belső tanulmány 1976.
- [3] *Dr. Green, D. B.*: Thermal conductivity apparatus employing heat pipes. Philips kutatási jelentés 1972.
- [4] *Kopf, L.*: A low temperature heat pipe used as a thermal switch The Review of Scientific Instruments Vol. 42. No. 12. 1971.
- [5] Handbook of Chemistry and Physics 57th edition. CRC Press Inc. 1977.
- [6] *Perry, J. H.*: Vegyészmérnökök kézikönyve. Műszaki Kiadó, Budapest, 1968.
- [7] *Rietschel—Raiss*: Fűtés és légtechnika. Műszaki Kiadó, Budapest, 1964.
- [8] Jermyn Manufacturing Catalogue 1973. Sevenoaks Kent England.

16.

Glimm-plazmatechnológiák fejlesztése és alkalmazása a VKI-ben

BÖHÖNYEY FERENC—PALOTAI GÉZA

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a glimm-plazma kisülések speciális alkalmazásával foglalkozik. A gyakorlati eljárások közül a katódporlasztást mint vékonyréteg-előállító eljárást, valamint az irányított hőközlést biztosító glimm-plazma kisülést vizsgálja. A berendezések ismeretében túl foglalkozik az egyes technológiai alkalmazásokkal. Elsősorban a félvezető- és fotoelektromos eszközök fejlesztése terén felhasználható eljárásokat ismerteti, de kitér egyéb alkalmazási lehetőségekre is.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ В VKI

Ф. Бёхёней—Г. Палотай

Резюме

Статья занимается специальными применениями плазменных разрядов на осевом тлеющего разряда. Из практических методов анализируются катодное распыление в качестве метода изготовления тонкой пленки, и плазменный разряд на основе тлеющего разряда, обеспечивающий направленную теплообработку. Кроме описания оборудования статья занимается некоторыми технологическими применениями. В первую очередь излагаются методы, применимые в области усовершенствования полупроводниковых и фотоэлектрических элементов.

ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG VON GLIMM-PLASMA TECHNOLOGIEN IM VKI

F. Böhönyey — G. Palotai

Zusammenfassung

Der Aufsatz befasst sich mit den speziellen Anwendungen von Glimm-Plasmatechnologien. Unter den praktischen Verfahren prüft er die Kathodenzerstäubung, als Dünnschicht herstellendes Verfahren, sowie die gelenkte Wärmebehandlung sichernde Glimm-Plasmaentladung. Ausser der Darlegung der Einrichtungen befasst er sich mit den einzelnen technologischen Anwendungen. Er legt vor allem die anwendbaren Verfahren auf dem Gebiet der Entwicklung der Halbleiter-bzw. fotoelektrischen Mittel dar.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE GLIMM-PLASMA TECHNOLOGIES IN VKI

By F. Böhönyey — G. Palotai

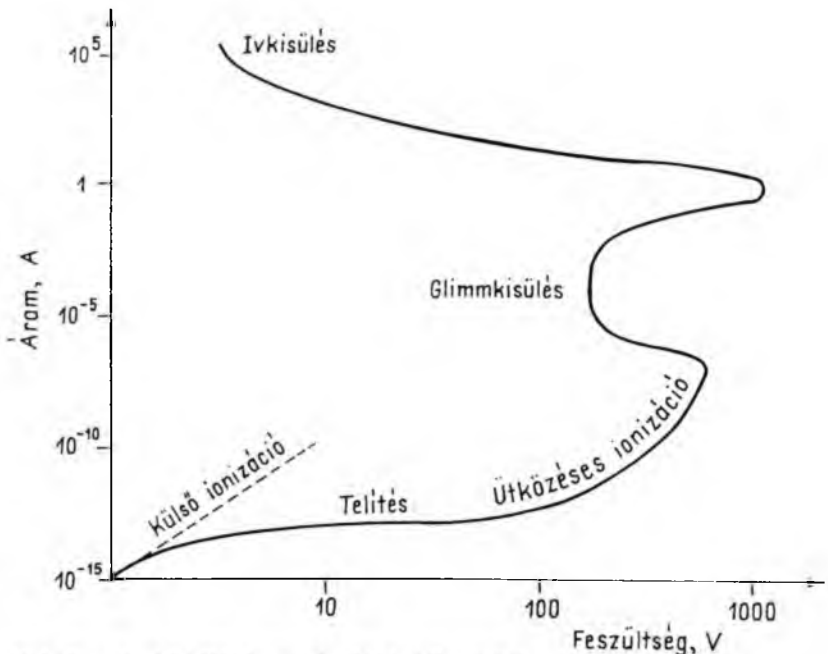
Summary

The paper deals with the special applications of the Glimm-plasma discharges. Among the practical processes the plasma sputtering — as a process producing thin film — as well as Glimm-plasma discharge ensuring directed heat treatment are investigated. Besides the introduction of the equipments it deals with some of their technological applications. First of all the paper gives a survey of the processes to be used in the development of the semiconductor and photoelectric devices.

1. Bevezetés

Napjainkban a legkülönbözőbb technológiai eljárások ugrásszerű fejlődésének lehetünk tanúi. Ilyen, az utóbbi időben fejlődésnek indult technológiai ág a plazmatechnológia.

A plazmaállapoton ionizált gázállapotot értünk, mely tulajdonképpen az anyag negyedik halmazállapota. A szilárd—cseppfolyós és cseppfolyós—gáz átalakuláshoz kb. 10^{-2} eV energia, a gáz—plazma átalakuláshoz nagyságrendileg 10 eV energia szükséges egy részecskéhez. Ezt az ionizációs energiát elektromágneses térrel, termikus úton vagy sugárzások révén lehet biztosítani. Végeredményben a plazma létrehozása egy kisülési folyamat megindítását és fenntartását követeli meg. A valóságban egy plazmában az ionizált gázatomok mellett elektronok, semleges atomok és molekulák is vannak jelen. Ezek aránya és kölcsönhatása határozza meg a plazma jellegét.



16-1. ábra. A gázkisülés áram—feszültség jelleggörbéje

A 16-1. ábrán bemutatunk egy szokásos gázkisülési karakterisztikát. A két stabil kisülési forma, az ionizációból és szekunder emisszióból álló ködfénykisülés (parázs-fénykisülés vagy glimmkisülés), valamint a termikus emisszió és egyszeres ionizáció körfolyamatán alapuló ívkisülés. A mi tématerületünk a ködfénykisülések tartománya.

Plazmában végbemenő jelenségekkel a plazmafizika foglalkozik. Mi ezen közlemény keretében csak a kisülés hatásait vizsgáljuk a technológiai felhasználás szempontjából.

A ködfénykisülések felhasználási területei régebben elsősorban a pozitív gázionok rekombinációs energiáját közvetve felhasználó eszközök voltak. PI: jelzőlámpák, fénycsövek, stabilizátor, kapcsoló- és számlálócsövek stb. Az utóbbi években nyertek nagyobb teret az ionok becsapódásakor lejátszódó folyamatokat közvetlenül hasznosító technológiai eljárások. Ezen munkánkban két ilyen technológiai eljárást ismertettünk, nevezetesen a katódporlasztást és a katódesés energiájának hőközlésre történő alkalmazását.

2. Katódporlasztás (plasma sputtering)

Az eljárás már a század elején ismert volt, azonban nagyobb szerephez csak az 50-es években, a félvezető eszközök fejlesztése során jutott, és igazán nagy jelentősége a 60-as években elterjedt rádiófrekvenciás (RF) katódporlasztásnak van.

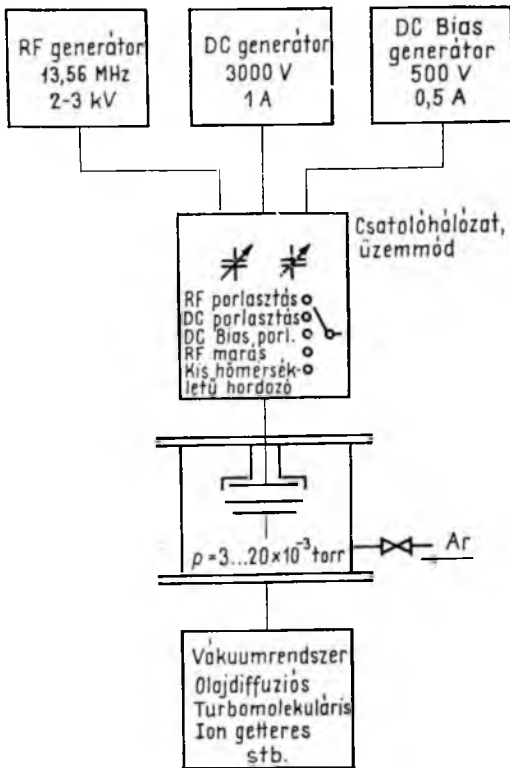
A katódporlasztás lényege, hogy a plazmában levő pozitív gázionok egy megfelelő forrásanyagból kialakított katódba (target) csapódva, ott energiájukat leadva megbontják a katód szerkezetét, és annak felületéről atomokat távolítanak el. Ezek az atomok egy vékony réteg formájában lerakódnak a plazma terébe helyezett hordozón (substrate).

A katódból kirepülő atomok számára az eltávozási energiát a becsapódó ionok szolgáltatják. Ezért a porlasztási eljárás hozama (atom/min), illetve a rétegnövekedés sebessége (Å/min) függ a forrásanyag (katód) anyagszerkezetének szilárdságától, a becsapódó ionok tömegétől, számától, sebességétől és a becsapódás szögétől. Tájelőzőként a katódporlasztó berendezésekben a szokásos teljesítménysűrűség $1...3 \text{ W/cm}^2$. 1 W/cm^2 teljesítménysűrűség mellett a rétegnövekedési sebesség nagyságrendje fémeknél $300...400 \text{ Å/min}$, szigetelőknél $80...100 \text{ Å/min}$.

A szokásos porlasztásra alkalmas berendezések fő egységei a 16-2. ábrán láthatók. A négy alapegység a vákuumrendszer, a reaktortér, amely tartalmazza a forrásanyagot és a hordozótartót az elektromos hozzávezetésekkel esetleg hűtési és fűtési lehetőségekkel, az illesztőhálózat az üzemmódkapcsolókkal és hangolószervekkel, valamint az elektromos tápegységek. Az ábrán feltüntettük a jellemző értékeket is.

A katódporlasztó berendezésekben használatos üzemmódok a következők:

- Ülepítés. A forrásanyag katód, a hordozó földpotenciálon van.
- Porlasztómarás (sputter-etch), az ülepítéssel ellentétes művelet, vagyis a hordozó a rendszeret katódja. A bombázó ionok a minták felületéről távolítanak el anyagrészeket, így rendkívül hatásos tisztítási műveletet kapunk.
- Előfeszítéses porlasztás (bias), amikor a hordozó a forrásanyagnál lényegesen kisebb negatív potenciálon van, így a pozitív ionok kis mértékben a hordozót is bombázzák. Így tömörebb, tisztább rétegszerkezet állítható elő.
- Reaktív porlasztás esetében a munkagáz (általában argon) megfelelő reaktív gázt tartalmaz (oxigén, nitrogén stb.). A gázionok reagálnak a forrás-



16-2. ábra. Katódporlasztó berendezés elvi vázlata

anyagból kirepülő atomokkal és vegyület formájában rakódnak le a hordozóra. Így egy elemi forrásanyaggal többféle vegyületszerű is ülepíthető.

- Több forrásanyag (target) egyidejű porlasztásával homogén, meghatározott összetételű réteg, egymásután alkalmazásával pedig réteges (szendvics) szerkezet állítható elő.

A katódporlasztásos eljárás előnyei más vékonyréteg előállítható eljárásokkal — mint például vákuumpárolgatás, kémiai leválasztás stb. — szemben a következők:

- A réteg tapadóképesége jobb.
- Sputter-etch alkalmazásával igen kedvező felület-előkészítés biztosítható.
- A porlasztható anyagok köre szélesebb, tartalmazza a fémeket, félvezetőket, szigetelőket és a műanyagokat is.
- Több targetes porlasztással különböző rétegek állíthatók elő a vákuumrendszer megbontása nélkül.

A felhasználási területet determinálja, hogy a katódporlasztással nagytisztaságú, kiváló minőségi jellemzőkkel rendelkező rétegeket hozhatunk létre — viszonylag drágán. Ennek köszönhető, hogy az eljárás a félvezető eszközök előállításánál, a műszeripar és más, magas követelményeket támasztó ipari eljárások technológiai



16-3. ábra. VARIAN gyártmányú rádiófrekvenciás katódporlasztó berendezés

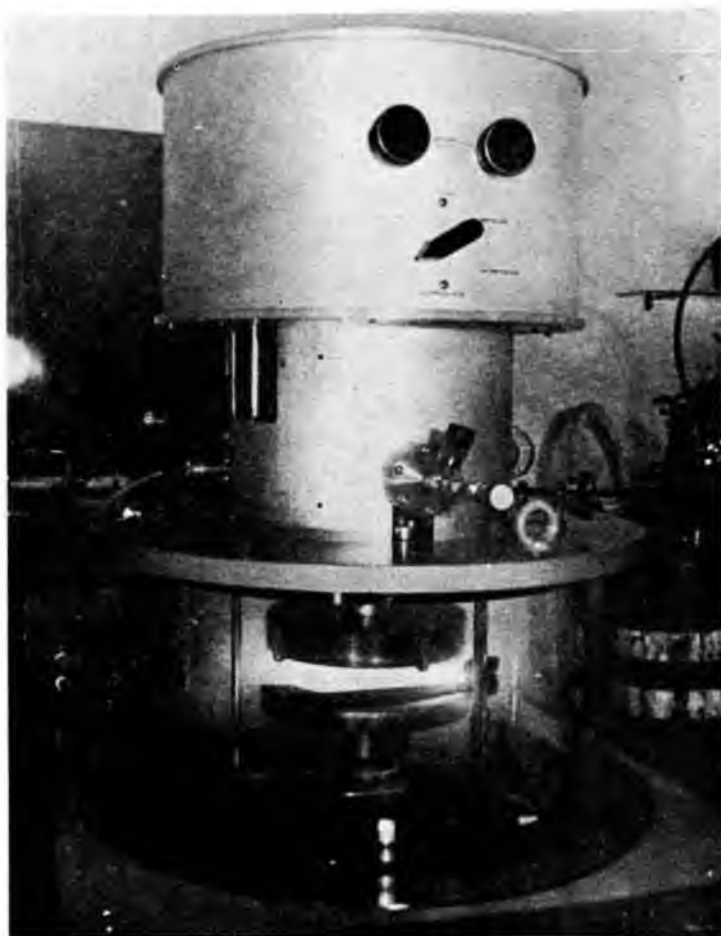
folyamataiban is. Újabban már kommersz alkalmazási területekről is olvashatunk, mint például borotvapengék éltartósítása, kozmetikai üvegek fémbevonatainak katódporlasztással történő készítése stb.

A következőkben-bemutatunk egy, a Villamosipari Kutató Intézetben használt, VARIAN gyártmányú katódporlasztó berendezést. A 16-3. ábra a berendezés távlati képe, a 16-4. ábrán az illesztőhálózat és az üzemmódkapcsoló látható.

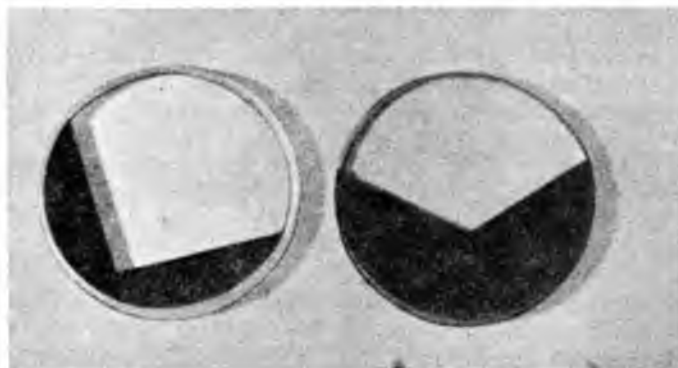
Ez a berendezés egy második generációs készülék, egy forrásanyaggal (target) dolgozik, RF, DC és DC bias üzemmódban használható. Az újabb, harmadik generációs berendezések általában több targetesek és az előzőekben felsorolt üzemmódokat együtt tudják.

A katódporlasztással előállított vékonyrétegek vizsgálatánál lényeges szempont a rétegek vastagságának mérése, a rétegek minőségének vizsgálata és a tapadóképesség meghatározása.

- Rétegvastagság-mérésre általánosan alkalmazott eljárás az interferencia elven történő mérés. A méréshez egy mérőmintán a mérendő rétegből egy reflektálóbevonattal ellátott lépcsőt kell kiképezni. A 16-5. ábrán vastagság-mérésre készített mintákat mutatunk be, a 16-6. ábrán egy VARIAN gyártmányú interferenciamikroszkóp látható. Az interferenciamikroszkópon keresztül megfigyelhető lépcső nagyságát az ismert alapinterferencia-vonalak távolságából egyszerű aránypárral határozhatjuk meg (16-7. ábra).
- A rétegek minőségének legegyszerűbb kiértékelése, amikor a réteg valamely mérhető fizikai paraméterét a tömbanyag megfelelő paraméteréhez hason-



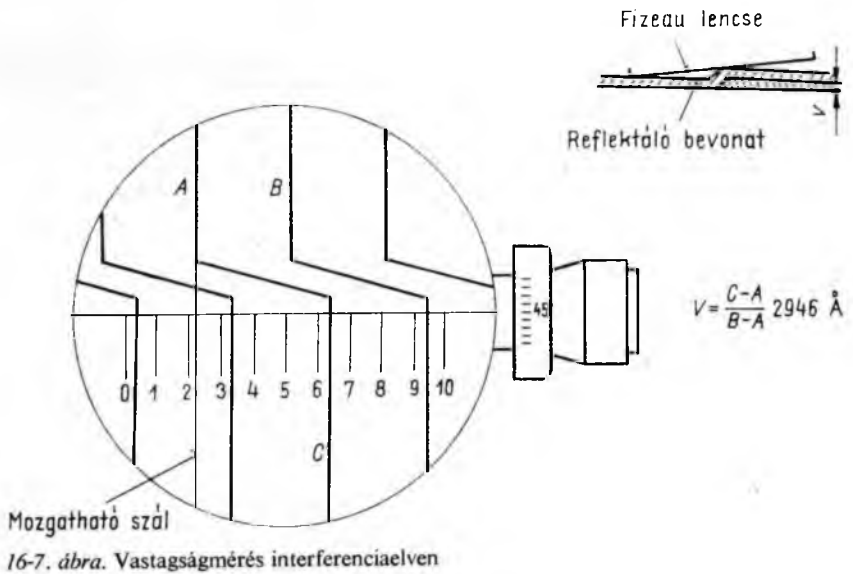
16-4. ábra. VARIAN gyártmányú katódporlasztó berendezés illesztőegysége az üzemmód-kapcsolóval

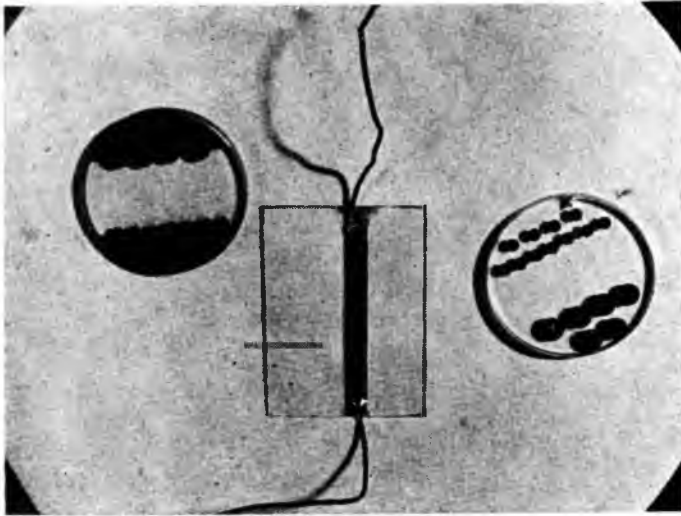


16-5. ábra. Vastagságmérő minták



16-6. ábra. VARIAN gyártmányú interferencia-
mikroszkóp





16-8. ábra. Permittivitás és rezisztencia mérésére szolgáló minták

lítjuk. A rétegek fajsúlyából és marási sebességéből a tömörségükre, rezisztivitásukból (fajlagos ellenállásukból), permittivitásukból és átütési szilárdságukból a tömörségükre és tisztaságukra következtethetünk. Ilyen vizsgálati minták láthatók a 16-8. ábrán.

- A tapadóképesség-vizsgálatok során egy meghatározott felületű réteg leszakításához szükséges erő nagyságától következtethetünk az egyes anyagoknál a hordozó felületi előkészítésének minőségére.

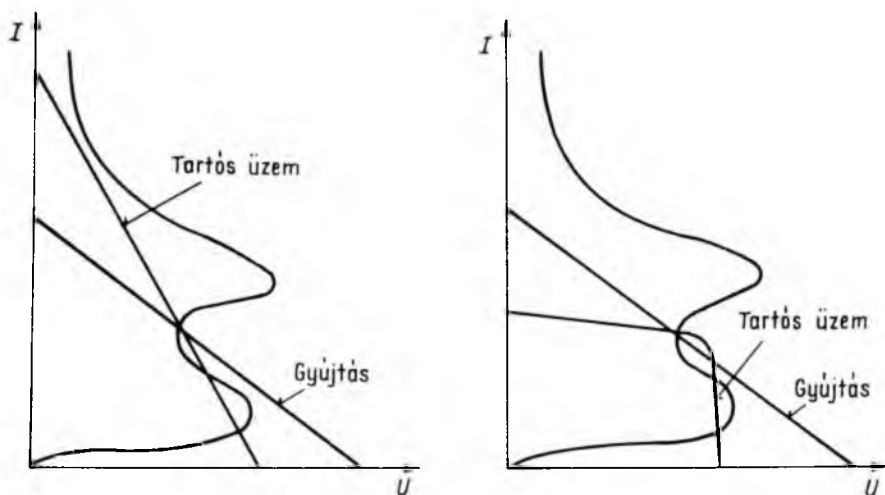
3. Egyenáramú glimm-plazma hőközlés

A ködfény vagy glimm-plazma kisülések nem tartoznak a nagy energiájú folyamatok közé — alkalmazási területük 1...10 kW nagyságrendben van — de speciális tulajdonságaik révén bizonyos hőközlési feladatokra előnyösen alkalmazhatók.

A hőközlés szempontjából a glimm-plazma kisülés egyik lényeges tulajdonsága, hogy a kisülési térben a feszültségés legnagyobb része közvetlenül a katód közelében lép fel (katódésés). A katódésés után az anódig terjedő többszörösen ionizált, jól vezető rész a pozitív oszlop (vagy anódoszlop) csaknem azonos potenciálon van a vele érintkező anóddal. Mivel így a betáplált energia a katódra koncentrálódik, az effektus egy jó hatásfokú, kváziközvetlen hőközlést eredményez. A kisülés másik lényeges tulajdonsága, hogy a glimm-plazma egyenletesen borítja be a katódot, ami homogén, illetve a katód megfelelő kialakításával irányított hőközlést biztosít.

A következőkben bemutatunk egy, a Villamosipari Kutató Intézetben készített, félvezető technológiai eljárásoknál alkalmazott, a teljes aktív felületen homogén hőközlést biztosító egyenáramú glimm-plazma reaktort.

A tervezési alapkoncepciókat a 16-9. ábra szemlélteti. Az ábra bal oldalán látható kisülési karakterisztikánál két munkaegyenest tüntettünk fel. A laposabb, gyújtás feliratú munkaegyenes alkalmas a kisülés indítására és fenntartására, viszonylag rossz hatásfok mellett. A meredekebb, tartós üzem feliratú munkaegyenes jobb hatásfokú kisülést eredményez, üresjáratú feszültsége azonban nem elegendő a kisülési folya-

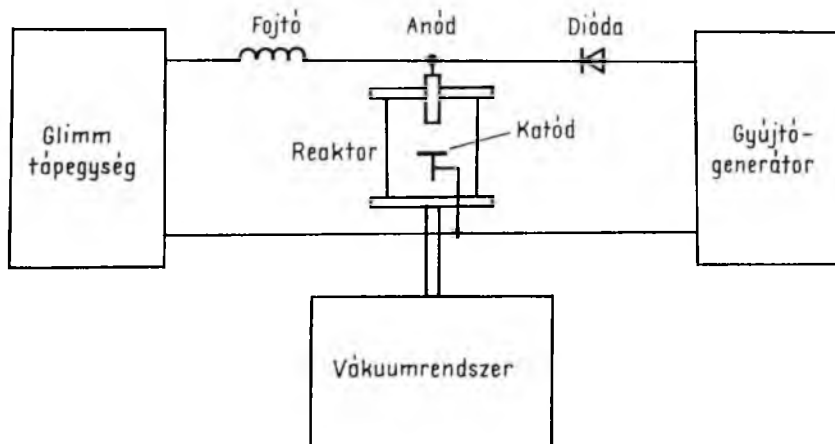


16-9. ábra. Egyenáramú glimmkisülés tervezési alapjai

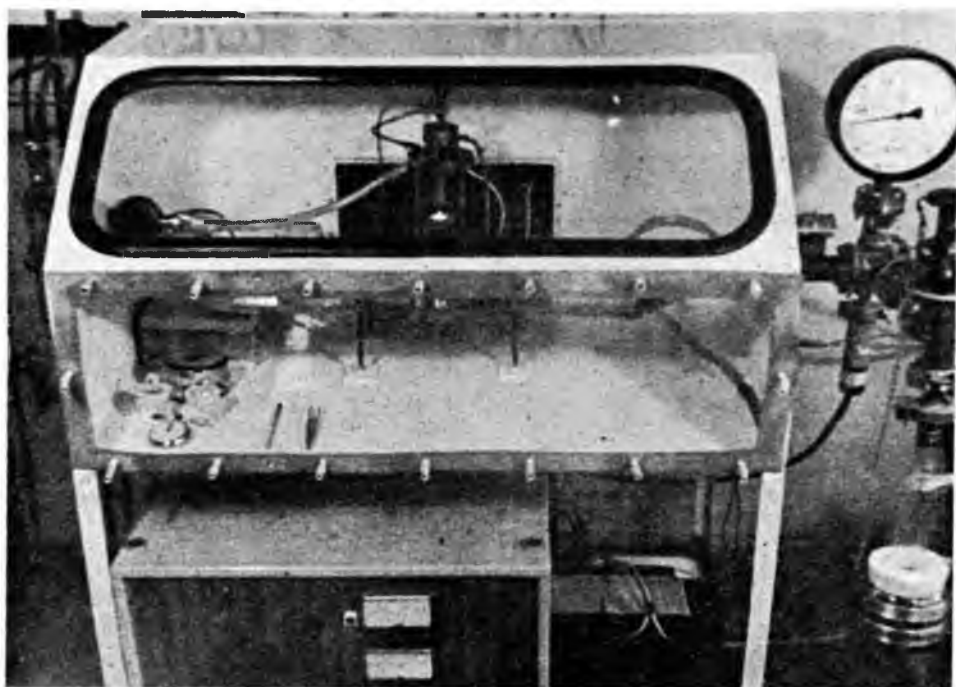
mat indításához. Megoldásként tartós üzemben a jobb hatásfokot biztosító meredekebb munkaegyenest alkalmaztuk, és a kisülés indítását egy másik, nagyfeszültségű impulzust szolgáltató generátorral végeztük. Stabilabb kisülés és kedvezőbb szabályozási lehetőség érhető el a 16-9. ábra jobb oldalán látható, tartós üzem feliratú jelleggörbével rendelkező generátor alkalmazásával, mely pentóda- vagy tranzisztor-karakterisztikával valósítható meg.

Az egyenáramú glimm-plazma reaktor blokkvázlata a 16-10. ábrán látható. A gyújtógenerátor nagyfeszültségű impulzusa ellen fojtótekerics védi az egyenáramú tápegységet, míg a gyújtógenerátor kimenetén elhelyezett dióda az egyenfeszültséget választja le. A 16-11. ábrán bemutatjuk az elkészült berendezés képét, a 16-12. ábrán a reaktortér látható.

A berendezéssel végzett munkáink során kedvező tapasztalatokat szereztünk a hőközlés egyenletességét és szabályozhatóságát illetően.

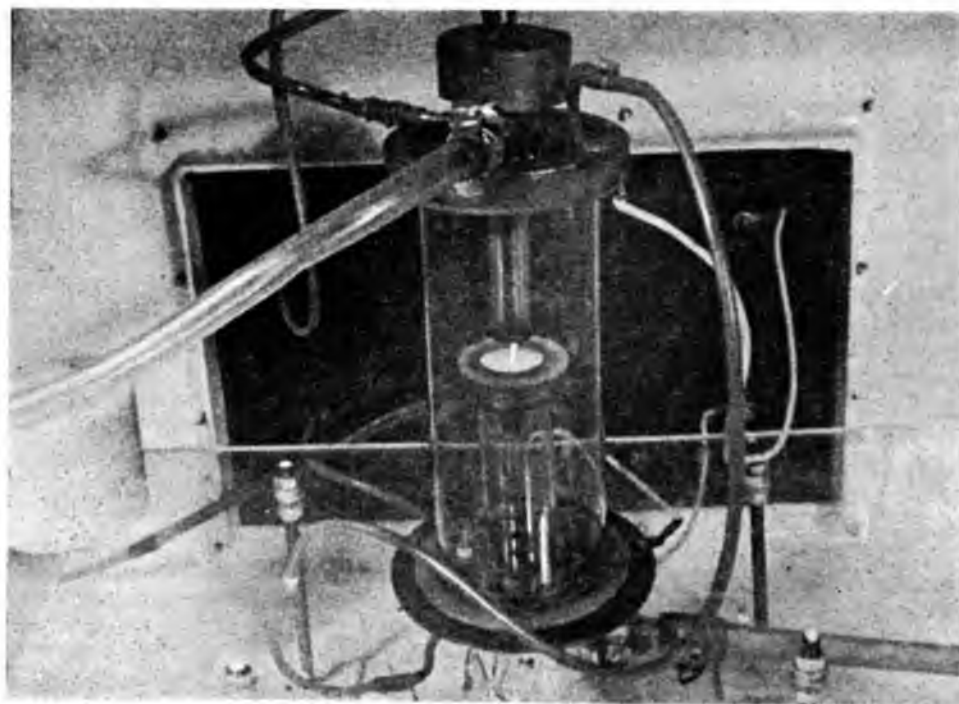


16-10. ábra. Glimm-reaktor blokkvázlata



16-11. ábra. Hőközlésre alkalmas egyenáramú glimmplazma-berendezés

16-12. ábra. Egyenáramú glimmplazma-berendezés reaktortere



4. Kísérleti eredmények

A Villamosipari Kutató Intézetben az elmúlt időszakban a plazmatechnikákkal kapcsolatban végzett munkáink elsőrendű alkalmazási területe az erősáramú félvezető, illetve fotovillamos elemek fejlesztése és laboratóriumi gyártása volt.

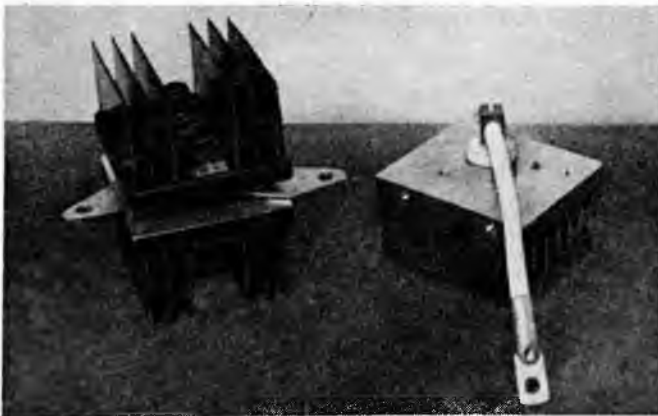
A nagyfeszültségű dióda család (50...500 A tartós határáram, 3000 V-ig terjedő határfeszültség) kifejlesztése során a pn-átmeneteket az egyenáramú glimm-plazma reaktorban állítottuk elő, speciális sík „melting back” módszerrel. A nagyfeszültségű



16-13. ábra. 100 A-es, 3 kV-os dióda



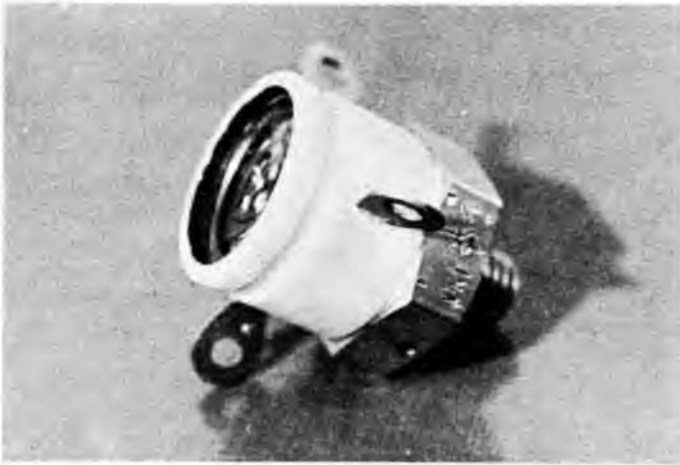
16-14. ábra. 100 A-es és 400 A-es tárcsadiódák



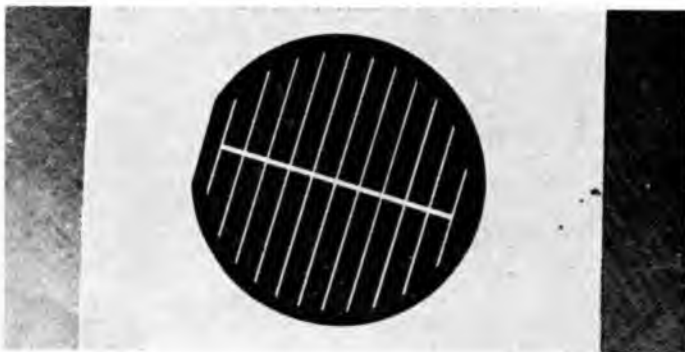
16-15. ábra. Hűtőtönkre szerelt diódák



16-16. ábra. 25 A-es fototirisztor



16-17. ábra. 25 A-es 3 szegmensű rotisztor



16-18. ábra. 250 mW-os napelem

diódák és fototirisztorok felületvédelmét rádiófrekvenciás katódporlasztással felvitt szilíciumnitrid réteggel biztosítottuk. Ezen elemek képeit a 16-13—16-17. ábrákon mutatjuk be.

A legújabban kifejlesztett \varnothing 50 mm-es Si egykristály alapú, 250 mW-os napelem technológiájának több lépcsőjében is szerepel a katódporlasztás. Si_3N_4 diffúziós maszkot, illetve antireflexiós bevonatot, Ti—Ag szendvics kontaktusrétegeket állítjuk elő ezzel a módszerrel. Ilyen napelem látható a 16-18. ábrán.

A félvezető elemek fejlesztésén túl több intézet és vállalat számára állítjuk elő a különböző vékonyréteg-bevonatokat katódporlasztással.

17.

Plazmatechnológiai berendezés a házgyári betonpanelek felületi hőkezelésére

*ERDŐS JÓZSEF—KRAJCSOVICS FERENC—
MLINKÓ TAMÁS*

ÖSSZEFOGLALÁS

Homlokzati betonpanelek plazmával történő felületképzésére kísérleti üzem épült. A nagyüzemi sorozatgyártás céljára tervezett és épített plazmagenerátor üzemeltetésének villamos feltételeit egyedi tápegység biztosítja. A cikk témája a tápegységgel szemben támasztott követelmények és teljesítésük. A plazmagenerátor biztonságos indításához és folyamatos üzemeltetéséhez szükséges víz-, gáz- és gyújtás problémakörének ismertetése és megoldása; a plazmaberendezés beillesztése a házgyári technológiába.

ПЛАЗМЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ДОМОСТРОИТЕЛЬНЫХ БЕТОННЫХ ПАНЕЛЕЙ

Й. Эрőш—Ф. Крайчович—Т. Млинко

Резюме

Построен опытный цех для поверхностной обработки плазмой фасадных бетонных панелей. Электрические условия работы плазмотрона, спроектированного и построенного с целью крупно-серийного производства, обеспечиваются отдельным источником питания. В статье излагаются потребности к источнику питания и их реализация. Даны описание и решение круга проблем обеспечения воды, газа и зажигания при надежном запуске и непрерывной работе плазмотрона, кроме этого внедрение плазменного оборудования в технологию домостроительных заводов.

PLASMA-TECHNOLOGISCHE EINRICHTUNG FÜR OBERFLÄCHENWÄRMEBEHANDLUNG DER DURCH DIE HAUSFABRIK HERGESTELLTEN BETONPANEELE

J. Erdős — F. Krajcsovics — T. Mlinkó

Zusammenfassung

Für die Oberflächen-Ausbildung der frontalen Betonpaneele durch Plasma wurde ein Versuchsbetrieb gebaut. Die elektrischen Betriebsbedingungen der Inbetriebhaltung des für grossbetriebliche Serienproduktion entworfenen und gebauten Plasmagenerators werden durch eine Einzelspeiseeinheit gesichert. Die gegenüber der Speiseeinheit gestellten Anforderungen und deren Verwirklichung. Die Darlegung und die Lösung der zum sicheren Anlauf und zur kontinuierlichen Inbetriebhaltung des Plasmagenerators benötigten Wasser-, Gas- und Zündungs-Probleme. Der Einsatz der Plasmaeinrichtung in die Hausfabrik-Technologie.

PLASMA-TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR SURFACE HEAT-TREATMENT THE CONCRETE PANELS MADE IN FACTORIES PRODUCING BUILDING ELEMENTS

By J. Erdős — F. Krajcsovics — T. Mlinkó

Summary

For surface formation of the frontal concrete panels by plasma an experimental plant was built. The electrical conditions of the operation of the plasma generator designed and built for serial production are provided with a special supply unit. Claims made against the supply unit and their realization. Introduction and solution of the water, gas and ignition problems needed for starting and operating the plasma generator safely and continuously. The insertion of the plasma equipment to the technology of the factory for prefabricated elements.

1. Bevezetés

1977 év végére befejeztük a házgyári betonpanelek felületi plazmakezelésre alkalmas kísérleti üzem telepítési munkáit. Az OMFB megbízásából végzett kétéves kutatási-fejlesztési munka eredményeként a 43. sz. Állami Építőipari Vállalat 4. sz. Házgyárában megépült az első, a házgyári technológia sebességéhez illeszkedő kapacitású plazmatechnológiai berendezés. A technológia telepítésének anyagi feltételeit az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium és a 43. sz. ÁÉV biztosította.

A technológiai berendezést lényegében mozgatószerkezetre szerelt fűvókarendszer képezi, amelyen keresztül nagynyomású és nagyhőmérsékletű gáz áramlik. A gázt egyenáramú villamos ívvel hevítik. A fűvókarendszerből kiáramló nagyhőmérsékletű plazmaláng a betonpanelek felületét megolvasztja és az olvadék lehűlés után üveges, jól tapadó, esztétikus hatású, újszerű bevonatot eredményez. A kísérleti üzemből a kívánt technológiai sebességet hat plazmagenerátor egyidejű üzemelésével biztosítottuk.

A plazmatechnológiai berendezés leglényegesebb része a plazmagenerátor és annak üzemeltetését biztosító részegységek. Az üzemelő plazmagenerátor környezetében létesített további berendezések az adott technológiai cél elérését szolgálják: Biztosítják a plazmaláng — előírásnak megfelelő — programozott elmozdulását, a munkanyag elhelyezését és védelmi szempontok érvényesülését.

A továbbiakban részletesen foglalkozunk a házgyári betonpanelek felületi plazmakezelésre kialakított plazmagenerátorral, az egyenirányító tápegységgel, a plazmaláng létrehozásához szükséges gyújtóegységgel, valamint a hűtőrendszer és a munkagázellátás megoldásával. Végül röviden ismertetjük a plazmatechnológia konkrét alkalmazását.

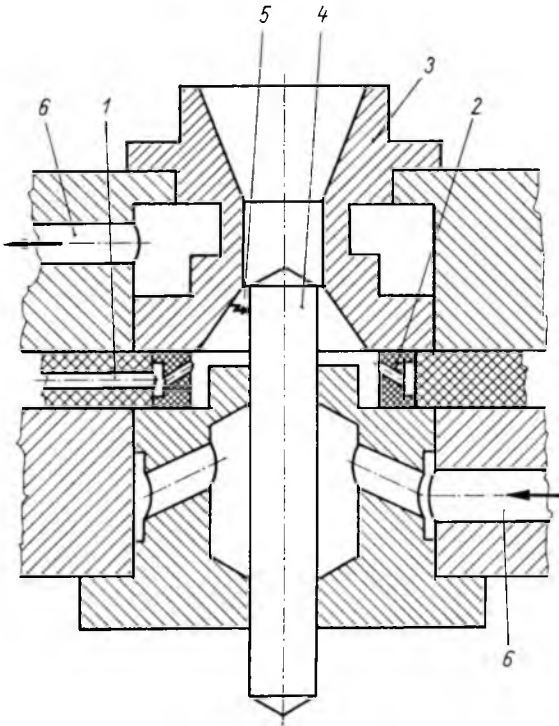
2. Plazmagenerátor

A technológia megvalósításának érdekében elsősorban egy nagyteljesítményű, megbízhatóan működő és gazdaságosan üzemeltethető plazmagenerátort kellett kifejlesztünk. Az építőipari célra tervezett plazmagenerátor kialakításához egy kisteljesítményű, belsőíves plazmaégó üzemeltetése során nyert tapasztalatokból indultunk ki. Az átalakítást az építőipari technológia nagy munkasebessége tette szükségessé. A fejlesztés leglényegesebb irányát a felület megömlesztésére alkalmas hőmérsékletű plazmalyaláb hatékony átmérőjének növelése határozta meg.

A megömlesztett sáv szélessége és a plazmagenerátor (vagy a megmunkálandó anyag) mozgási sebessége együttesen szabja meg a megömlesztés sebességét, illetve a termelékenységet. A két fő paraméter adatainak optimális értékét több tényező figyelembevételével választottuk meg. Tisztázni kellett:

- a plazmagenerátor távolságát a munkaanyagtól,
- az alkalmazott gáz minőségét,
- az alkalmazott gáz mennyiségét,
- a megmunkálandó felületen az égetés erősségének (rusztikus hatás) feltételeit,
- a villamos teljesítmény hatását,
- a plazmaláng dőlési szögét és alakját,
- a megmunkálás sebességét,
- a munkagázellátás egyenletességét,
- az elektródkonstrukciót,
- az ipari felhasználás körülményeit kielégítő elektród-élettartamot,
- a plazmakezelés során kialakult bevonat esztétikai hatását és épületfizikai tulajdonságait (fagyállóság, páradiffúzió stb.).

Az egyes paraméterek nagy variációs lehetősége miatt előkísérleteinket néhány lényeges tulajdonságra koncentráva végeztük el és a kapott eredmények értékelése után megterveztük az első nagyteljesítményű plazmagenerátort. A generátor több fokozatban történő továbbfejlesztésével a szabadalmi bejelentés igényeit kielégítő és az építőipar elvárásainak teljesítését biztosító égőtípust dolgoztunk ki.

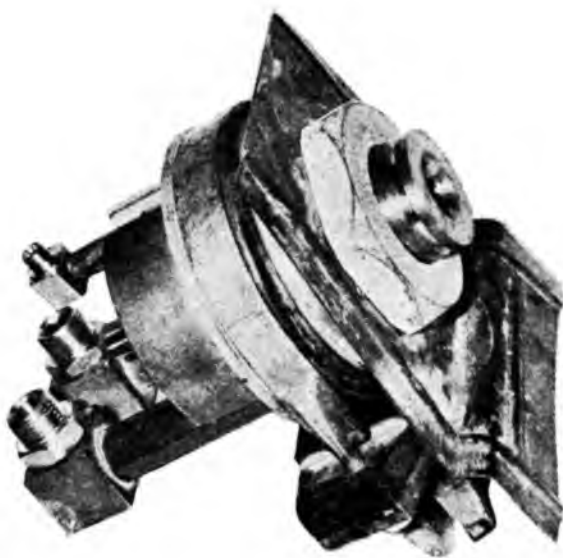


17-1. ábra. Építőipari plazmagenerátor elektródelrendezése

A 17-1. ábrán a kísérleti üzemben működő plazmagenerátor elektródelrendezését mutatjuk be. Az 1 csatlakozón érkező N_2 munkagáz a 2 elosztógyűrű 24 db 120° -os dőlésszögű furatán egyenletes elosztással áramlik az elektródtérbe. Az elektródteret szűkülő – egyenes – táguló csatornarendszert kialakító 3 vörösréz körgyűrű (anód) veszi körül, amely a 4 wolframrúd katódot foglalja magába. A plazmalángot létrehozó 5 villamos ív a legkisebb áramlási keresztmetszetnél jön létre. Az elektródok védelmét intenzív vízűtés 6 biztosítja.

Az anódkonstrukció fejlesztése során olyan elrendezést alakítottunk ki, amellyel jelentősen csökkentettük az anódhoz szükséges réz mennyiségét és a gyártási időt. A megoldás lényege az, hogy az anódtestet — célszerűen megválasztott szakaszokban — két, illetve három részre bontva készítettük el és így csupán egy — az üzemelés során leginkább igénybe vett — részt kell kicserélni. További lényeges műszaki előnyt és gazdaságos megoldást jelentett az eddig rézágyban, forrasztással rögzített és számos hibaforrással rendelkező wolframagú katód lecserélése, több cm hosszú wolframrúdra. Ennek a katódtípusnak az élettartama több száz órára tehető, mivel az üzemelés során bekövetkező anyagfogyás a rúd előtölésével, illetve időnkénti megmunkálásával kompenzálható.

Az építőipari célra kialakított és a 4. sz. Házgyárban működő plazmagenerátorok külső konstrukcióját a technológia helyi körülményeinek ismeretében alakítottuk ki. A kb. 7 kg súlyú plazmagenerátor (17-2. ábra) csavaros rögzítéssel csatlakozik a mozgatóberendezéshez.



17-2. ábra. Építőipari plazmagenerátor

Vízzel hűtött gumitömlőkben (munkakábel) helyezkednek el a sodrott kivitelű villamos kábelek. A villamos ív létrehozásához alkalmazott nagyfeszültségű gyújtókábel, valamint a munkagáztömlő a villamos munkakábellel párhuzamosan haladnak és mindhárom kábelvégződés oldható csavaros kötéssel csatlakozik a plazmagenerátorhoz. Egy-egy generátorhoz tartozó kábelek és tömlők súlya kb. 15 kg. A kábelek-

nek a plazmagenerátor mozgásától függő követési útját csapágyazott kábelgördítő dobok biztosítják.

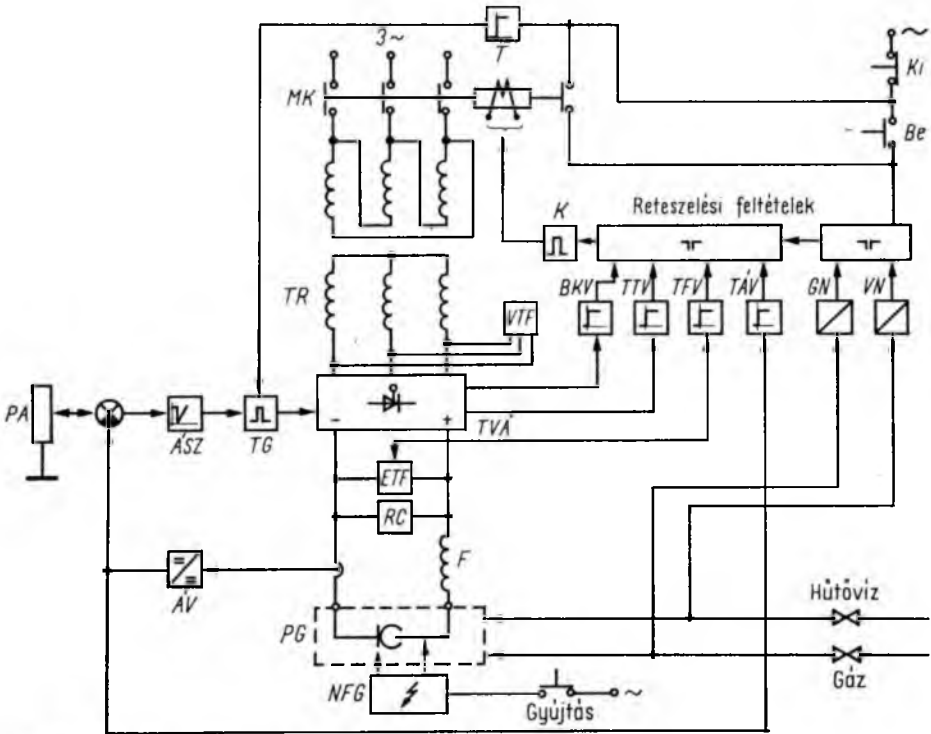
A plazmaképzéshez és a plazmagenerátor üzemeltetéséhez biztosítani kell az egyenáramú tápegységet, gyújtógységet és a gáz-, valamint a hűtővízellátást.

3. Tápegység

A PG plazmagenerátort szabályozott, teljesen vezérelt tirisztoros tápegység látja el villamos energiával. A szabályozott tápegységgel szemben támasztott követelményeket részben a plazmagenerátor beállított áramának állandósága, részben a tápegység kapcsolási elrendezéséből, védelmi köreiből adódó sajátosságok határozzák meg.

A következőkben részletesen kiemeljük azokat a fő szempontokat, amelyek döntően meghatározzák a plazmagenerátor tápegységének legfontosabb tulajdonságait.

A technológiai folyamat legfontosabb követelménye az, hogy állandó legyen az ívenergia. A plazmagenerátor egyenletes ívenergiája állandó gázmennyiséget (gázadagolást) és állandó áramot igényel. A gázmennyiség állandóságát a villamosenergia-ellátástól függetlenül kell biztosítani. Az állandó áramot szabályozóberendezés biztosítja, amely a hálózati feszültségingadozástól és a differenciális ívellenállás változásaitól (nem tökéletes gázadagolás) függetlenül az áram középértékét a beállított értéken tartja.



17-3. ábra. Plazmagenerátor tirisztoros tápegység blokkvázlata

Az áramirányító terhelése (az ívellenállás) rezisztív jellegű, aminek a következtében az áram követi az egyenirányított feszültség alakját. Az áram hullámosságát az áramirányítóval sorbakapcsolt F fojtótekerics beiktatásával kívánt mértékűre csökkentjük. A fojtótekerics induktivitását az áramirányítót tápláló TR transzformátor szekunder feszültsége és a technológia, valamint a plazmagenerátor elektródjának kialakításából adódó, megengedett áramváltozás mértéke határozza meg. Az áramirányító terhelése tehát rezisztív induktív jellegűvé válik, aminek az impedanciája az ív nemlineáris jellege miatt az áram értékétől függően változik.

A kivitelezett tápegység főáramkörü villamos paraméterei:

a transzformátor adatai:

$$P = 160 \text{ kVA}$$

$$U_1/U_2 = 3 \times 380/3 \times 240 \text{ V}; 50 \text{ Hz}$$

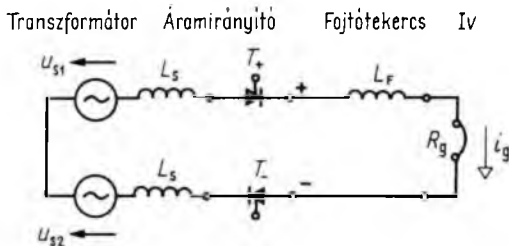
$$\varepsilon = 4,5\%$$

a fojtótekerics adatai:

$$I_{\max} = 500 \text{ A (maximális áramváltozás állandósult állapotban } 0,05I_{\max})$$

$$L = 5,5 \text{ mH.}$$

Tekintettel arra, hogy a TVA áramirányító háromfázisú, teljesen vezérelt híd-kapcsolású, a fedéstől eltekintve minden pillanatban két tirisztor vezet egyszerre. A terhelőáramkör helyettesítő kapcsolási rajzát a 17-4. ábra szemlélteti. A helyette-



17-4. ábra. Terhelőáramkör helyettesítő kapcsolási rajza

sítő kapcsolási rajzban az áramkör ellenállását (az ívellenállást kivéve) elhanyagoltuk. Ennek megfelelően a transzformátor szekunder fázisimpedanciája, a primer oldalt is a szekunder oldalra redukálva és a rezisztív komponenst elhanyagolva, a rövidzárási impedanciának felel meg.

A transzformátor szekunder áramkörének szórási induktivitása:

$$2L_s = 2 \frac{\varepsilon [\%]}{100} \frac{U_2^2 [\text{V}^2]}{P [\text{kVA}] \cdot 10^3} \frac{1}{\omega [1/\text{s}]} 10^3 [\text{mH}]. \quad (1)$$

Behelyettesítve (1)-be a transzformátor adatait:

$$2L_s = 0,1 \text{ mH.}$$

Az áramkör eredő induktivitása, ill. reaktanciája 5,6 mH, illetve 1,758 Ω .

Az ív mért áramát és feszültségét, valamint az áramirányító terhelőáramkörének számított adatai:

Áram, A	Feszültség, V	Ívellenállás, Ω	Fredő impedancia, Ω	φ° terhelési fázisszög
500	90	0,18	1,765	84
400	91	0,227	1,775	82,7
350	95	0,271	1,785	81,2
300	105	0,35	1,795	78,7
250	126	0,503	1,825	74
200	132	0,66	1,88	69,4
150	137	0,913	1,98	62,5
100	145	1,45	2,24	50,5
50	150	3	3,48	30,4

A táblázatból jól látszik, hogy az ív kialakulásakor rezisztív, majd rezisztív—induktív, ill. induktív jellegű az áramirányító terhelőáramkör. (Az ív megszűnésekor a jelleg-változás fordított.)

A tápegység felépítése a 17-3. ábrán látható.

A *TVÁ* áramirányítót *TR* transzformátor táplálja, amelyet az *MK* mágneskapcsolóval lehet a hálózatra kapcsolni. Az áramirányító váltakozóáramú pontjaira a *VTF* váltakozóáramú, egyenáramú pontjaira az *ETF* egyenáramú túlfeszültség-védelmi egység kapcsolódik, ezek védik meg az áramirányító tirisztorait a túlfeszültségektől.

Az áramirányító az *F* fojtótekerccsen keresztül a *PG* plazmagenerátor elektródjaira csatlakozik. A plazmagenerátor gyújtását az *NFG* nagyfeszültségű gyújtóegység biztosítja. A nagyfeszültségű gyújtóegység szintén a plazmagenerátor elektródjaira kapcsolódik. Az áramirányító félvezetőit az áramirányító kimeneti pontjaira csatlakozó *RC* kör védi meg (a fojtótekerccsel együtt) a gyújtás pillanatában fellépő túlfeszültségektől. Reteszelőáramkör teszi lehetővé az áramirányító bekapcsolását, ha a megfelelő feltételek teljesülnek, illetve kikapcsolja az áramirányítót, ha a feltételek valamelyike nem teljesül.

Reteszelési feltételek:

- VN* hűtővíz,
- GN* gáznyomás,
- BKV* az áramirányító biztosítójának kiolvadása,
- TTV* az áramirányító túlterhelése (termikus),
- TFV* az áramirányító túlfeszültsége,
- TÁV* az áramirányító túlárama (pillanatszerű).

Az áramirányító tirisztorait a *TG* gyújtóegység impulzusai gyújtják. A *PA* potencióméterrel beállított áramot az *ÁSZ* áramszabályozó a beállított értéken tartja. Az áramérzékelés az *ÁV* egyenáramú áramváltóval történik.

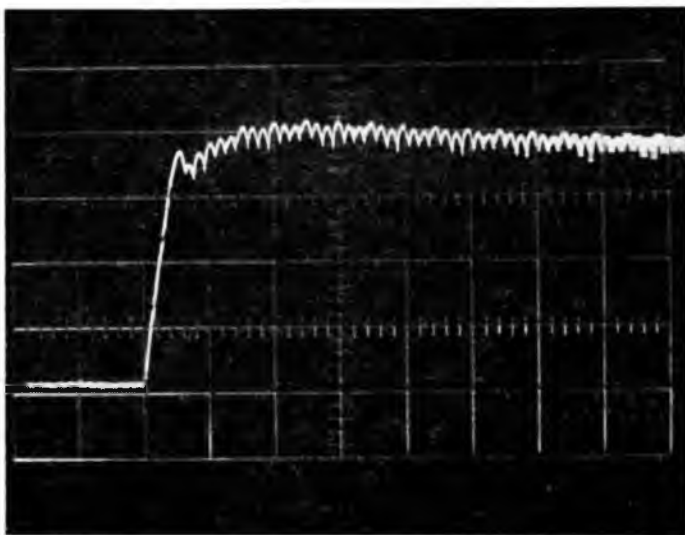
Az áramszabályozó feladata, hogy az állandó áramon túlmenően biztosítsa azt, hogy az ív gyújtásakor kialakuló áram túllendülés nélkül érje el a beállított, állandósult értéket.

Az energiaellátó berendezés felépítéséből következik, hogy a gyújtáshoz szükséges ($I_g = 0$) elektródok közötti feszültséget a főtranszformátor szolgáltatja. Ez a feszültség kb. 260 V egyenfeszültség. A mellékelt táblázatból látszik, hogy az ív rezisztenciája az áram növekedésekor csökken, illetve a differenciális ellenállás zérushoz tart:

$$\lim_{I_g \rightarrow \infty} R_g(I_g) = 0. \quad (2)$$

A szabályozás megfelelő kialakítása és beállítása biztosítja, hogy gyújtáskor a kialakuló áram túllendülés nélkül éri el az állandósult értéket. A szabályozó felépítése célszerűen PID (arányos — integráló — differenciáló), és az integráló, valamint differenciáló tagok időállandói úgy vannak megválasztva, hogy a differenciálóhatás — elsősorban gyors változáskor — lényegesen erősebben érvényesül az integrálóhatásnál.

Gyújtáskor a tápfeszültség lényegesen nagyobb a kialakuló ívfeszültségnél, ez az áram gyors kialakulását segíti elő. A fojtótekercs és az áramvisszavezetésben levő differenciálóhatás az áram „zárlati jellegét” korlátozza. A differenciálóhatásra elsősorban az ív csökkenő ellenállása miatt van szükség. Minél inkább megközelíti az áram az állandósult értékét, a bekapcsolás ideje alatt adott feszültségváltozáshoz annál nagyobb áramváltozás tartozik.



17-5. ábra. Bekapcsolási oszcillogram

vízszintes lépték; 1 osztás = 20 ms
függőleges lépték: 1 osztás = 130 A

A 17-5. ábrán látható bekapcsolási oszcillogram alapján megállapítható, hogy az áram kb. 10 ms alatt eléri az állandósult értékét és nem kívánatos túllendülés nem következik be.

Az áramirányító kikapcsolása a *K* késleltetőelem által biztosított időkésleltetéssel történik. Kikapcsolási parancsra, vagy ha a felsorolt reteszelési feltételek közül legalább egy megszűnik, a *T* elem letiltja a tirisztorok gyújtóimpulzusait, majd a beállított késleltetési idő eltelte után az *MK* mágneskapcsoló árammentes állapotban kikapcsol.

A késleltetés kellő biztonsággal történő beállításához megvizsgáljuk az induktív terhelésű áramirányító áramviszonyait az impulzusok letiltásától egészen a kikapcsolásig. Ha a tirisztorok gyújtóimpulzusait vezetési állapotban letiltjuk, akkor a letiltás pillanatában vezetési állapotban maradt két tirisztoron keresztül az áram addig folyik, amíg az induktív terhelésben felhalmozott mágneses energia zérusra nem csökken.

A 17-4. ábrán látható helyettesítő kapcsolási rajznak megfelelően:

$$u_{s1} - u_{s2} = i_g R_g + (2L_s + L_F) \frac{di_g}{dt}, \quad (3)$$

ahol

$$R_g = R_g(I_g)$$

nemlineáris differenciálegyenlettel jellemezhetjük az áramkört. Ha az induktív terhelésben felhalmozódott mágneses energia nagy, akkor a tirisztorok (T_+ , T_-) nyitva maradnak és az áramkört a TR transzformátor fázisfeszültségének különbsége továbbra is táplálja. Ennek a tápfeszültségnek nincs egyenáramú összetevője, aminek következtében a tiltás pillanatában folyó I_{g0} iváram az áramkör időállandójának megfelelően zérusra csökken. Az egyfázisú váltakozóáramú táplálás következtében kialakuló váltakozóáram pozitív félperiódusban növeli, negatív félperiódusban csökkenti a csökkenő egyenáramot, így a kettő eredője határozza meg az áramkör tényleges $i_g(t)$ áramát.

A váltakozóáramot két komponensre bonthatjuk. Amikor a következő tirisztor gyújtása elmarad és a korábban nyitva maradt tirisztorokon keresztül érvényesül a transzformátor egyfázisú feszültsége, akkor tulajdonképpen egyfázisú váltakozóáramú feszültség kapcsolódik az induktív áramkörre. A tranziens folyamat alatt a kialakuló áram két komponensből áll, amelynek egyenáramú összetevője a váltakozófeszültség bekapcsolási fázishelyzetétől függ.

A legegyszerűbb tárgyalási mód az, ha feltételezzük, hogy a (3) egyenlet bal oldali feszültsége a negatív meredekségű zérus átmenet pillanatában kapcsolódik az áramkörre. Ebben a pillanatban az áram értéke az egyenirányítás közben változó pillanatnyi értékeknek a csökkenő tartományában van. A csökkenést elhanyagolva feltételezhetjük, hogy ebben a választott $t = 0$ időpillanatban $i_g(t) = I_{g0}$ a beállított áram középpértéke.

A beállított 500 A névleges áramnál a terhelőáramkör 84° -os fázisszögét 90° -nak véve fel, az áram állandósult és tranziens összetevői:

$$i_s(t) = -i_{s \max} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (4)$$

$$i_i(t) = i_{s \max} e^{-t/T}, \quad (5)$$

A $t = 0$ pillanattól csökkenő egyenáram

$$I_g(t) = I_{g0} e^{-t/T} \quad (6)$$

Az eredő áram:

$$i_g(t) = I_{g0} e^{-t/T} - i_{s \max} e^{-t/T} + i_{s \max} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right), \quad (7)$$

ahol

$$T = \frac{2L_s + L_F}{R_g} \quad (8)$$

Összevonva a (7) egyenletet és figyelembe véve az ívellenállás változását

$$i_g(t) = (I_{g0} - i_{s \max})e^{-t/T} + i_{s \max} \sin(\omega t - \varphi), \quad (9)$$

ahol $T = T(i_g)$

$$\begin{aligned} i_{s \max} &= i_{s \max}(i_g) \quad \text{és} \\ \varphi &= \varphi(i_g) \end{aligned}$$

nemlineáris egyenletet kapjuk.

A (9) egyenletben az áramkör villamos időállandója, az állandósult váltakozó-áram csúcsértéke és fázisszöge az ív ellenállásának változása miatt változik. Nyilvánvaló, hogy a tirisztorok addig lesznek nyitva, amíg a (9) egyenlet árama zérusra nem csökken.

A (9) nemlineáris egyenlet megoldása lényegesen meghaladja e dolgozat terjedelmét, ezért csak a belőle származó következtetésekre hívjuk fel a figyelmet.

Amennyiben első közelítésben elhanyagoljuk az egyenlet nemlinearitásait, megállapítjuk, hogy a monoton csökkenő tranziens áram és a váltakozóáramú összetevő eredője:

$$T = 31 \text{ ms} > T_p \quad (10)$$

(ahol T_p a periódusidő) egyenlőtlenség következtében a periodikus összetevő negatív csúcsértékénél (vagy annak közelében) éri el zérus értékét. A rögzített nulla időpontban $i_s(t) = i_{s \max}$, tehát az eredő áram zérus értékének pillanata:

$(2k+1) \frac{T_p}{2}$ pillanatok közül lesz valamelyik, ahol $k = 0, 1, 2, \dots$

Ha az áram egészen kis értékűre csökken, akkor az ív ellenállásának növekedése miatt:

- csökken az egyenáramú összetevő változását meghatározó időállandó és ez siettetni a tirisztorok kikapcsolását;
- csökken az állandósult váltakozóáram amplitúdója és fázisszöge és ezek késleltetik a tirisztorok kikapcsolását.

Mivel

$$T = 31 \text{ ms} \approx 3 \frac{T_p}{2},$$

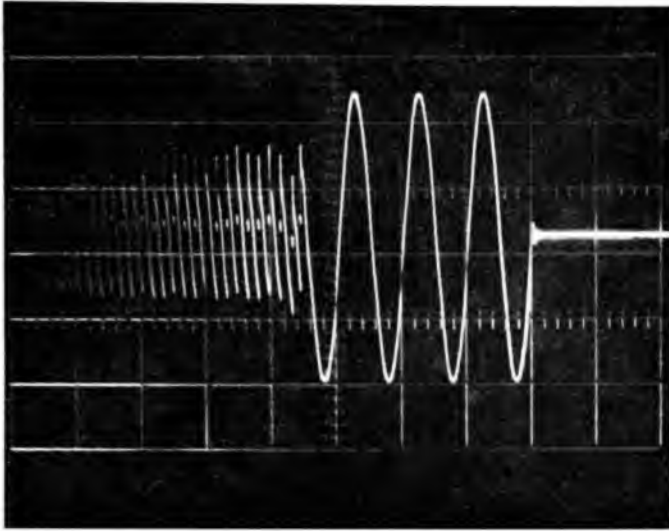
vizsgáljuk meg a $t = T$ időpillanatban az ív áramát.

A táblázatban közölt adatok alapján:

$$\begin{aligned} i_{s \max} &= 191 \text{ A}, \\ I_{g0} &= 500 \text{ A}. \end{aligned}$$

A (9) egyenlet első tagja T pillanatban 115 A lesz és ez az áramösszetevő a tirisztorokat nyitva tartja. Az áram kisebb az $i_{s \max}$ -nál, tehát ha az ív lineáris jellegű lenne, a 3. félperiódus végén a tirisztorok kikapcsolnának.

A valóságos helyzet az, hogy az áram csökkenésekor az ív ellenállása minden határon túlnő és így $i_{s \max}(i_g)$ értéke rohamosan csökken. A tényleges kikapcsolási idő tehát az előbb számítottnál a periódusidő egész számú többszörösének megfelelő idővel nagyobb lesz.



17-6. ábra. Kikapcsolási oszcillogram

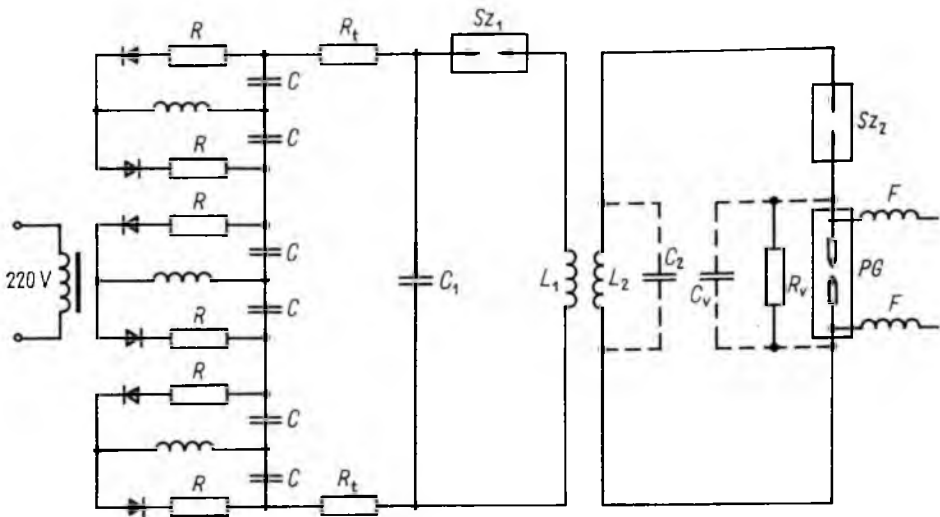
A 17-6. ábra oszcillogramja az áramirányító kimeneti feszültségét ábrázolja. A tiltás után megjelenő egyfázisú váltakozófeszültség a két utolsó vezetési állapotban levő tirisztoron keresztül 7 félperiódus múlva csökkenti le az ív áramát zérusra. Ha az *MK* mágneskapcsoló kikapcsolási késleltetését 70 ms-nél nagyobbra választjuk, a kikapcsolás árammentes állapotban történik, ami a mágneskapcsoló élettartamát jelentősen növeli.

A kikapcsoláskor jelentkező egyfázisú üzemmód tisztázása lehetőséget ad arra is, hogy megítéljük a kikapcsolás előtt vezető két tirisztor és a velük sorbakapcsolt gyorsbiztosítók áramigénybevételét. Túl nagy induktív terhelés esetén ezek az elemek túlterhelődhetnek, ami tönkremenetelükhöz vezethet.

A tápegységszekrényben vannak a gyújtás, a munkagáz és a hűtővíz rendszer egységei.

4. Gyújtóegység

Az elektródköz átütése, a villamos ív begyújtása a gyújtóegység feladata. Az ívet nagyfeszültségű, nagyfrekvenciás impulzusok hozzák létre. A nitrogén munkagáz alkalmazása fokozott követelményt jelent a gyújtóegység számára, ugyanis a nitrogén átütése nagyobb feszültséget és frekvenciát igényel, mint a plazmatechnikában legjobban elterjedt argon munkagáznál alkalmazott gyújtóegységek által előállított értékek. A frekvencia növelését a hozzávezetések csillapító hatása korlátozza, ugyanis minél nagyobb a gyújtóimpulzus frekvenciája és meredeksége, annál jobban csillapodik a hozzávezetéseken. A feszültség növelhetőségének határát pedig a tápegység és gyújtóegység feszültségérzékeny elemei korlátozzák. Különböző gyújtóegységekkel végzett kísérletek és mérések alapján optimálisnak a 10...15 kV feszültségű és 80...100 kHz frekvenciájú gyújtóegység adódott [1]. Működése a 17-7. ábra alapján a következő:



17-7. ábra. Az alkalmazott gyújtóegység elvi vázlata

Feszültségsokszorozó egyenirányító kapcsolás töltőellenálláson keresztül tölti a C_1 kondenzátort. Az Sz_1 szikraközön a feszültség ugyanúgy változik, mint a kondenzátoron, amikor eléri az átütőfeszültséget, akkor a szikraköz átüt és a kondenzátort a TESLA transzformátor L_1 primer tekercsén keresztül rövidre zárja. A primer tekercsel inaktív kapcsolatban levő L_2 szekunder tekercsben szintén feszültség indukálódik és az L_1C_1 rezgőkörrel rezonanciára hangolt L_2C_2 körben is rezgések keletkeznek (C_2 a szekunder tekercs meneteinek szórt kapacitása). A rezgés energiája a primer körből átadódik a szekunder körbe, ezért a primer körben a rezgés csillapodik. A szekunder kör lassan csillapodik, mert ebben a körben csak az inaktív tekercs kis ellenállása okoz csillapodást [2]. A gyújtás megbízhatóságát növeli a PG plazmagenerátoron elhelyezett ún. szekunder szikraköz. A szikraköz egészen az átütésig leválasztja a gyújtókört a generátorról (hűtővíz ellenállása, szórt kapacitások) és megfelelő beállítással elérhető, hogy a szikraköz átütési feszültsége olyan nagy legyen, amely már elegendő az elektródköz átütéséhez.

Szűrőkörök alkalmazásával meg kell akadályozni, hogy a gyújtóegységgel párhuzamosan kötött tápegység söntölje a plazmagenerátort, vagyis nem szabad engedni, hogy a gyújtóimpulzusok a tápegység felé záródjanak. A szűrőköröknek igen nagy impedanciát kell képviselni az impulzusokkal szemben. A tápegység „leválasztását” a gyújtóegységről nagy permeabilitású ferritgyűrűkkel oldjuk meg, amelyeket az áramvezetőre helyezünk, közvetlenül a generátorhoz történő csatlakozásnál, ezzel kialakítva olyan nagy értékű inaktívítást (F), amely gyakorlatilag szakadást jelent a nagyfrekvenciás jel útjában.

5. Munkagáz-és hűtővízellátó rendszer

A plazmagenerátor biztonságos üzemeltetésének elengedhetetlen további feltétele a munkagáz (nitrogén) biztosítása megfelelő nyomáson és mennyiségben. Ezt a feladatot a gázsabályozó egység látja el. A lefejtőállomásról a nitrogén egy nyomáscsök-

kentőn (250/16 atm) keresztül jut az elosztó gerincvezetékbe. A vezetékben levő nyomást a kezelő — távados manométer segítségével — a vezérlőtérben ellenőrizheti. A gerincvezetékéről ágaznak le az egyes tápegységek gázszabályozó egységei. A gáz először egy nyomáscsökkentőbe jut, amely beállítja az üzemi nyomást (5 atm). A nyomáscsökkentőből mágnesszelepen és fojtó—visszacsapószelepen keresztül jut a nitrogén a plazmagenerátorba. A mágnesszelep a vezérlőtérből működtethető. A fojtószeleppel a munkagáz mennyisége szabályozható. Ha a gáz nyomása a plazmagenerátor üzemére nézve veszélyes érték (3,5 atm) alá csökken, akkor egy „nyomásór” lekapcsolja az MK mágneskapcsolót.

A plazmagenerátorban keletkező hő elvezetése, a plazmagenerátor megfelelő hűtése meghatározza az elektród rendszer élettartamát. A hűtővíz 3,5 atm nyomáson, 1 m³/h mennyiségben áramlik a plazmagenerátorban, hűtve az áramhozzávetéseket is. A hűtővíz nyomásának csökkenése, illetve vízkimaradás esetén a vízkörbe épített „áramlásór” a tápegységet kikapcsolja, hasonlóan mint a gázkimaradás esetén. Az előzőekben ismertetett plazmaberendezéseket helyeztük üzembe a kísérleti technológia telepítése során.

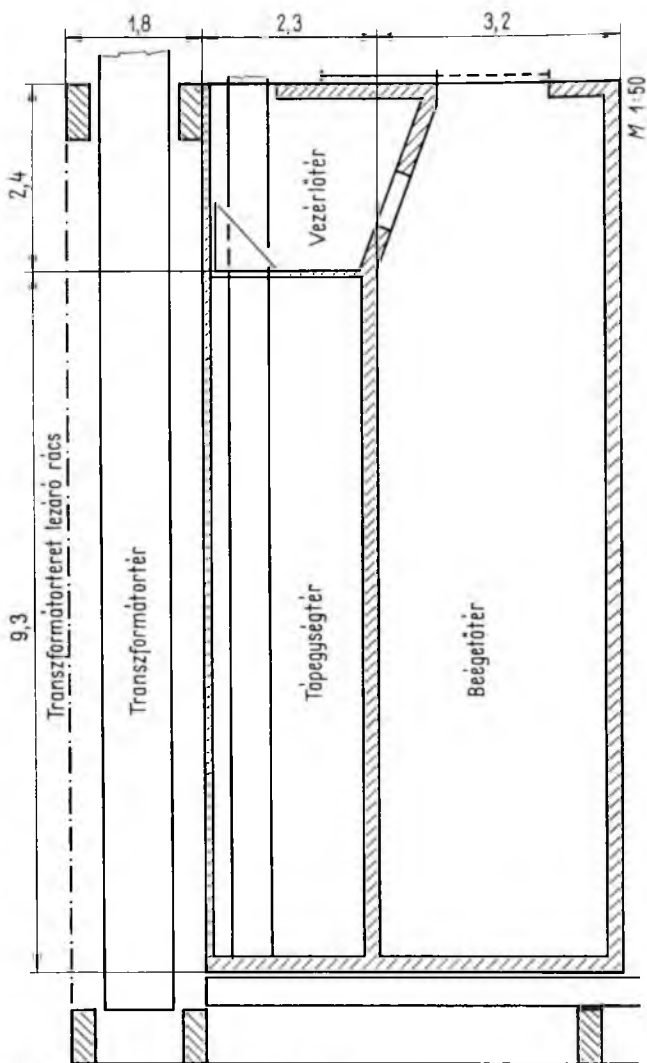
6. A kísérleti üzem elhelyezése

A kísérleti üzem a 43. sz. ÁÉV 4. számú Házgyárának panelgyártó csarnokában helyeztük el, a rendelkezésünkre bocsátott összesen 77 m² alapterületen. A létesítmény, funkcióját és térbeli elhelyezését tekintve, négy egymástól elválasztott egységre osztható: beégetőtér, vezérlőtér, tápegységtér és transzformátortér (17-8. ábra).

A betonfelületek plazmakezelése a beégetőtérben történik. Az épület hő- és hangszigetelt falazattal készült. Oldalán és felső részén nyílással rendelkezik, a panelek daruval történő szállítási útvonalában. A helyiség teljes hangszigetelését nyílászáró szerkezet biztosítja, amely a plazmaberendezés üzemelése előtt motorikusan zárható és a technológia befejezése után ugyanilyen módon nyitható. A helyiségben különféle méretű és formájú panelek elhelyezésére tartóbakok vannak kiépítve. Biztosítva van a bakok mögött kialakított függőfolyosóról a függőleges állású panelek rögzítése is. Az égetéskor felszabaduló hőt nagyteljesítményű elszívó ventilátor távolítja el. A légszűrő mindkét oldalon hangtompítón keresztül csatlakozik a helyiséghez. A paneltartóbak előtt helyezkedik el a hat plazmaégőt mozgó berendezés (17-9. ábra), amely biztosítja, hogy a plazmaláng az égetendő felület minden egyes pontján áthaladjon. A mozgóberendezés mindhárom dimenzióban mozdítható és sebessége 1...7 m/min sebességhatárok között változtatható. Az égetési programok a panelméretektől függően választhatók meg és az égők léptetése 15 mm-re, illetve ennek többszörös értékeire állítható.

A plazmaégők üzemeltetése és a mozgóberendezés vezérlése külön, erre a célra kialakított helyiségből — a vezérlőtérből — történik. Ebben a helyiségben van a vezérlőasztal, amelyen az üzem technológiai paramétereit közvetítő műszerek, jelzőberendezések és kezelőelemek vannak elhelyezve. A vezérlőasztalon lehet a mozgóberendezés programját is meghatározni és a mozgás jellemzőit ellenőrizni. A nyílászáró szerkezet, valamint az elszívóberendezések működtetése szintén ebből a helyiségből történik.

A technológia teljes irányítását egyetlen, erre a célra kiképzett technikus végezheti. A műszerek és jelzőberendezések által biztosított információs kapcsolaton kívül a kezelő sötét ablaküvegen keresztül vizuálisan is figyelheti a berendezés működését.



17-8. ábra. A kísérleti üzem alaprajza

A vezérlőszalhoz érkező adatszolgáltatást és a technológia irányításához szükséges beavatkozási lehetőséget a tápegységterben elhelyezett berendezések biztosítják. Itt helyezkednek el a tápegység szekrények, ide érkezik a nitrogén munkagáz vezetéke és itt van beépítve a hűtővízrendszer főcsapja is. A tápegységter tetőzetén helyezkednek el az elosztódobozok, amelyek a technológiához szükséges energia fogadását biztosítják. Ehhez kapcsolódnak a fázisjavítást szolgáló kondenzátorcellák. Végül itt van elhelyezve a vezérlőpult, a beégetőtéri elszívó és a nyílászáró szerkezet mozgatásához tápfeszültséget biztosító elosztócella.

A tápegységter mögötti külső — dróthálóval lezárt — területen alakítottuk ki a transzformátorteret, ahonnan a tápegységterben elhelyezett minden egyes berende-



17-9. ábra. Plazmaégőket mozgató berendezés a beégetőtérben

zéshez állványokon rögzített egy-egy transzformátor és fojtótekerics csatlakozik. Itt helyezkedik el az elosztótábla is, amely az épület világítási hálózatát és a működtető áramköröket látja el feszültséggel.

A homlokzati betonpanelek felületi plazmakezelésével jelentős gazdasági előnyök érvényesülése mellett a panelgyártás folyamata módosul. Jelentős változást jelent, hogy a hagyományos panelgyártási technológiánál alkalmazott speciális homlokzati betont normál beton helyettesíti. A gyártás további folyamata megegyezik a jelenlegi gyártástechnológiával, azzal a további különbséggel, hogy az érlelt panel nem a mosóhelyiségbe kerül a felület lemosása céljából, hanem a plazmaégető helyiségbe helyezik el a beton felületi keramizálásához.

A színes felület kialakítása egyetlen művelettel növeli a technológiai lépések számát. Az érlelőből kiemelt panelek felületét az erre a célra kiválasztott, vizes szuszpenzió szórására alkalmas berendezéssel és a kívánt színerősség szerint meghatározott pigmenteleggyel kell beszórni. Ezután kerülhet sor a felület plazmakezelésére.

További előnyt jelent, hogy a hagyományos színezési eljáráshoz szükséges homogenizálási idő és a plazmaégetés előkészítéséhez szükséges szuszpenzió felszórási idejéből adódó időmegtakarításon túlmenően a plazmatechnológia egy nagyságrenddel kevesebb színezőanyag felhasználását igényli.

1973-ban megkezdett kutatási-fejlesztési munka ipari bevezetéssel fejeződött be. Az első építőipari plazmatechnológiai üzem tervezése és építése során felmerült igen sok újszerű problémára megtaláltuk azokat a megoldásokat, amelyeket a helyi adottságok és körülmények között kellett kialakítani. A kutatás, tervezés, az építés és a próbaüzem munkái során szerzett nagymennyiségű tapasztalat birtokában, a további plazmatechnológiai üzemek építéséhez jóval gazdaságosabb és egyszerűbb műszaki megoldásokat javasolhatunk.

Irodalom

- [1] Nagyintenzitású helyi melegítés és anyageltávolítás. VKI részjelentés. 1974. június, 40–41. old.
[2] *Csernátony-Hoffer A.—Horváth T.*: Nagyfeszültségű technika. Tankönyvkiadó, Budapest, 1968. 373–374. old.

18.

Nagyteljesítményű, sűrített levegővel működő plazmagenerátor

PÓCSY FERENC

ÖSSZEFOGLALÁS

A plazmatechnika térhódításának egyik alapfeltétele a gazdaságos eljárások kidolgozása. Egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert azok a megoldások, amelyekben plazmaképző gázként olcsó, sűrített levegőt, szénhidrogént vagy más — a wolframkatódos plazmagenerátornál nem alkalmazható — anyagokat használnak.

A cikk ismerteti a Villamosipari Kutató Intézetben kifejlesztett rézkatódos, levegővel is üzemeltethető plazmagenerátorok feladatát, konstrukcióját. A plazmagenerátor jellemzői döntően függenek attól, hogy az ívtalppont mozgatása mágneses vagy gázdinamikus úton, illetve ezek kombinációjával történik-e. Az 50 kW névleges teljesítményű plazmagenerátor gázdinamikus megoldású, ami a katódveszteségek szempontjából is előnyösebb.

A cikk a vizsgálati tapasztalatokat összegezve bemutatja a plazmagenerátor ivkarakterisztikáit a teljesítmény és a veszteségek alakulását az iváram és két gázparaméter függvényében.

МОЩНЫЙ ПЛАЗМОТРОН, РАБОТАЮЩИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Ф. Почы

Резюме

Одному из основных условий распространения плазменной техники является разработка экономных методов. Все большее значение приобретают те решения, в которых в качестве плазмообразующего газа применяют сжатый воздух, углеводороды, или другие вещества, неприменимы в плазмотронах с вольфрамовым катодом.

В статье излагаются назначение и конструкция плазмотронов с медным катодом, работоспособных с воздухом, разработанных в ВКИ.

Характеристики плазмотронов решающим образом зависят от метода передвижения точки истока дуги, т. е. от магнитного, газодинамического или смешанного обеспечения.

В плазмотроне с мощностью 50 квт имеется газодинамическое решение, что выгодно и с точки зрения износа катода.

Суммируя опыты испытаний в статье представляются дуговые характеристики плазмотрона, далее изменение мощности и потерь в зависимости от тока дуги и двух газовых параметров.

MIT PRESSLUFT ARBEITENDER HOCHLEISTUNGS-PLASMAGENERATOR

F. Pócsy

Zusammenfassung

Eine der Grundbedingungen der Verbreitung der Plasmatechnik besteht in der Ausarbeitung der wirtschaftlichen Verfahren. Immer wichtiger werden die Lösungen, in denen — als plasmabildendes Gas- die billige Pressluft, Kohlenwasserstoffe oder andere

— bei Plasmagenerator mit Wolframkathode nicht anwendbare — Materialien angewendet werden. Der Aufsatz befasst sich mit der Aufgabe und Konstruktion der im VKI entwickelten, auch mit Luft inbetriebgehaltenen Kupfer-Kathoden-Plasmageneratoren.

Die Kennwerte des Plasmagenerators hängen in grossem Masse davon ab, ob die Bewegung des Lichtbogen-Fusspunktes durch magnetische oder gasdynamische Methode, bzw. durch deren Kombination durchgeführt wird. Der Plasmagenerator mit 50 kW Nennleistung arbeitet auf gasdynamischem Prinzip, bei dem die Kathodenverluste günstiger sind. Der Aufsatz stellt — nach der Zusammenfassung der Prüferfahrungen — die Lichtbogencharakteristiken des Plasmagenerators, den Verlauf der Leistung und der Verluste in Abhängigkeit vom Lichtbogenstrom und zwei Gasparametern vor.

HIGH-POWER PLASMA GENERATOR WORKING WITH COMPRESSED AIR

By F. Pöcsy

Summary

A primary condition of the spreading of the plasma technique consists in the elaboration of the economic processes. The solutions using cheap gases are of great importance. The paper introduces the task and construction of the plasma generators with copper cathode to be worked by air, developed at the Research Institute of the Electrical Industry.

The characteristics of the plasma generator depend considerably on the circumstance whether the moving of the cathode spot takes place on magnetic or gas-dynamic way or with the combination of the above-mentioned processes.

Gas dynamic method was applied at the plasma generator of 50 kW rated power which is more favourable as regards the cathode losses. The arc characteristics of the plasma generator, the values of the power and the losses taken as a function of the arc current and two gas parameters are introduced on the basis of the test experiences.

1. Bevezetés

A rohamosan fejlődő és újabb területeket meghódító plazmatechnológiai eljárások jelentős része főként egyenárammal táplált, belseősíves plazmagenerátorokat alkalmaz. A plazmatechnika fejlődése során előbb a volframkatódos konstrukció terjedt el, amelynek jellemzője, hogy álló katódtalppont alakul ki a volframrúd csúcsán, és az anódként szolgáló vörösréz fúvókában tengelyirányban vagy perdülettel bevezetett gáz stabilizálja az ívet (falstabilizáló és örvénystabilizáció).

A felhasználói igények alapján világszerte erőteljes kutatómunka indult meg újrendszerű belseősíves plazmagenerátorok kidolgozására; ezt a 70-es évektől kezdve a szakcikkek számának rohamos növekedése is jelezte. A fejlesztés ma is meredeken fel-futó szakaszában van, különösen a plazmakémia, a metallurgia, és a kohászat területén.

2. Alapinformációk és követelmények

Az új plazmagenerátor-konstrukciókkal szemben támasztott legfontosabb követelmények a következők:

- a) a munkagázok választékának kibővítése elsősorban a levegővel, agresszív gázokkal, szénhidrogénekkal (ismeretes, hogy a W-katód csak nemesgázokban, N_2 -ben, H_2 -ben üzemeltethető);

- b) a teljesítmény növelése;
- c) a hatásfok növelése;
- d) az elektród-élettartam növelése;
- e) a plazmasugár keresztmetszetének, átmérőjének növelése.

A Villamosipari Kutató Intézet 4. Főosztályán fémipari és szilikátipari plazmatechnológiák kutatásával foglalkozunk. Ha sikerül a W-katódos, belsőíves plazmaberendezéseinkhez használatos argont és nitrogént az olcsó sűrített levegővel felváltani, ez jelentősen növeli az eljárások gazdaságosságát mindkét területen (fémek, kerámiák, stb. felületi hőkezelése; diszperz anyagok gyártása, oxidok plazmaszórása). A belsőíves plazmagenerátorok fejlesztésével kapcsolatos célkitűzéseink lényegében a felsorolt szempontoknak felelnek meg: a teljesítményt első lépésben 100 kW-ra, az élettartamot 20...50 h-ra kívánjuk növelni. A felületi hőkezelések számára különösen fontos a plazmasugár átmérőjének (kilépő keresztmetszet) növelése 8...16 mm-ről, 30...50 mm-re.

A rúdkatódként alkalmazható anyagok választéka rendkívül szűk, mivel az álló ívtalppont miatt a jó emittáló, villamos és hővezető képesség mellett a magas olvadáspont is elsőrendű követelmény. Levegőben ezen felül az oxidációval szembeni ellenállóképességet is megkívánjuk. Ez idő szerint a cirkónium (Zr) és hafnium (Hf) katódok az ismert megoldások, valamint a szén (grafit) katód, amely azonban gyors eróziója miatt folyamatos előtöltést igényel. A Zr felületén kialakuló nagy olvadáspontú réteg jó emittáló, izzó állapotban jó villamos vezetőképességű, és a ZrO_2 kielégítően tapad az alapfémhez. Hátránya, hogy csak nagy tisztaságú levegőben üzemeltethető, és az élettartamot nagymértékben befolyásolja az indítások száma (átkristályosodás, dilatáció).

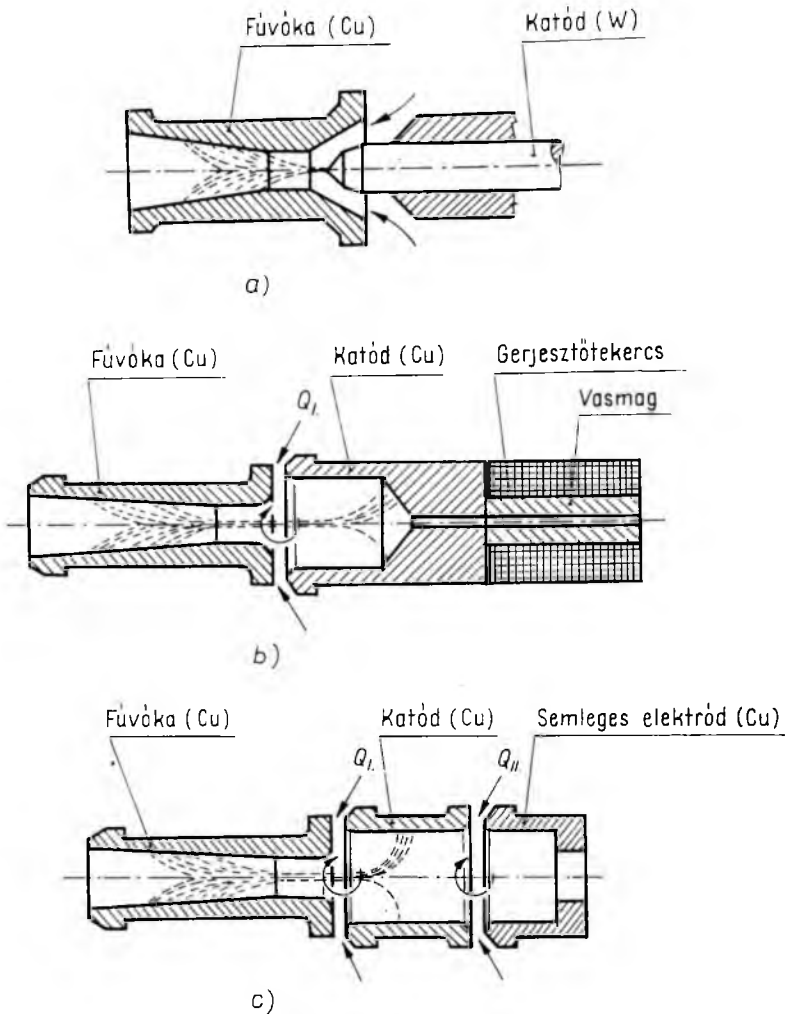
A katód hűtésének hatásossága egy anyagállandók és konstrukciós feltételek által megszabott határon túl már nem fokozható. Ha a katódanyag termikus terhelhetősége kicsi, kézenfekvő megoldás az igénybevétel időtartamának csökkentése az ív mozgatása útján. A talppontmozgatással lényegében az aktív katódfelület nő meg, csökkentve ezáltal a fajlagos terhelést. Ennek az elvnek az alapján kezdődött el a vörösréz katódos plazmagenerátorok fejlesztése.

Az új konstrukciókban a katódtalppont pályája kúpos vagy hengeres felületen alakul ki. Bár a gyors ívmozgás ellenére a katódfelület igen vékony rétegben átmenetileg, periodikusan megolvadhat, a katódfolyamatokban hidegemisszió zajlik le. Az irodalomban néhány utalás található arra, hogy speciális célokra a réz mellett Ti- és Mo-katódokat is használtak. A vörösréz kiváltságos előnye, hogy oxidáló atmoszférában is alkalmazható (szénhidrogénekben is). A felületen kialakuló vékony oxidréteg nem akadályozza meg az áramvezetést (félvezető!) és az emissziót.

Az ív és a katódtalppont mozgatására számításba vehető módszerek:

- forgó elektródok alkalmazása;
- mágneses erőter alkalmazása;
- tangenciális gázbevezetés (gázdinamika) alkalmazása.

A 18-1. ábrán különböző plazmagenerátor-típusok elvi vázlatát mutatjuk be. Az *a)* ábrán W-katódos típus, a másik két ábrán rézkatódos típus látható. A *b)* ábra szerinti megoldásnál a tangenciális gázbevezetés és a mágneses erőter együttesen hivatott a katódtalppont mozgatására; a *c)* ábrán bemutatott konstrukció tisztán gázdinamikai megoldású. A levegős üzemi, rézkatódos plazmagenerátorok fejlesztése során mindkét konstrukciós elvet alkalmaztuk; legfontosabb tapasztalatainkat a következő pontokban foglaljuk össze.



18-1. ábra. Plazmagenerátor alaptípusai

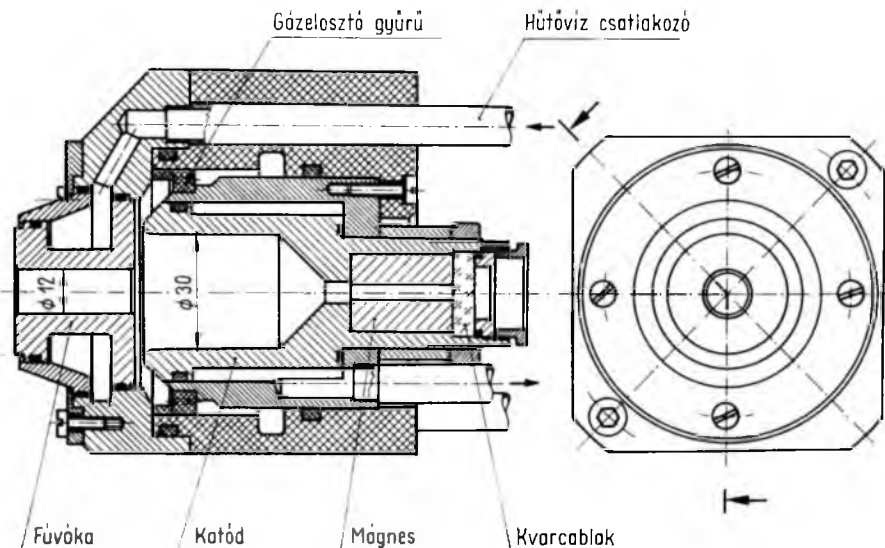
Általánosságban még szükségesnek tartjuk megjegyezni, hogy a rézkatódos plazmagenerátoroknál a plazmagáz perdülettel (a gázelosztó gyűrű tangenciális furatain át) történő bevezetésének még egy igen fontos funkciója van: az ívoszlop stabilizációja a plazmagenerátor tengelyében (örvénystabilizáció). Ez elengedhetetlen, tekintettel arra, hogy a nagytérű katódtérben falstabilizáció nem valósulhat meg, de a fúvókaátmérő növelése is megköveteli.

A konstrukcióból következik e plazmagenerátoroknak néhány sajátossága, amelyben lényegesen eltérnek a W-katódos típustól: a hosszabb ív, és az örvénystabilizációhoz szükséges nagyobb gázmennyiség következtében nagyobb az ívfeszültség. Ugyanakkor — mivel az elektróderózió elsősorban az ívárammal függ össze — kívánatos az áram csökkentése a hosszú élettartam érdekében. A nagyobb fajlagos gáz(levegő)-felhasználásból következik az is, hogy — az irodalom adatai szerint —

amíg a W-katódos plazmagenerátorokból kilépő plazma hőmérséklete általában az 5000...15 000 K tartományba esik, a rézkatódosoknál ez az érték 3000...6000 K. Ezek a sajátosságok a lehetséges alkalmazási területeket is meghatározzák.

3. Rézkatódos plazmagenerátor mágneses és gázdinamikus ívmozgatással

A 18-2. ábrán egy — az elmúlt években kifejlesztett — 15 kW névleges teljesítményű plazmagenerátor metszetét mutatjuk be. Az ívtalppont mozgására és az ív tengelymenti stabilizálására mágneses erőteret és örvénylő gázáramlást alkalmaztunk. A katódtalppont-pályák számára kialakított kúpfelület mögött hosszirányú erővonalakkal jellemezhető állandómágnes van beépítve.



18-2. ábra. Rézkatódos plazmagenerátor gázdinamikus és mágneses ívmozgatással

A plazmagenerátor karakterisztikáinak és az elektródok élettartamának vizsgálata során szerzett legfontosabb tapasztalatainkat a következőkben foglaljuk össze:

a) Az élettartam-vizsgálatokat a következő beállításban végeztük:

levegőmennyiség	$Q_I = 3 \text{ Nm}^3/\text{h}$,
íváram	$I_d = 65 \text{ A}$,
ívfeszültség	$U_i = 250 \text{ V}$,
teljesítmény	$P_d = 16,25 \text{ kW}$

A vizsgálatot 25 h működtetés után fejeztük be. A tapasztalt erózió alapján az elektródok élettartama legalább 40 h-ra becsülhető!

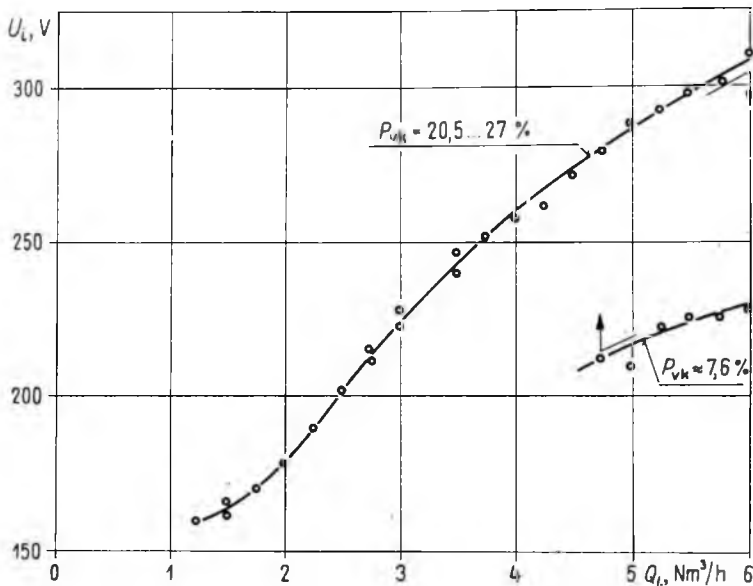
A katód teljes súlycsökkenése 8,82 g; fajlagosan kb. $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ g/As}$.

b) A tengelyben stabilizált ívoszlop hossza periodikusan változik, miközben az anódtalppont hosszirányú, lüktető illetve csavarvonalyszerű mozgást végez a fúvókacsatorna falán, és a fúvóka homlokfelületére is kilép. Erre a jelenségre egyértel-

műen utalnak a fényképfelvételek, a fúvókaerózió alakulása, a fényintenzitás és az ívfeszültség időbeli lefolyása.

Az ívfeszültség bizonyos szabályossággal rendelkező fűrészgégés szerint változik. (A tipikus ismétlődési frekvencia 250...350 Hz.) Az ív megnyúlását rövid ív gyűjtése követi. Ez a váltási folyamat — amelyet az oszcillogramokon feszültségugrás jelez — rendkívül gyorsan zajlik le: közelítőleg $15 \text{ V}/\mu\text{s}$ sebességgel.

c) Az ívfeszültség változását a gázmennyiség függvényében vizsgálva megállapítottuk, hogy a plazmagenerátorok egy bizonyos tartományban kettős karakterisztikája van (l. a 18-3. ábrát). A feszültség hirtelen megváltozása, a munkapont átbillenése — a hiszterézisgörbékhez hasonlóan — a gázmennyiség változtatásával egyidejűleg



18-3. ábra. Ívfeszültség a levegőmennyiség függvényében
 $P_n = 15 \text{ kW}$

általában a tartomány két végén következett be. Az üzemmód megváltozását a plazmasugár alakjának és hangjának megváltozása is kísérte. Ez várható hiszen a feszültségugrás arányában változik a teljesítmény is. (Az áram 65 A volt.)

Megfigyelésünk szerint a kétféle üzemmótnak különböző sugarú katódaltpont-pályák felelnek meg: A nagyobb feszültségű karakterisztikán üzemelő plazmagenerátorban az ívtalppont nagyobb sugarú (max. 15 mm) körpályán mozog, a kisebb feszültség esetén a sugár 5...8 mm. Utóbbi esetben a mágneses tér hatása is kevésbé érvényesül. Úgy tűnik, hogy kis gázmennyiség esetén az ívtalppont mozgását elsősorban az erőter, nagy gázmennyiségek esetén pedig az áramlási viszonyok határozzák meg. Az átmeneti tartományban az ívoszlop két stabil egyensúlyi helyzetet is felvehet.

d) A fúvóka és a katód hűtővíz által elvezetett termikus veszteségének vizsgálata azt a fontos eredményt adta, hogy a fúvókaveszteség (P_{VF}) csak kismértékben függ a gázmennyiségtől és a fúvóka alakjától, a katódveszteséget (P_{VK}) azonban lényegében az üzemmód jellege határozza meg.

A plazmagenerátort a felső ívkarakterisztikán elhelyezkedő munkaponton üzemeltetve, közelítőleg háromszoros teljesítményvesztéséget tapasztaltunk a kisebb feszültségű üzem módhoz képest! Tipikus értékek (az ívteljesítményre vonatkoztatva):

$$P_{VF} = 7...9,1\%$$

$$P_{VK} = 6,9...7,8\% \text{ (az alsó karakterisztikán)}$$

$$P_{VK} = 20,5...27\% \text{ (a felső karakterisztikán)}$$

Az előzőkből levonható az a következtetés, hogy ha a talppont mozgásában a mágneses erők dominálnak (az áramlás „elmarad” a mozgó ívtől), jobbák a hőátadási viszonyok a katód felé.

A jobb hatásfok érdekében, és mert a kettős ívkarakterisztika a technológia szempontjából megengedhetetlen, a következő nagyteljesítményű plazmagenerátorunkat már tisztán gázdinamikus elven alakítottuk ki.

4. Rézkatódos plazmagenerátor gázdinamikus ívmozgatással

A 18-4. ábrán metszetben látható plazmagenerátort egy korszerű konstrukciós elvek (építőszekrény-elv) alapján kialakított plazmagenerátor-rendszer elemeiből állítottuk össze. A vázolt elrendezés tisztán gázdinamikus ívmozgatással működik. A rajzon csak a fúvókát, a katódot, a katód mögötti semleges elektródot és az ív megfigyelésére szolgáló lyukkamerát tüntettük fel vastag vonallal, a magyarázat szempontjából nem lényeges elemeket vékony vonallal ábrázoltuk, és a vonalkázást is elhagytuk. A plazmagenerátort 50 kW névleges teljesítmény figyelembevételével méreteztük. A célul kitűzött élettartam 8 h volt.

A konstrukció alapvető jellegzetessége, hogy a plazmaképző gáz két helyen lép a plazmagenerátorba. A fúvóka—katód közötti gázbevezetés (Q_I) mellett a katód mögött is (a katód és az azt követő semleges elektród közötti részben) adagolunk gázt a katódtérbe (Q_{II}). (Emögött az optikai toldat védelmére is lehet kismennyiségű gázt adagolni.)

A gázok bevezetése természetesen tangenciális furatú gázelosztó gyűrűkön át történik. A katód mögött belépő gáz feladata a katódtalppont hosszirányú helyzetének behatárolása, és az ív körpályán való mozgatása. Utóbbihoz persze Q_I is — amelynek fő feladata az ívoszlop stabilizációja — jelentékenyen hozzájárul.

Ennek a plazmagenerátornak tehát — adott elektródgeometria mellett — az ív-áram és két gázparaméter határozza meg „kimenő paramétereit”: a plazmajellemzőket, az ívkarakterisztikákat, az elektródok élettartamát és a veszteségeket. Vizsgálataink néhány fontos részeredményét a következőkben ismertetjük.

a) A 14 mm furatú fúvóka és 24 mm belső átmérőjű katód élettartamának vizsgálatát a következő beállításban végeztük el:

$$\text{levegőmennyiség} \quad Q_I = 6,37 \text{ Nm}^3/\text{h},$$

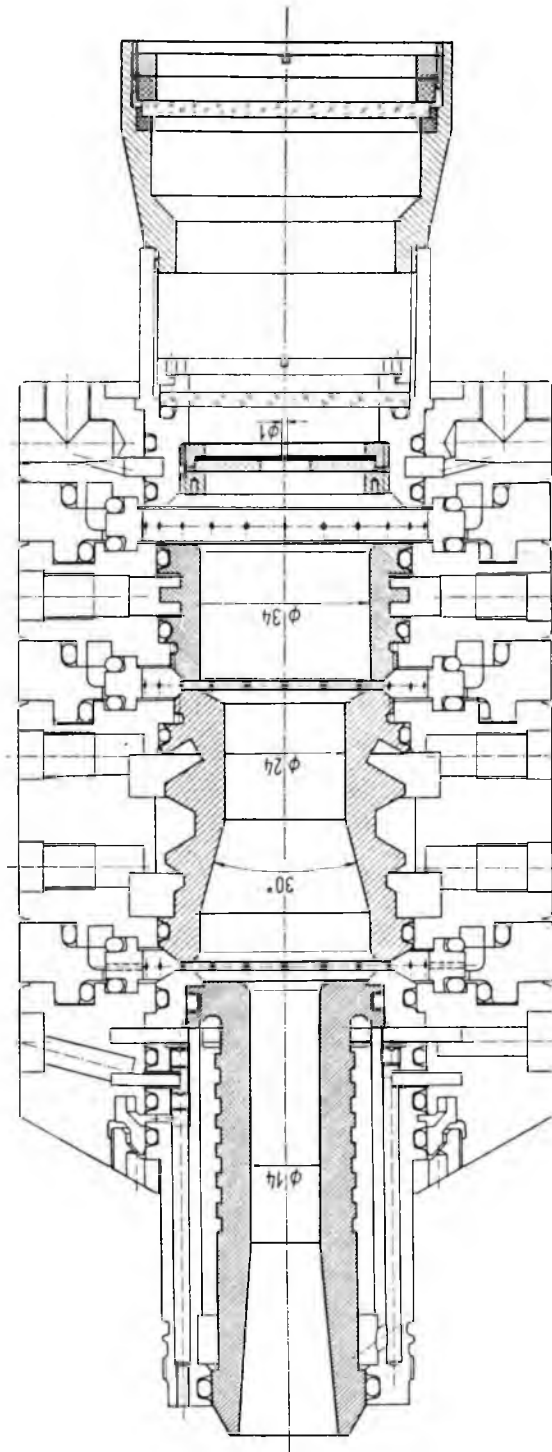
$$Q_{II} = 4,6 \text{ Nm}^3/\text{h},$$

$$\text{íváram} \quad I_d = 200 \text{ A},$$

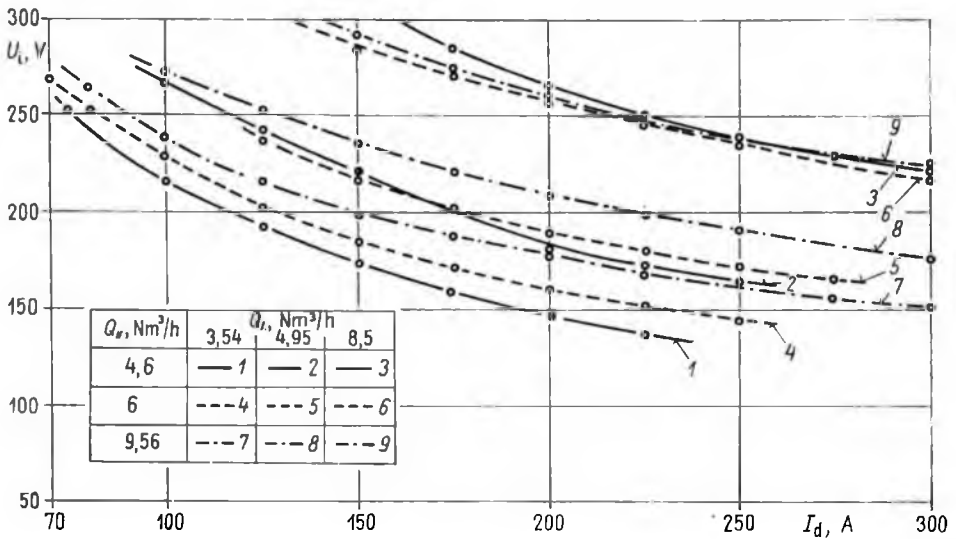
$$\text{ívfeszültség} \quad U_i = 237 \text{ V},$$

$$\text{ívteljesítmény} \quad P = 47,4 \text{ kW}.$$

A fenti munkapontban 11,5 h élettartamot értünk el a katóddal. Érdekes, hogy az aszimmetrikus erózió miatt kilyukadt katódon fellépő „vízadagolás” mellett is működött a plazmagenerátor, bár a vízgőz atmoszféra a talppont mozgását nagyon le-



18-4. ábra. Rézkatódos plazmagenerátor gázdinamikus ivmogatással
 $P_n = 50 \text{ kW}$



18-5. ábra. Ívfeszültség az íváram függvényében

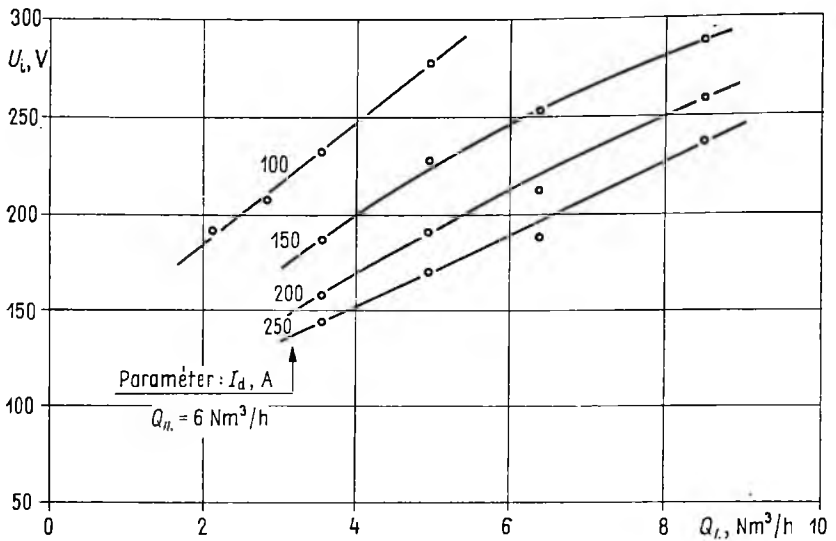
lassította. A fúvóka a vizsgálat során nem ment tönkre, sőt további vizsgálatoknak vetettük alá, és 18 h működés után is üzemképes maradt. Súlycsökkenése 15 gramm, a rézoxidszemcsékkel borított csatorna 14 mm-ről 14,5 mm-re tágult.

b) A 18-5. ábra az ívfeszültséget az íváram függvényében bemutató diagram. A méréseket a két gázparaméter 3—3 értéke mellett végeztük el. A görbék egységes tendenciája reményt nyújt arra, hogy a törvényszerűségek méretezésre alkalmas képbe foglalhatók. A diagramból az is kitűnik, hogy Q_I intenzívebben befolyásolja U_i változását. Ha $Q_I = 8,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$, Q_{II} az adott tartományban már nem befolyásolja az ívfeszültséget.

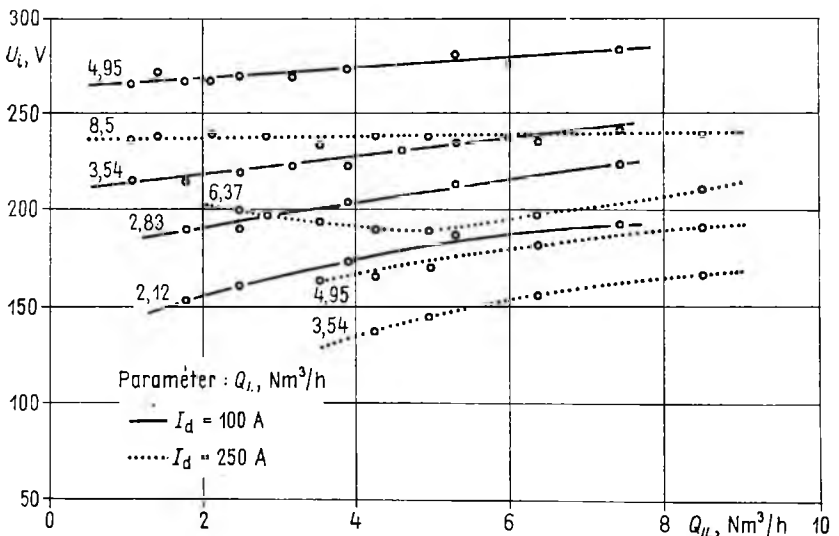
c) A 18-6. ábrán — amely az ívfeszültség alakulását mutatja be Q_I függvényében — látható, hogy az összefüggés közel lineáris. A karakterisztika felvételekor $Q_{II} = 6 \text{ Nm}^3/\text{h}$ volt. A görbék $Q_I = 0$ -ra való extrapolációjának van fizikai értelme: a csak Q_{II} által fűjt ívoszlop feszültségét adják meg.

d) A fúvóka—katód közbe vezetett Q_I gázmennyiség az ív hűtése és megnyújtása útján növeli az ívfeszültséget. Q_{II} esetében bonyolultabb a helyzet. Mivel a gáz a katódtalppont mögött lép be az ívkamrába, változtatásakor két ellentétes hatás érvényesül: a hűtőhatás ez esetben is az ívfeszültség növekedését vonja maga után, míg a gáz impulzusa — a forgató hatás mellett — a katódtalppontot a fúvóka felé igyekszik elmozdítani, tehát az ívhossz rövidítése által az ívfeszültséget csökkenti. A domináló jelenség dönti el, hogy az ívfeszültség csökkenő vagy növekvő tendenciát mutat Q_{II} függvényében, vagy éppen változatlan.

A 18-7. ábrán mindhárom esetre találhatunk példát. A közel lineáris függvények enyhén emelkedő tendenciát mutatnak (hűtőhatás). $I_d = 250 \text{ A}$ és $Q_k = 6,37 \text{ Nm}^3/\text{h}$ esetén azonban negatív a karakterisztika hajlásszöge (rövidítő hatás). $I_d = 250 \text{ A}$ és $Q_I = 8,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$ mellett Q_{II} gyakorlatilag nem befolyásolja az ívfeszültséget. Ennek magyarázata a két hatás kompenzációja is lehet, valószínűbb azonban az, hogy Q_I erős stabilizáló hatást fejt ki, és a tengelyben koncentrált ívoszlop mellett minimális hűtést tud csak Q_{II} kifejteni.



18-6. ábra. Ívfeszültség a fúvóka és katód között adagolt levegőmennyiség függvényében



18-7. ábra. Ívfeszültség a katód mögött adagolt levegőmennyiség függvényében

Karakterisztikaméréseink alapján megállapítható, hogy a teljesítmény növelésének leghatásosabb módja Q_I növelése, ez természetesen a fajlagos enthalpia, a plazma-hőmérséklet bizonyos csökkenésével jár. A hőmérséklet növelésére egyetlen lehetőség (a konstrukció változtatást figyelmen kívül hagyva) nagyobb íváram beállítása. Ehhez Q_{II} értékét a minimumra kell csökkenteni. Ez a minimum a gyors talppontmozgatás követelménye, amelyet az elvárt katódélettartam szab meg; ennek ismertetése azonban túlhaladná a cikk kereteit.

e) Vizsgálataink ismertetésének utolsó szempontjaként a hatásfok, illetve a hűtővíz által elvitt termikus veszteségek alakulásáról adunk számot (18-1. táblázat). A méréseket $I_d = 200$ A mellett végeztük. A t ljesítményvesztesség vonatkoztatási alapja a $P = U_i I_d$ ívteljesítmény volt. A fúvókavesztesség 8,18...24,08% között, a katódvesztesség 6,36...9,41% között változott. Az adatokból egyértelműen kitűnik, hogy a veszteségek mind Q_I mind Q_{II} növelésével csökkennek; azonban a fúvókavesztések relatív változása kisebb.

18-1. táblázat

Plazmagenerátor termikus veszteségei

Q_{II} Nm ³ /h	A veszteség típusa	Q_I , Nm ³ /h		
		3,54	4,95	8,5
4,6	Fúvóka v.	—	—	18,57%
	Katód v.	—	—	6,74%
	Összes v.	—	—	25,31%
6	Fúvóka v.	—	21,85%	18,35%
	katód v.	—	9,32%	6,77%
	Összes v.	—	31,17%	25,12%
9,56	Fúvóka v.	24,08%	20,62%	18,18%
	katód v.	9,41%	7,64%	6,36%
	Összes v.	33,48%	28,26%	24,53%

Az ismertetett, 50 kW-os plazmagenerátorban a mágneses erőtér elhagyásával sikerült a kettős ívkarakterisztikát kiküszöbölni. A plazmagenerátor jellemzőit a 2. pontban tárgyalt 15 kW-os típus jellemzőivel összevetve még egy feltűnő különbség jelentkezik. Ott a fúvókavesztesség 7...9,1% tartományban mozgott (rövidebb fúvóka!) a katódvesztesség a kedvezőtlenebb üzemmódban (felső ívkarakterisztika) elérte a 27%-ot. Jelen esetben fordított a helyzet: a katódvesztesség kicsi a tisztán gázdinamikai katód talppont-mozgató következtében, a fúvókavesztesség viszont a hosszmetert növekedése miatt megemelkedett.

További kutatási munkánk célja a geometriai és munkaponti paraméterek optimalizációja az egyes technológiák által megkívánt plazmajellemzők megvalósítása, és az elektródok élettartamának növelése érdekében.

Irodalom

- [1] Rükalin, N. N.: Termiceszkaja plazma v metallurgii i technológii. Elektrotechnikai Világkongresszus. Moszkva, 1977. O szekció, 06 ea.
- [2] Zsukov, M. F.: Generatorü nizkotemperaturnoj plazmü: teplofiziceskie i elektrofiziceskie problemü. Izv. Szibir. Otdel. A. N. SzSzsZR. Szerija Techn. Nauk. 1975. 2/8.
- [3] Karabut, A. B.—Korsunov, V. N. stb.: Elektrodugovoj generator sz prosztium ohlazsdenijem mezselektrodnoj vsztavki moscsnosztju 2 MW. Izv. Szibir. Otdel. A. N. SzSzsZR. Szerija Techn. Nauk. 1976. 2/8.
- [4] Anskov, A. Sz.—Zsukov, M. F.: Rezultatü issledovannij dugovogo plazmotrona pri dlitelnoj rabote na kiszlorode. Izv. Szibir. Otdel. A. N. Szerija Techn. Nauk. 1976. 3/1.
- [5] Hitchcock, A. M., Guile, A. E.: Erosion of copper cathodes by moving arcs at currents of 45–800 A. PROC. IEE. Vol. 122. No. 7. July. 1975.
- [6] Guile, A. E.—Hitchcock, A. H.: The effect of rotating arc velocity on copper cathode erosion. I. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 7. 1974.
- [7] Fémipari gyártástechnológia korszerűsítése plazmatechnika alkalmazásával. VKI jelentés. 1977. nov. 30.

19.

Vezérelt SiC-varistor vizsgálata a dinamikus karakterisztika visszatérő ágában

DR. BOGOLY ISTVÁN—FRANCOIS CÉZÁRNÉ—
GYIMÓTHY KÁLMÁNNÉ

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk olyan, főleg hálózati túlfeszültségvezetőkben alkalmazott, keramikus kötésű SiC ellenállást és azon végzett méréseket ismerteti, amelynek működési tartománya a dinamikus karakterisztika visszatérő ágában van. A szerzők az ellenállások vizsgálatokor — az egyen- és váltakozóáramú méréseken túlmenően — 40/150 μ s alakú impulzusokat, 50 periódusú félhullámokat és 2000 μ s időtartamú, négyszög alakú áramhullámokat alkalmaztak. Méréseik tanúsága szerint $\alpha \cong 6$ érték is elérhető, ha megfelelő kapcsolóelemmel működtetik az ellenállást. A próbák tanúsága szerint az ellenállás megbízhatóan alkalmazható ms nagyságrendű belső (kapcsolási) eredetű áramhullámok levezetésére.

A vizsgálati mintákat nagytisztaságú elektrotechnikai SiC felhasználásával, porkohászati úton állították elő, a Villamosipari Kutató Intézetben. Az ellenállásokat 1360 °C hőmérsékleten, H₂ védőgázban égették ki.

ИСПЫТАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ВАРИСТОРА ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ В ВОЗВРАЩАЮЩЕЙ ВЕТВИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

д-р И. Боголь—Ц. Франсуа—К. Димоти

Резюме

В статье излагаются такие нелинейные, применяемые в главном образом в сетевых разрядниках резисторы из карбида кремния с керамической связью и проведенные на них измерения, у которых рабочий диапазон находится в возвращающей ветви динамической характеристики. При испытании — кроме измерений по постоянному и переменному току — авторы пользовались импульсами 40/150 мкс, полупериодами с частотой 50 Гц и квадратичными импульсами тока с длительностью 2000 мкс. По испытаниям можно достичь величину $\alpha \cong 6$, если резистор управляется соответствующим переключающим элементом. По свидетельству экспериментов, резистор надежно может выполнять разряд токовых волн внутреннего (коммутационного) происхождения с длительностью порядка мс.

Опытные экземпляры изготовлены в ВКИ с применением электротехнического карбида кремния высокой чистоты, путем метода порошковой металлургии. Резисторы обжигаются при температуре 1360 °C в защитной водородной газовой атмосфере.

PRÜFUNG DES GESTEUERTEN SiC-VARISTORS IM ZURÜCKKEHRENDEN ZWEIG DER DYNAMISCHEN CHARAKTERISTIK

Dr. J. Bogoly — Frau C. Francois — Frau K. Gyimóthy

Zusammenfassung

Der Aufsatz befasst sich hauptsächlich mit dem in den Überspannungsableitern angewandten nichtlinearen SiC-Widerstand keramischer Bindung und den daran durchgeführten Messungen, bei denen der Betriebsbereich im zurückkehrenden Zweig der dynamischen Charakteristik ist. Die Verfasser haben bei der Prüfung der Widerstände — ausser den Gleich- und Wechselstrommessungen — 40/150 μ s Impulse, 50-Perioden-Halbwellen und rechteckförmige Stromwellen mit 2000 μ s Zeitdauer angewandt.

Gemäss der Lehre ihrer Messungen kann auch der Wert $\alpha \cong 6$ erzielt werden, wenn der Widerstand mit entsprechendem Schaltelement betätigt wird. Gemäss der Lehre der Proben kann der Widerstand zuverlässig für die Ableitung von inneren (Schaltungs-) Stromwellen in ms Grössenordnung angewandt werden.

Die Prüfmuster wurden durch Anwendung des elektrotechnischen SiC grosser Reinheit auf pulvermetallurgische Weise im Forschungsinstitut der Elektronindustrie hergestellt. Die Widerstände wurden bei 1360 °C im H₂ Schutzgas ausgebrannt.

INVESTIGATION OF CONTROLLED SiC-VARISTOR IN THE RETURNING BRANCH OF THE DYNAMIC CHARACTERISTIC

By Dr. J. Bogoly — Mrs. C. Francois — Mrs. K. Gyimóthy

Summary

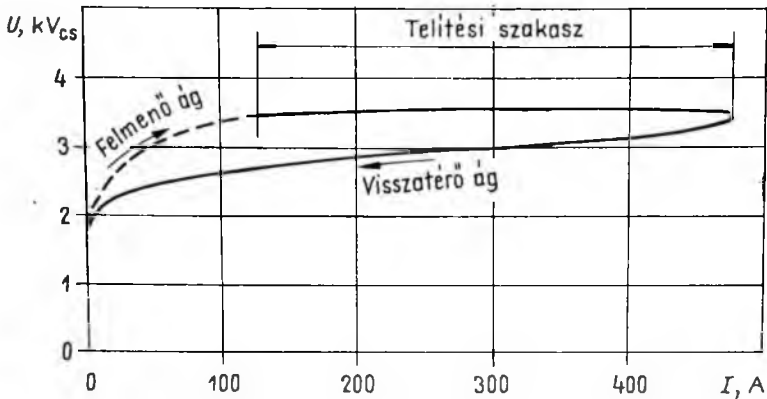
The paper introduces a non-linear SiC resistor of ceramic bond, applied mainly to lightning arrester, and the measurements carried out on this resistor where the operating range is to be found in the returning branch of the dynamic characteristic. The authors — testing the resistors — used 40/150 μ s impulses, half-waves of 50 periods and rectangular current waves of 2000 μ s duration, besides the d. c. and a. c. measurements.

According to the evidence of their measurements $\alpha \cong 6$ value can also be achieved if the resistor is operated by a suitable interconnecting piece. According to the evidence of the tests the resistor can be reliably applied for conducting the internal switching current waves in msec order of magnitude.

The testing samples were produced by using electrotechnical SiC of high-purity by powder metallurgy at the Research Institute of the Electrical Industry. The resistors were made by a powder-metallurgical technology at 1360 °C in H₂ protective atmosphere.

1. Bevezetés

Az elektrotechnikai célokra szolgáló szilícium-karbid (SiC) alapanyagú nemlineáris ellenállásokat (szimmetrikus varistorokat) elsősorban külső és belső túlfeszültségek korlátozására használják. Ezeket a felhasználás módjától függően közvetlenül a védendő objektum sarkaira kapcsolják, vagy választóelemmel ellátva (pl. szikraköz) sorba kötve alkalmazzák. Az előbbieket sönt-, vagy kisütőellenállásoknak nevezik, míg az utóbbiak a szelephatású túlfeszültséglevezetők aktív elemeiként (levezetőblokkok) ismeretesek [1], [4]. Számos nemlineáris ellenállástípust dolgoztak ki szabályozó, potenciálosztó és egyéb speciális célokra is. Ezeknél különösen fontos, hogy mind termikus igénybevehetőség, mind értékállóság szempontjából megbízhatók legyenek.



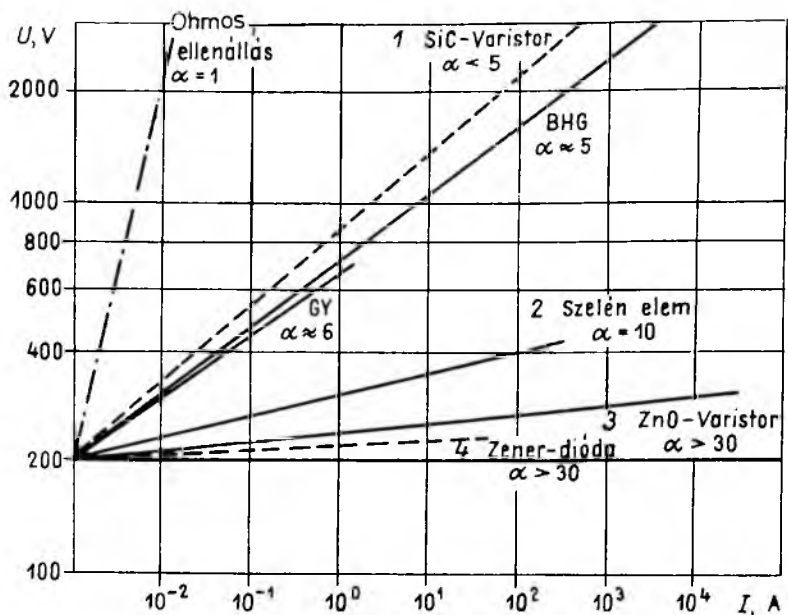
19-1. ábra. Szilíciumkarbid nemlineáris ellenállás dinamikus karakterisztikája

A szilícium-karbid nemlineáris ellenállásokat többnyire impulzusüzemben használják. Erre az üzemmódra a dinamikus karakterisztika jellemző (19-1. ábra). A vezetés elméletével számos kutató foglalkozott, s ma már elfogadhatóan magyarázható a „felmenő ág” és a „telítési szakasz”, az elektronfizika segítségével. Kevésbé ismeretes viszont az a vezetési mechanizmus, amely a dinamikus karakterisztika visszatérő ágára vonatkozik. Ez egyébként sarkalatos pontja a szelephatású túlfeszültség-levezetőnek is, ugyanis lényegesen nehezebb működési feltételek állnak elő, ha pl. a névleges levezetőáramnál nagyobb csúcsertékű, vagy hosszabb időtartamú áramhullám szólaltatja meg a levezetőt. Az itt felmerülő problémák áthidalására hozták létre a nehézüzemű (Heavy Duty) levezetőtípust, amelyben ívnyújtós (aktív) szikraközetek és nagy termikus szilárdságú, hosszúhullámok levezetésére is alkalmas blokkokat alkalmaznak [4], [9].

Az erősáramú elektronikus berendezések belső túlfeszültség elleni védelmére a híradástechnikai varistorok csak részben használhatók. Nem kedvező e téren a szelephatású levezető sem, mivel annak üzembiztos működéséhez aránylag nagy megszólalási feszültség szükséges ($2,0 \dots 3,1 U_N$). Bár a szelephatású levezető a külső túlfeszültség védelménél nélkülözhetetlen, a belső túlfeszültségek ellen általában RC tagokat, szelencellákat, Zener-diódákat és újabban ZnO-varistorokat alkalmaznak. Mivel ezen eszközök előnyös és hátrányos tulajdonságai együtt jelentkeznek, szerepük is aszerint korlátozódik [11], [12]. Úgy tűnik, a ZnO-varistorok igen előnyösen használhatók majd e téren, ha tovább növelik levezetőképességüket és nemlinearitásukat, s a tartós üzem során megbízhatóságról adnak számot [6], [7], [8].

2. Kisfeszültségű varistorok elméleti $U-I$ jelleggörbéi

A kisfeszültségű varistorok elméleti $U-I$ jelleggörbéinek összehasonlítása céljából vizsgáljuk meg a 19-2. ábrát [12]. (Hangsúlyozni kell az „elméleti” szót, mivel számos korszerű gyártmány a jelölt nemlinearitással nem rendelkezik.) Azonos feltételek figyelembevételével (200 V állandó feszültségen 1 mA áramfelvétel) előkelő helyet foglal el a Zener-dióda, a ZnO-varistor és a szelénelem. A SiC-varistor kedvezőtlenebb védelmi szintet biztosít, ha csupán 0,2 W alapteljesítménnyel kell számolni. Áramköri szempontból azonban fontos lehet az önfogyasztás, s végeredményben a nemlineáris vezetőképesség összehasonlításáról van szó.



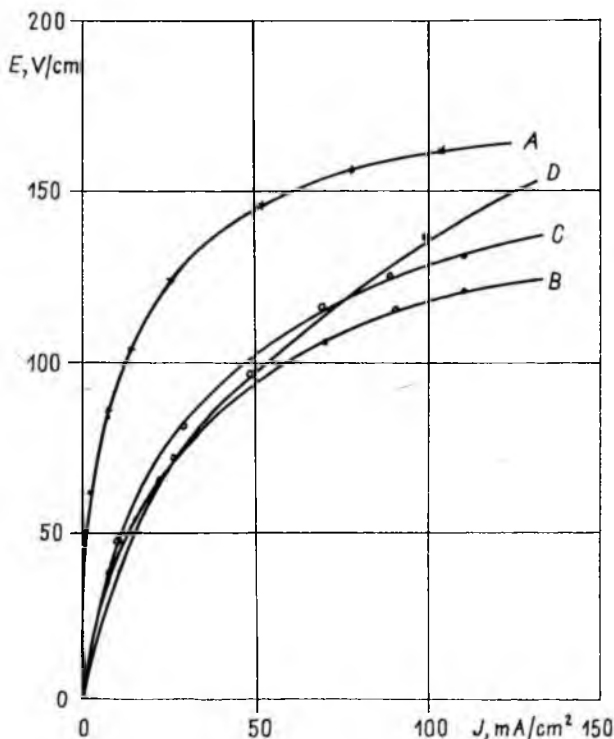
19-2. ábra. Kisfeszültségű varistorok elméleti $U-I$ jelleggörbéi [12]

Mi a SiC-varistor elméleti jelleggörbéje mellett feltüntetünk két gyakorlatban alkalmazott típus (BHG és GY típusjelzésű) jelleggörbét. Ezek anyagszerkezetét a Villamosipari Kutató Intézetben dolgoztuk ki. Mindkét ellenállásból több ezer darabot állítottunk elő és villamosan legalább olyan mértékben vettük igénybe, mint ahogyan az ábrán szereplő egyéb varistorokat terhelik. Mint látható, e két típus jobb nemlinearitással rendelkezik, mint az 1 varistor. Ez azt bizonyítja, hogy az állandó feszültségre kapcsolt SiC-ellenállások nemlineáris vezetőképesége $\alpha = 5$ értéken túl is növelhető, bár egy határon túl — a szokásos méretek tartása mellett — a levezetőképesség romlásával kell számolni. Ezt mutatja a GY görbe [14]. A továbbfejlesztés útja azonban még nyitott, mivel pl. a fém—SiC átmenetek felhasználásával is lehet javítani a SiC-varistor nemlinearitását. A 19-2. ábrán látható BHG jelleggörbe ilyen megoldás eredménye [3], [13].

3. A SiC-varistor $U-I$ jelleggörbe alakjáról

A SiC-varistor impulzusüzemben az ismert, 19-1. ábra szerinti dinamikus karakterisztikát mutatja. A felmenő ág és a visszatérő ág által bezárt terület nagysága függ a hullámhomlok meredekségétől, a hullám időtartamától és csúcsertékétől, a SiC-szemcsék érintkezési helyeinek minőségétől, a szemcsék méretétől stb. Igazolts jelenség, hogy a rövid ideig tartó (pl. $4/10 \mu\text{s}$ alakú), több 10 kA csúcsertékű áramhullámok leveztése esetén a hiszterézis által bezárt terület viszonylag nagy, míg négyszöghullámú igénybevétel esetén (2...3 ms) lényegesen kisebb [2]. Ha a hullám homlokmeredeksége jelentősen lecsökken és a hullám időtartama elég nagy (pl. 50 Hz-es hálózati félhullám esetén), hiszterézis már nem észlelhető. Ez az igénybevételi mód átmenet a statikus terhelési állapotba.

Statikus karakterisztika mérésekor egyvonalas $U-I$ görbe adódik. A görbe felvételét szakaszos feszültségrákapcsolással végzik, nehogy más, magasabb hőmérsékletre tartozó értékpárok rögzítsenek. Ez az idő viszont kb. három nagyságrenddel hosszabb, mint a négyszög hullámú igénybevétel ideje (leolvasás: 1...3 s-on belül). Nagyobb áramú tartományban viszont még rövidebb idő alatt kell mérni (egy vagy több hálózati periódusnak megfelelő időtartamon belül), hiszen esetenként néhány kW teljesítmény felvételéről van szó.



19-3. ábra. A SiC-varistor $E = f(J)$ görbéje függ az áram nemétől

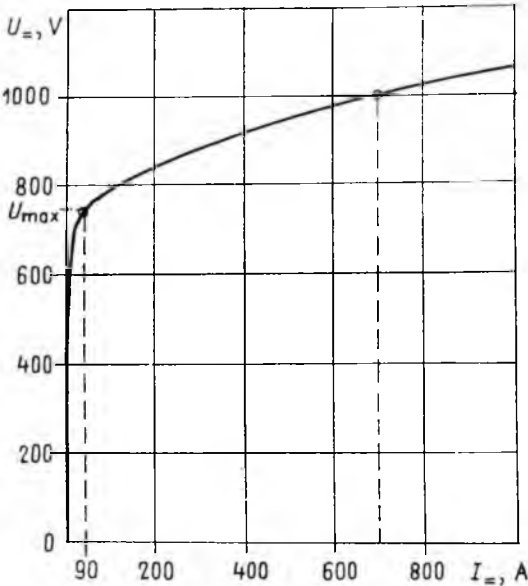
- A SiC szemcse 200...250 μm méretű, 300 kp/cm² nyomás alatt mérve, 50 Hz-es hálózati feszültséggel (eff. érték);
- B u. az, de $\varnothing 82 \times 10$ mm méretű keramikus kötésű ellenállásban;
- C u. az, de egyárammal mérve;
- D u. az, de 40/150 μs alakú, 250 A csúcsértékű áramhullámmal mérve

A SiC-varistor statikus jelleggörbéje függ az áram nemétől is. A 19-3. ábrán mutatunk be ilyen példát, egyen- és váltakozóáramú esetre. Megszerkesztettük azt a görbeszakaszt is, amely 250 A áramintervallumban mért, 40/150 μs alakú hullám visszatérő ágára vonatkozik.

A bemutatott görbék arányaiból messzemenő következtetés nem vonható le, mivel ebben szerepet játszik az alkalmazott polikristályos SiC, a kötési szerkezet, valamint azok az anyagok, amelyek az ellenállástestben foglaltatnak. Egyéb méréseink alapján viszont megállapíthatjuk, hogy max. 0,1 A/cm² áramsűrűséget előidéző statikus igénybevétel esetén az egyenáramú és a váltakozóáramú görbe 10%-on belüli térerősség-eltérést mutat. Ha a kötési szerkezet összefüggőbb (pl. potenciálvezérlő

ellenállásnál), abban az esetben az egyenáramú igénybevételnél nagyobb a vezető-képesség.

Mivel az erősáramú elektronikai berendezések belső túlfeszültségvédelmének a varistorok hosszúhullámú igénybevehetősége elsőrendűen fontos, ennek részletesebb vizsgálatát és megvalósítását tűztük ki célul. Különösen figyelemre méltó az az egyenáramú üzemi mód, amikor a SiC-varistor nincs állandóan feszültségre kötve, hanem kapcsolóelem segítségével kap időszakonként „hálózati” terhelést (min.



19-4. ábra. 600 V-os egyenáram, villamos jármű belső túlfeszültségvédelmére szolgáló SiC-varistor elméleti $U-I$ jelleggörbéje

0,005...0,03 s időtartamig), s ugyanakkor hosszú időtartamú (2...3 ms) túlfeszültség-hullámot is le kell vezetnie. Ha a varistort pl. a 19-4. ábra szerinti $U-I$ jelleggörbe U_{max} hálózati feszültségen „indítják”, hasonló helyzet állhat elő, mint a nagyfeszültségű hálózaton alkalmazott nehézüzemi levezető működése során [4], [9].

4. A vizsgálati minták nemlinearitása az $U-I$ jelleggörbe telítési szakaszában

Vizsgálati mintákat olyan egyenáramú igények kielégítésére állítottunk elő, mint amit a 19-4. ábra határoz meg. Nyugvó állapotban tirisztor zárja a SiC-varistor áramkörét, amely akkor kapcsol be, amikor belső vagy külső eredetű túlfeszültség hatására 1000 V-ra töltődik egy kb. 1000 μ F-os kondenzátortelep. A SiC-varistor ezt a kondenzátortelepet hivatott kisütni az üzemi feszültség szintjéig, majd biztosítani, hogy max. 750 V egyenáram mellett legfeljebb 50 A utánfolyó áram folyjon át rajta. A tirisztor biztonsággal ekkora áramot képes oltani.

A kondenzátortelep kisütési idejét az ellenállás rezisztenciája határozza meg. Ez az érték a 19-4. ábra szerint 1,4...15 Ω között változhat. Jó közelítéssel kb. 0,015 s idő telik el, amíg a tirisztor zár.

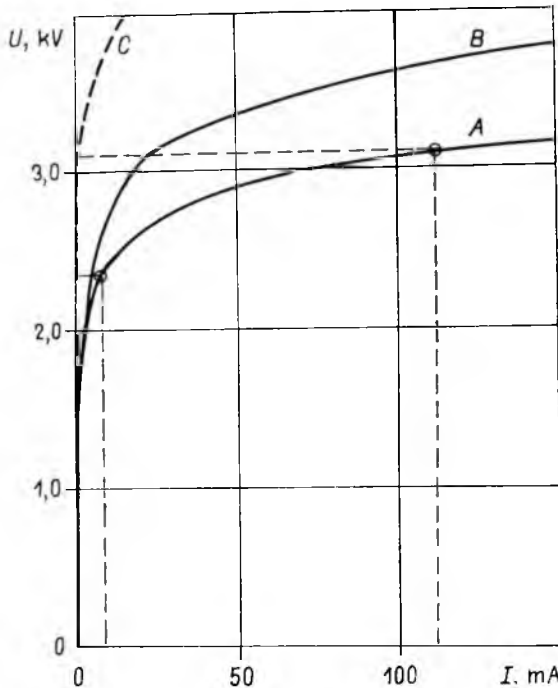
A fentiek szerint ismétlődő igénybevételek miatt érthető, hogy a SiC-varistort lényegesen nagyobb körültekintéssel kell méretezni, mint a mágneses ívnyújtású szikraközökkel ellátott egyenáramú szelephatású túlfeszültségvezető ellenállásokat.

A SiC-varistor $U-I$ jelleggörbéjének üzemi tartományára vonatkozó nemlinearitás $U_1 = 750$ V, $I_2 = 50$ A, $U_2 = 1000$ V és $I_1 = 700$ A figyelembevétele mellett

$$\alpha = \frac{\log I_2 - \log I_1}{\log U_2 - \log U_1} \quad (1)$$

képlet alapján számítható. Az igény tehát $\alpha \approx 9,2$. Ha visszpillantunk a 19-2. ábra GY jelű jelleggörbéjére, az állandó feszültségre kapcsolt SiC-varistor nemlinearitása igen távol van a kívánt értéktől. A vezérelt varistor nemlineáris vezetőképessége viszont kedvezőbb lehet, mivel az $U-I$ jelleggörbe telítési szakaszában kell a fenti nemlinearitást megvalósítani.

Előzetes tájékozódás céljából nézzük meg lineáris koordinátákban a 19-2. ábrán szereplő GY jelű ellenállás $U-I$ jelleggörbéjét (19-5. ábra). Ha a kívánt feszültség- és áramarányokat vizsgáljuk, a 19-4. ábra szerint a feszültségre $1000/750 = 1,33$, míg az áramra $700/50 = 14$ érték adódik. Ezen arányokat a 19-5. ábra A jelű görbéjén



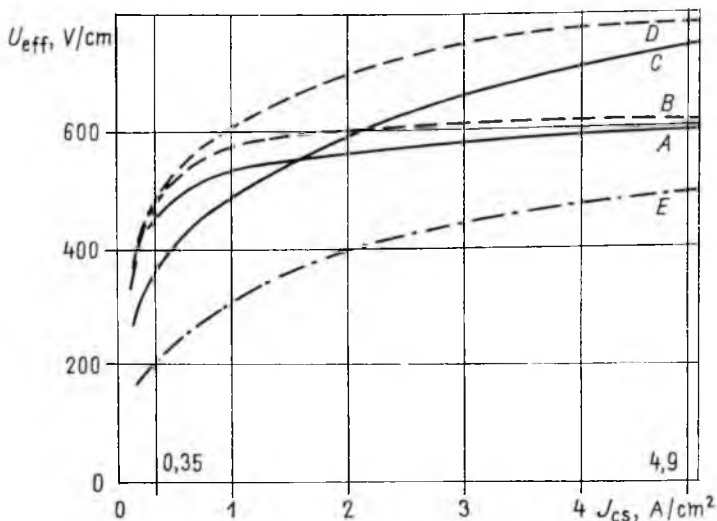
19-5. ábra. $\varnothing 76/58 \times 10$ mm méretű potenciálvezérlő ellenállás $U-I$ jelleggörbéje [5]

A mérés egyenáramú hálózaton;

B u. az. de 50 Hz-es hálózati feszültséggel mérve (eff. érték);

C az ellenállást felépítő SiC-szemcse (300 kp/cm^2 nyomás alatt), hálózati feszültséggel mérve (eff. érték)

a következő pontok elégitik ki: 8 mA/2,35 kV és 112 mA/3,1 kV. Ezeknek az adatoknak a figyelembevételével aránylag jó a nemlineáris vezetőképesség ($\alpha \approx 8,31$), azonban a kívánt levezetőáramhoz ($I_2 = 700$ A) kb. 2500 db $\varnothing 80 \times 3$ mm méretű ellenállást kellene párhuzamosan kapcsolni. Ez a megoldás műszakilag kivihető ugyan, azonban igen költséges.



19-6. ábra. A kísérleti ellenállások 50 Hz-es $E = f(J)$ görbéi.
(Felvétel: üzemi működtetőpróba szerint [9])

A 19-6. ábrán feltüntetettük azon ellenállások 50 Hz-es térerősség—áramsűrűség görbéit, amelyeket célkitűzésünk megvalósítása érdekében állítottunk elő. Valamennyi keramikussal készült, s azokat hidrogén áramú kemencékben, kb. 1360 °C hőmérsékleten égettük ki. Nemlineáris vezető anyagként p-típusú elektrotechnikai SiC-ot alkalmaztunk, 200...250 μ m méretben. (A SiC szemcsehalmaz 300 kp/cm² nyomás alatt mért jelleggörbéjét a 19-3. ábrán tüntettük fel.)

A 19-6. ábrán megjelöltük a gyakorlatban még megvalósítható és a feladatban megjelölt nemlinearitáshoz szükséges áramsűrűségeket (esetünkben $J_2/J_1 = 4,9/0,35 = 14$). A továbbiakban elegendő az egyes görbékhez tartozó térerősség-hányadosokat vizsgálni. Ezek az értékek a következők: $A = 1,33$, $B = 1,3$, $C = 1,98$, $D = 1,59$, $E = 2,4$. Mivel a kívánt hányados max. 1,33 lehet, csupán az A és B jelű jelleggörbével rendelkező ellenállások vehetők figyelembe. A többi esetben elvileg szintén adódna megfelelő térerősség-hányados, azonban csak nagyobb áramsűrűségek mellett.

Fentiek alapján a kitűzött feladat megvalósításához szükséges nemlinearitású anyag rendelkezésre állt. További kérdés: megfelelő termikus szilárdságú ellenállásegység építése.

(Ha az előző számítás alapjául vett B jelű ellenállást állandó feszültségre kapcsolva alkalmaznánk (1 db $\varnothing 47 \times 10$ mm méretű ellenállás megengedhető igénybevétele természetes hűtéssel kb. 2 W), 100 V/0,02 A, illetve 615 V/5 A között mért szakaszban $\alpha \approx 3,039$. Ebből is látható, hogy a telítési szakasz nemlinearitása lényegesen nagyobb, s a jelölt ellenállástípus kapcsolóelem nélkül nem lenne alkalmazható a kívánt célra.)

5. Termikus szilárdság

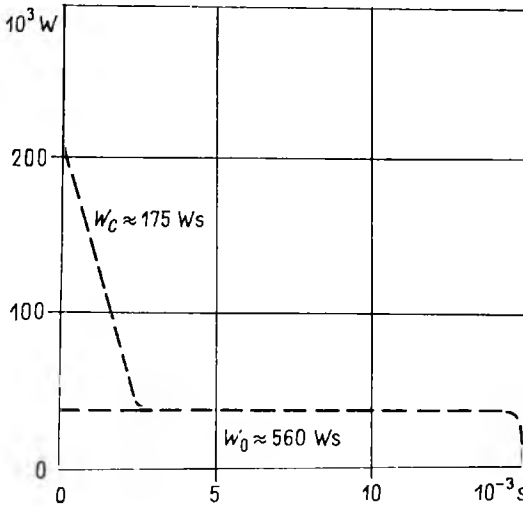
Az előzőekben ismertetett SiC-varistor termikus szilárdságának ellenőrzésére a következő villamos igénybevételeket írjuk elő:

- 750 V egyenáramú hálózati feszültség mellett, legalább 0,015 s időtartamig fennálló 50 A csúcsértékű utánfolyó áramot és erre superponált kb. 175 Ws energiataralmú túlfeszültség hullámot min. 20 alkalommal vezessen le [9].
- Feleljen meg az ellenállás olyan próbának, amikor kb. 350/1400 μ s alakú, min. 500 A csúcsértékű áramhullámmal veszik azt igénybe, legalább 20 alkalommal, 5 órán belül (5–5 igénybevétel fél percenként, közben 5 perc pihentetés).
- 2000 μ s időtartamú, 100 A amplitúdójú négyszög alakú áramhullámból legalább 20–20 igénybevétel elviselésére legyen alkalmas [9].

Az a) alatti villamos igénybevételből eredően

$$W = UIt \quad \text{Ws}, \quad (2)$$

és az ehhez járuló kb. 175 Ws energia alakul hővé az ellenálláson. Egyszeri működés esetén tehát $750 \cdot 50 \cdot 0,015 + 175 = 737$ Ws-mal számolhatunk (19-7. ábra). A túlfeszültségből adódó járulékos energia eloszlására a várható üzemi viszonyokat vettük figyelembe.



19-7. ábra. Késleltetett oltás esetén a 19-4. ábra szerinti ellenálláson hővé alakuló villamos energia nagyobb hányadát az utánfolyó áram okozza

A betáplált, illetve felhalmozott energiára — hőelvezetés nélküli eset feltételezése mellett — a következő egyenletet írhatjuk fel:

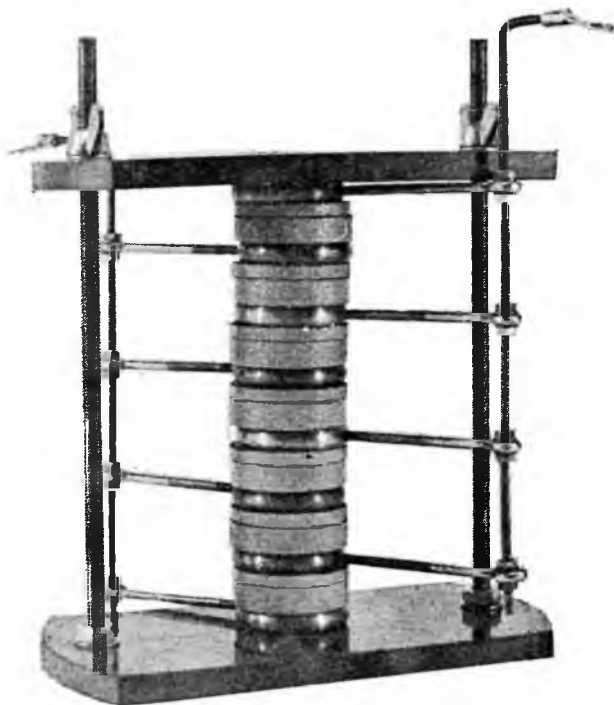
$$0,24W = mc \Delta T, \quad (3)$$

ahol m az ellenállás tömege, g;

c az ellenállás hőkapacitása, kal/g°C;

ΔT az ellenállás hőmérsékletének növekedése, °C.

Ha olyan ellenállásegységet készítünk, mint amilyen a 19-8. ábrán szerepel, s a számításához szükséges adatokat behelyettesítjük a (3) képletbe, egyszeri működtetés esetére $\Delta T = 2 \text{ }^\circ\text{C}$ adódik. Amennyiben a működtetések egymás után következének (számottevő hőelvezetés nincs), ötven működés esetén kb. $100 \text{ }^\circ\text{C}$ túlmelegedéssel kell számolni. Mivel $200 \text{ }^\circ\text{C}$ alatti hőmérsékleten a kifejlesztett ellenállásnál (impulzus-



19-8. ábra. Modell ellenállások párhuzamos kapcsolására

üzemben) káros elváltozás még nem áll elő, méretének, illetve tömegének további növelése nem indokolt. Ha az egymás után következő működések száma tovább növekszik, az ellenállásegységet alkotó elemek számát is növelni kell.

A tirisztor meghibásodása esetén a védelem $0,2 \text{ s}$ időtartamon belül old le. A zárlati energia hatására a SiC-varistor túlmelegedése $\Delta T = 200 \text{ }^\circ\text{C}$. Ilyen igénybevételek elviselésére lehet méretezni, amennyiben a geometriai méretek növelése ezt megengedi.

Fenti tájékozdó számítás kedvező viszonyokat ígér a várható igénybevehetőségre vonatkozóan. A helyzet azonban korántsem ilyen egyszerű, hiszen a 19-6. ábra szerinti ellenállások kötési energiáját nem ismerjük. Ezen túlmenően igen lényeges kérdést kell még tisztázni: a szilícium-karbid kritikus télerősségszintjének meghatározását. A tényleges mérések ismertetése előtt ezt a témát kívánjuk röviden felvázolni.

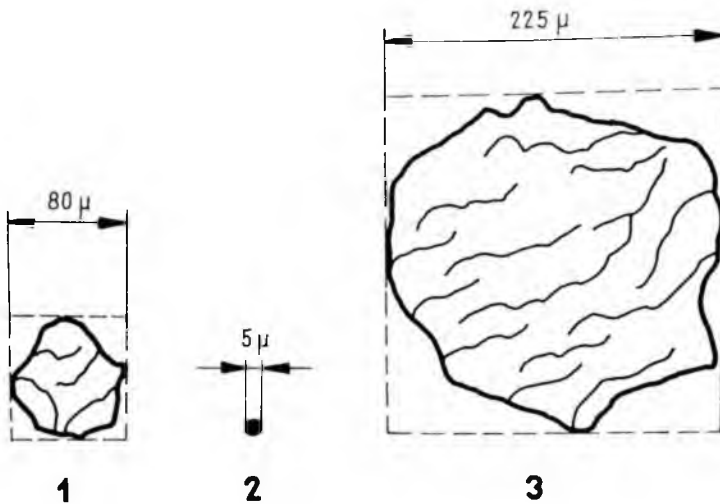
6. A SiC szemcseérintkezések villamos igénybevételéről

A keramikus kötésű SiC-varistor termikus szilárdságát elsősorban az ellenállástestben levő polikristályos SiC érintkezési helyein fellépő potenciál, az ott átfolyó áram és a működés időtartama határozza meg. Mivel esetünkben a szokásostól eltérő ellenállástípusról van szó, célszerű a mérési minták villamos igénybevételét összehasonlítani más — korábban kidolgozott és jelenleg is alkalmazott —, nemlineáris ellenállástípusok igénybevételével. E célból a 19-1. táblázatban foglaltuk össze a magyar GTL típusú levezetők nemlineáris ellenállásaira jellemző szemcseérintkezési adatokat. Feltüntettük azon értékeket is, amelyek a 19-8. ábra szerint felépített és a 4. pontban ismertetett ellenállásra vonatkoznak. Bár a polikristályos SiC-szemcsék geometriai elhelyezkedésének szabályos rendjéről alig lehet beszélni, a zsugorítás után mérhető porozitás alapján úgy vettük figyelembe a kötőanyaggal rögzített szerkezetet, mintha

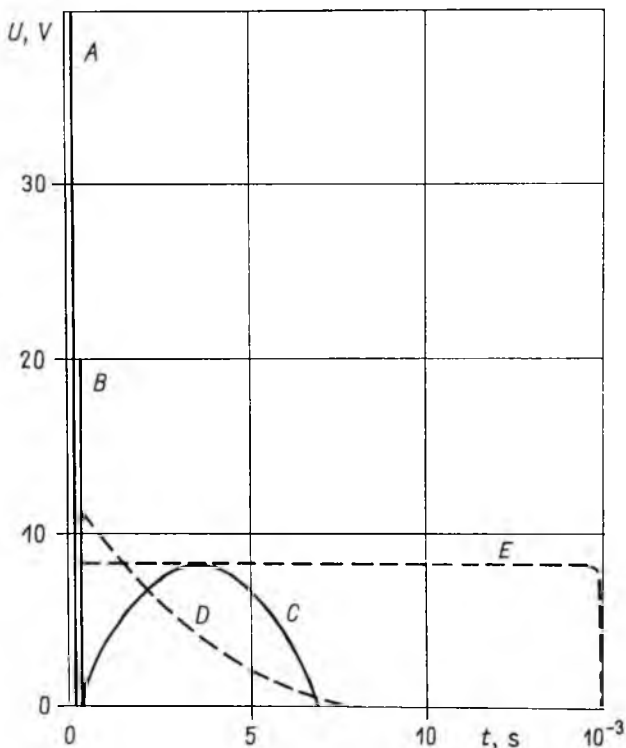
19-1. táblázat

A GTL típusú levezető- és vezérlőellenállást, valamint a 19-8. ábra szerinti SiC-varistor felépítő szilícium-karbid osztályozási adatai és a szemcseérintkezési helyeken fellépő átlagos villamos igénybevételek

Jellemzők	1	2	3
	GTL típusú levezető-ellenállás	GTL típusú vezérlő-ellenállás	Vezérelt SiC-varistor
SiC-szemcse átlagmérete, μ	80	5	225
1 cm ellenálláshosszban jelenlevő szemcsesereteg száma, db	125	2000	45
1 cm ² ellenállásfelületen jelenlevő szemcsék száma, db	$1,56 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^3$
Névleges feszültség mellett fellépő – szemcseérintkezési potenciál, V_{eff} – szemcsén átfolyó áram, μA	– –	0,5 (állandó igénybevétel) 0,0125 (állandó igénybevétel)	– –
Működéskor fellépő – szemcseérintkezési potenciál – szemcsén átfolyó áram	$20 V_{cs}/8/20 \mu s$ és $8 V_{eff}/7000 \mu s$ $12,5 mA_{cs} 8/20 \mu s,$ ill. $3 mA_{cs}/7000 \mu s$	$2,2 V_{cs}/1/50 \mu s$ és $1,5 V_{eff}/kb. 0,5 s$ $0,5 mA_{cs} 1/50 \mu s$ és $0,01 \mu A_{eff}/kb. 1/0,5 s$	$8,3 \dots 11 V_{cs}/15 ms$ $0,21 \dots 2,94 mA 15 ms$
Határlevezető áramú próba esetén fellépő – szemcseérintkezési potenciál – szemcsén átfolyó áram	kb. $40 V_{cs}/4/10 \mu s$ kb. $125 mA_{cs}/4/10 \mu s$	kb. $2,1 V_{eff}/3 s$ kb. $0,06 \mu A_{eff}/3 s$	$8,3 V_{cs}/0,2 s$ $0,21 mA/0,2 s$



19-9. ábra. A 19-1. táblázat ellenállásait felépítő polikristályos szilíciumkarbid méreteinek összehasonlítása



19-10. ábra. A 19-1. táblázat 1 és 3 jelű ellenállásának működésekor fellépő szemcseérintkezési potenciál változása az idő függvényében

- A 1 ellenállás, határ-levezetőáramú próba esetén;
- B u. az, de névleges levezetőáram esetén;
- C u. az, hálózati utánfolyó áram esetén;
- D 3 ellenállás, védőkondenzátor-telep kisütésekor;
- E egyenáramú hálózati utánfolyó áram fellépésekor, késleltetett oltás esetén

szabályos alakú kristálytestek töltenek ki a teret. A feltüntetett számadatok jó közelítéssel összehasonlíthatók azért is, mert a szemcsék átlagméretét szűk intervallumban határooltuk: pl. 80 μ -es szemcsefinomság esetében 75...105 μ méretű kristályokról van szó.

A 19-1. táblázat 1 és 2 ellenállásainak igénybevételeihez viszonyítva a vezérelt SiC-varistornak az aránylag magas szemcseérintkezési potenciál (U_{sz}) mellett igen hosszú időtartamú a villamos igénybevétele. Tekintsünk azonban a 19-9. ábrára. Ezen feltüntettük a 19-1. táblázat ellenállásait alkotó polikristályos SiC-szemcsék arányos méreteit. Ha figyelembe vesszük, hogy nemcsak a kristálytest felületén, hanem a kristály belsejében is vannak a nemlineáris vezetőképességet javító zárórétegek [10], máris látjuk, hogy a nagyobb méretű SiC-szemcsepárok között nagyobb U_{sz} engedhető meg.

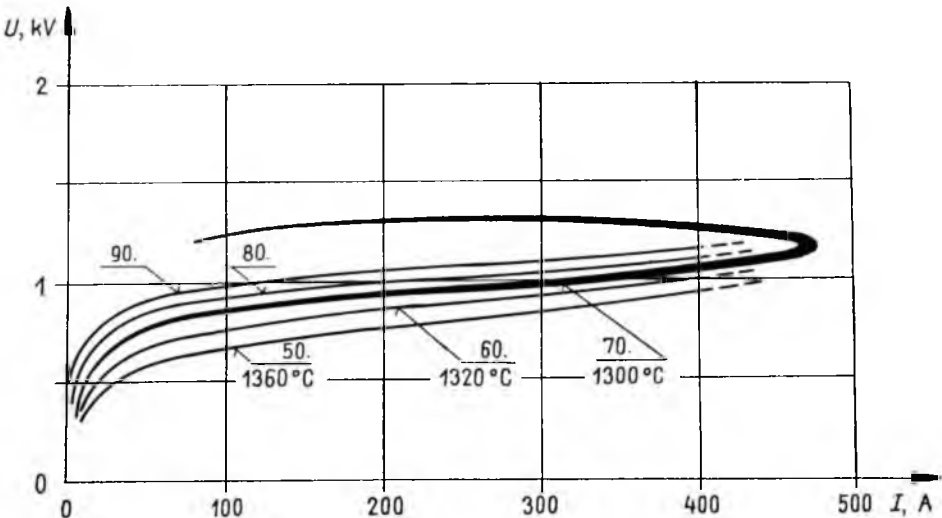
A GTL típusú levezetőellenállás SiC alapanya $U_{sz} = f(t)$ kapcsolatának néhány jellemző adatát a 19-10. ábrán szerkesztettük meg. Feltüntettük a vezérelt SiC-varistor működésére vonatkozó $U_{sz} = f(t)$ görbéket is. Ez az összehasonlítás világosan mutatja, hogy a 3 ellenállás igénybevételének ideje szokatlanul nagy. Ez természetesen további vizsgálatokat vont maga után.

7. Mérési eredmények

A mérések során a következőkről kívántunk meggyőződni:

- az ellenállásegység milyen kombinációban felel meg a 19-4. ábra szerinti $U-I$ jelleggörbe előírásainak;
- termikus szilárdság szempontjából kielégíti-e az 5. pontban előírt feltételeket.

Az e célra kidolgozott ellenállások közül az $\varnothing 47$ mm méretűek bizonyultak a legmegfelelőbbnek. ($\varnothing 82$ és $\varnothing 62$ mm méretű ellenállástestek zsugorítása kedvezőtlenebb



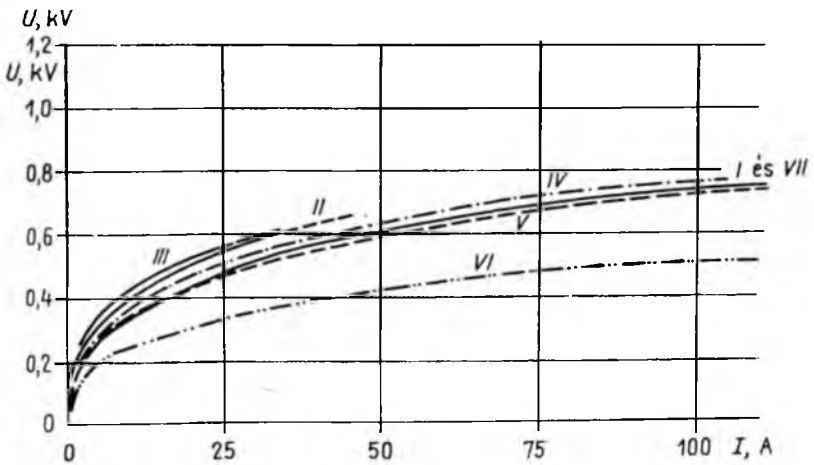
19-11. ábra. $\varnothing 47 \times 12$ mm méretű SiC-varistor $U-I$ jelleggörbék szóródása a hőmérséklet függvényében (Felvétel: 40/150 μ s-os hullámmal)

volt, s ez mind a nemlineáris vezetőképességre, mind a fajlagos termikus szilárdságra negatív hatást gyakorolt.)

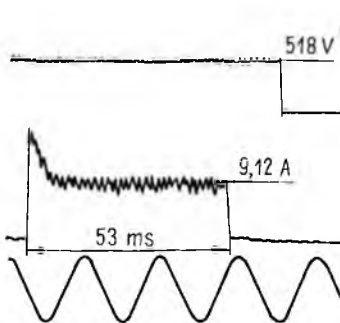
A vezérelt SiC-varistort $\varnothing 47 \times 12$ mm méretű ellenállástestekből állítottuk össze. Ezek $U-I$ jelleggörbéit a 19-11. ábrán mutatjuk be. Mint látható, a kiégetési hőmérséklet növekedésével a vezetőképesség is megnő, s ezzel együtt az α nemlineáris vezetőképesség lecsökken, ezért először a 80.—90. jelű mintákat vizsgáltuk.

Előzetes méréseink során világossá vált, hogy azok az ellenállások, amelyek a 19-11. ábra 70. jelű $U-I$ görbéje felett helyezkednek el, egyre kevésbé alkalmasak a hosszúhullámú igénybevételre. Viszont kielégítőek voltak a 60.—70. közötti sáv szerinti ellenállások. Ezeket behatóbban vizsgáltuk, a 19-12. ábra szerinti terjedelemben.

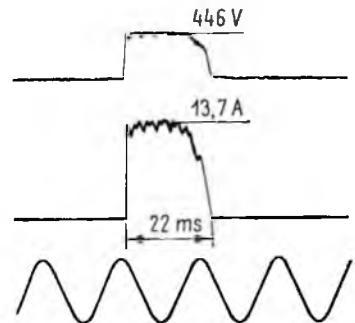
A 19-12. ábrán feltüntetett I görbe $40/150 \mu\text{s}$ alakú, 480 A csúcsertékű árhullám visszatérő ágával azonos (19-11. ábra). A VII görbe az előzővel megegyezett, amit



19-12. ábra. A 19-11. ábra szerinti 60. jelű ellenállás lökő-, egyen- és váltakozóárammal mért $U-I$ jelleggörbéi

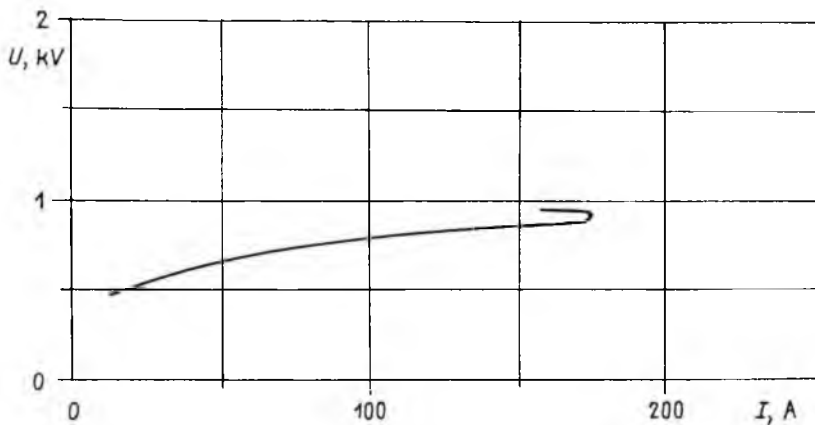


19-13. ábra. $\varnothing 47 \times 12$ mm méretű ellenállással sorba kapcsolt mágneses ivoltású szikraköz üzemi működtető mérése egyenáramú vasúti hálózaton



19-14. ábra. $\varnothing 47 \times 12$ mm méretű ellenállás $U-I$ jelleggörbe mérési pontjainak felvétele a városi vasúti egyenáramú hálózaton

60/180 μs alakú, 1620 A csúcsértékű áramhullám visszatérő ágán mértünk. A *III* görbét 600 V-os egyenáramú vasúti hálózaton, a szelephatású túlfeszültségvezetőknél szokásos üzemi működtető próbák szerint vettük fel (19-13. ábra). Az oltás idejét úgy állítottuk be, hogy a SiC-varistor termikus szilárdságára is bizonyos információkat nyerjünk. Ugyanezen hálózaton vettük fel a *II* görbét is. Ebben az esetben a hálózat be- és kikapcsolása közötti késleltetés határozta meg a működés idejét (19-14. ábra). A *IV* görbe 100/1500 μs alakú, 176 A csúcsértékű áramhullám $U-I$ oszcillogramjából adódott. Ilyen áramkiterés mellett a hiszterézis még nem számottevő (19-15. ábra).



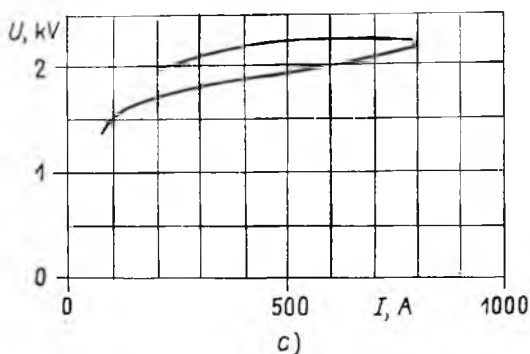
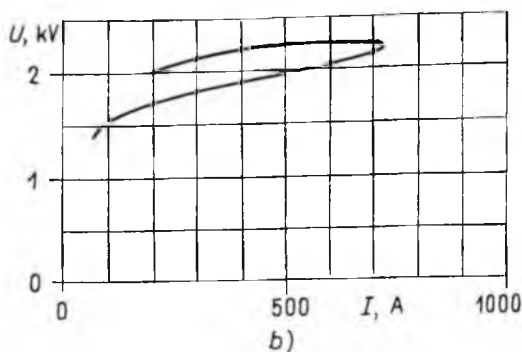
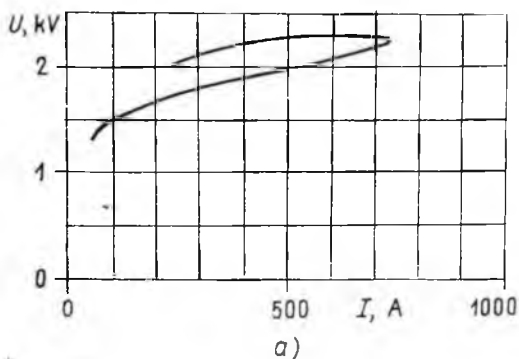
19-15. ábra. 100/1500 μs alakú áramhullám esetén (10 A/cm² áramsűrűség mellett) a hiszterézis még nem számottevő

Az *V–VI* görbét 50 Hz-es hálózaton vettük fel, a *III* görbéhez hasonlóan (*V* csúcsérték, *VI* effektív érték). Itt a működés minden esetben félperióduson belül befejeződött.

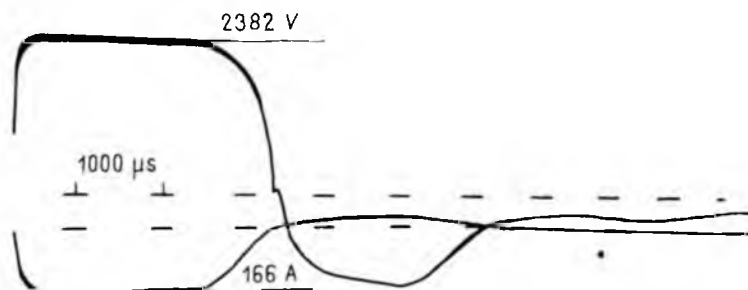
Az ellenállások $U = f(I)$ értékállóságát vizsgáltuk a 19-16. ábra szerint, 2 db sorbakapcsolt $\varnothing 47 \times 12$ mm méretű mintán. Az igénybevétel 50/200 μs alakú áramhullámmal, 10 s-ként, húszas sorozatban történt, közben 5–6 perces szünetet tartottunk. A 180. impulzus után az ellenállás hőmérséklete $> 200^\circ\text{C}$ volt. Az ellenállások az igénybevételt kifogástalanul elviselték.

Hosszúhullámú vezetőképesség ellenőrzése céljából szűrőpróbaszerűen kiválasztott $\varnothing 47 \times 10$ mm méretű SiC-varistor 350/1400 μs alakú, 550 A csúcsértékű áramhullámmal vettük igénybe, 300 alkalommal. Ezen áramhullámot 1000 V-re töltött $C = 952 \mu\text{F}$ -os kondenzátortelep szolgáltatta. A terhelőkörben, a varistorral sorba kötött 18 μH induktivitáson kívül más korlátozóelemet nem alkalmaztunk. Az igénybevételt 5 áramhullámból álló csoportokban végeztük, közben 5 perc pihentetési időt tartottunk. Egy-egy alkalommal az ellenálláson $W = \frac{1}{2}CU^2 = 476$ Ws villamos energia alakult hővé. Az igénybevételt követően az $U-I$ jelleggörbe a 19-16. ábrához hasonló változást mutatta, vagyis 100 és 700 A között jobb nemlineáris vezetőképességet észleltünk.

Fenti módon vettük igénybe 2 db $\varnothing 47 \times 13$ mm méretű ellenállást, 200...200 alkalommal. Az ellenállások az igénybevételt hibátlanul kiállták, s a nemlineáris vezetőképesség a telítési szakaszban itt is javult.

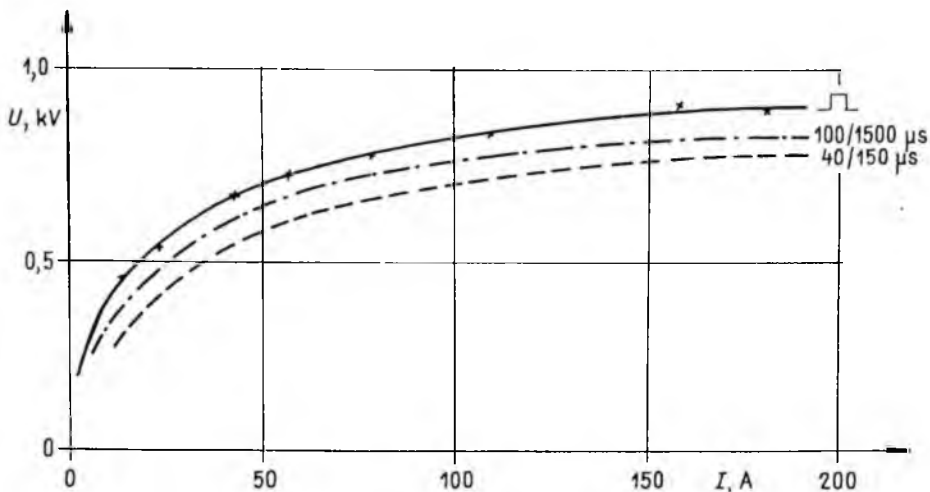


19-16. ábra. 2 db sorba kapcsolt $\varnothing 47 \times 12$ mm méretű ellenállás igénybevétele 50/200 μ s alakú áramhullámmal
a) 1. működés; b) 100. működés; c) 180. működés




19-17. ábra. $\varnothing 47 \times 25$ mm méretű ellenállás négyszög hullámú oszcillogramja

Az ellenállás négyszög hullámokkal szembeni viselkedését a 19-17. ábra szerinti hullámokkal vizsgáltuk. Az áramamplitúdó változtatásával felvettük az $U-I$ jelleggörbét (ellenállásméret $\varnothing 47 \times 10$ mm), s ezt a 19-18. ábrán szerkesztettük meg. Az ábrán feltüntettünk még két görbét: a 19-12. ábra I görbét és a 19-15. ábrán szereplőt. Mint látható, a négyszög alakú áramhullámmal mért jelleggörbe felül helyezkedik el. Ez azzal magyarázható, hogy az egyes mérési pontoknál csak a pillanatnyi áramhoz tartozó térerősség lépett fel, míg a másik két görbénél nagyobb áram-



19-18. ábra. $\varnothing 47 \times 10$ mm méretű ellenállás $U-I$ jelleggörbéje, eltérő alakú és nagyságú áramhullámokkal mérve

 = az áram a jelölt mérési pontnak felel meg;

100/1500 μ s, 175 A csúcserőtelű áramhullám (19-15. ábra);

40/150 μ s, 485 A csúcserőtelű áramhullám visszatérő ága

amplitúdójú hullám visszatérő ágáról van szó. Az ellenállást egyébként a túlfeszültség-vezetőkire vonatkozó előírás szerint vizsgálva [9] 100 A/2000 μ s négyzetshullám elviselésére alkalmasnak találtuk.

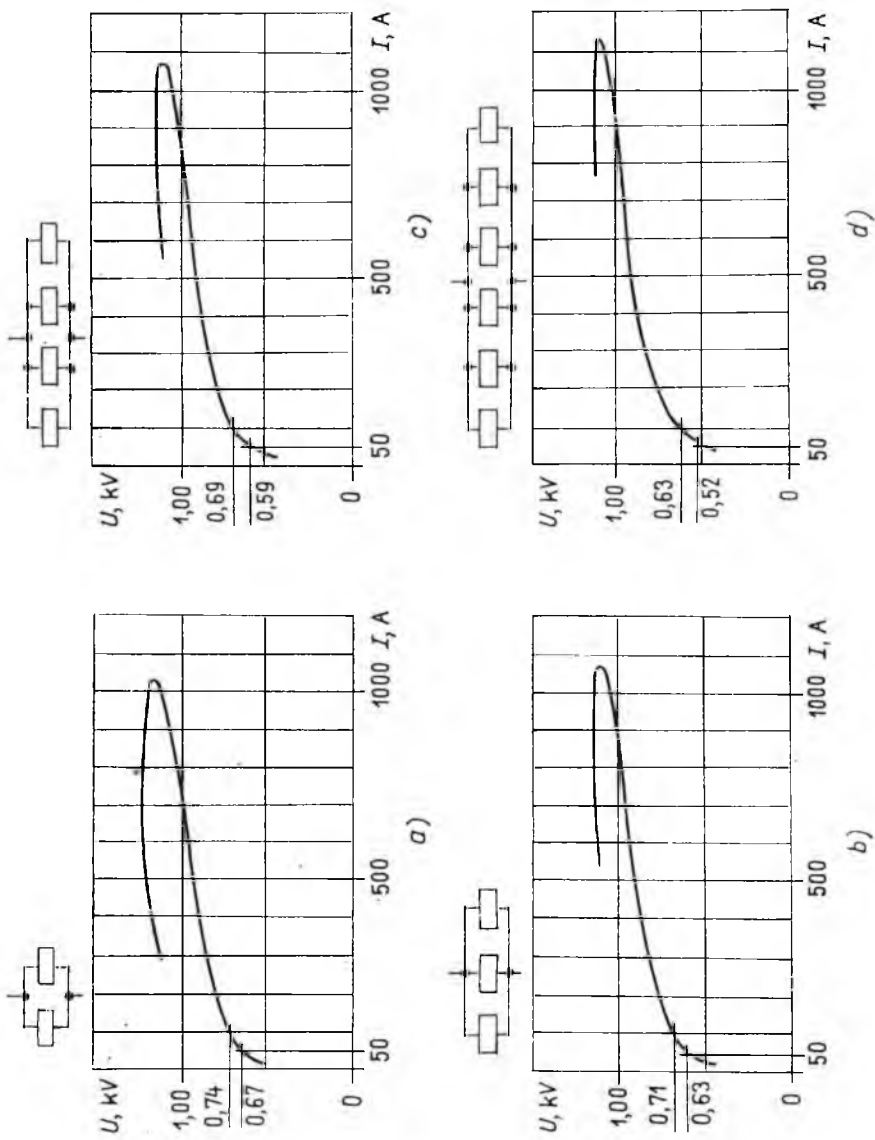
Az ellenállásrendszer felépítéséhez (párhuzamos kapcsolásához) $\varnothing 47 \times 11$ mm méretű ellenállástesteket készítettünk, s a számszerű növekedés sorrendjében felvettük ezek $U-I$ jelleggörbéit (19-19. ábra). Mint látható, az áramsűrűség csökkenésével — a hiszterézis — a vizsgált áramtartományban lényegesen lecsökken. A párhuzamosan kapcsolt ellenállások növelésével bár romlik a nemlinearitás, azonban a termikus szilárdság jelentősen megnövekszik. E két szempont optimális összhangja határozza meg a kidolgozott SiC-varistor utánfolyó áramát és védelmi szintjét.

8. Összefoglalás

Előállítottunk és részletes vizsgálatra bocsátottunk 200...250 μ m méretű polikristályos SiC-ből készült keramikus kötésű ellenállásokat. A méréseket különböző alakú áramhullámmal, valamint egyen- és váltakozóárammal végeztük. A SiC-szemcséket borító nemlineáris réteg tanulmányozására előnyösnek bizonyult a nagyobb szemcseméret és a kevés rétegszám.

Részletesen vizsgáltuk a hosszúhullámú igénybevétel hatását, különböző nemlinearitású és fajlagos vezetőképességű ellenállásoknál. Meghatároztuk azt az $U-I$ jelleggörbét, amelynél a kívánt áramtartományban a hosszúhullámú igénybevétel megengedhető. Rámutattunk a kisméretű ellenállástestek termikus szilárdságának zsgorítástól függő növelhetőségére. Kimutattuk, hogy az ismétlődő hosszúhullámú igénybevétel hatására az ellenállás nemlinearitása kedvezőbbé válik.

Munkánk eredményeként rendelkezésre áll olyan SiC-varistor, amely — kapcsolóelemmel sorbakötve — az egyenáramú városi vontatásban kapcsolási vagy belső eredetű túlfeszültségek elleni védelemre előnyösen alkalmazható.



19-19. ábra. Párhuzamosan kapcsolt $\varnothing 47 \times 11$ mm méretű SiC ellenállások $U-I$ jelleggörbéi. (Felvétel: 50/1100 μ s alakú áramhullámmal.)

Irodalom

- [1] *Bogoly I.*: Túlfeszültségvédelmi célokra szolgáló szilícium-karbid alapanyagú ellenállások és azok gyártásával kapcsolatos kérdések. Mérnöki Továbbképző Intézet, 3654. Budapest, 1958.
- [2] *Bogoly I.*: Szilícium-karbid nemlineáris ellenállásokon, nagyáramú impulzusok hatására fellépő igénybevételek vizsgálata és az ebből levonható következtetések az anyagszerkezet kialakítására vonatkozóan. Kandidátusi disszertáció, Budapest, 1968.
- [3] *Bogoly I.*: Szilícium-karbid nemlineáris ellenállások kötőanyagának aktiválása és a szemcse-érintkezési helyek módosítása fémredukció útján. Elektrotechnika, 1969. 62. évf. 204. old.
- [4] *Bogoly I.*: A levezető ellenállás nemlineáris vezetőképessége és négyszög hullámállósága közötti kapcsolat vizsgálata. Elektrotechnika, 1970. 63. évf. 113. old.
- [5] *Bogoly I.*—*Gyimóthy K.-né*: Keramikus vezérlő ellenállás túlfeszültségvevőkhöz. VKI Közleményei 6. 1977.
- [6] *Emtage, P. R.*: The physics of zinc oxide varistors. Journal of Applied Physics, Vol. 48, No. 10, Oct. 1977. p. 4372.
- [7] *Harnden, J. D.*—*Martzloff, F. D.*—*Morris, W. G.*—*Golden, F. G.*: Metal-oxid varistor: a new way to suppress transients. Electronics, 1972. oct. 91. old.
- [8] *Ichinose, N.*: TNR High-performance ceramic varistor element. Japan Electronic Engineering, 1972. July, p. 32.
- [9] *IEC Recommendation*: Lightning arresters. Publication 99–1. 1970. Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale, Genève, Suisse.
- [10] *O'Connor, J. R.*—*Smiltens, J.*: Silicon Carbide. Pergamon Press, Oxford 1960.
- [11] *Seefried, E.*: Nagyteljesítményű áramirányítós hajtások alkalmazási feltételei és védelmi problémái. 3. Erőáramú Elektronika Konferencia, Budapest, 1977.
- [12] *SIOV-Varistoren.* — Siemens Datenbuch 1976/77.
- [13] *VKI*: Műszaki dokumentáció telefoni átvivő-berendezések túlfeszültségvédelmére szolgáló varistorok gyártására. Budapest, 1960.
- [14] *VKI*: Műszaki dokumentáció GTL 3–120 kV-os típusú 5 és 10 kA-es hálózati túlfeszültségvevő készülékekhez alkalmazott potenciálvezérlő hengerek gyártására. Budapest, 1961.

VILLAMOS KÉSZÜLÉKEK

20.

Villamos érintkezők íveróziója

DR. NÉVERI ISTVÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

Az erőáramú kapcsolókészülékek érintkezői között keletkező ív jellemzőinek hatása az érintkezők igénybevételére. Levegőben és vákuumban történő ívoltás lefolyása és az íverózió alakulása. Különböző érintkezőanyagok viselkedése az ívoltás folyamatában, különféle oltóközegek esetén. Az íverózió mértékét befolyásoló paraméterek és a várható érintkezőanyag-fogyás meghatározásának módjai.

A megszakítandó áramkör különböző jellemzőinek hatása az ívenergia alakulására és az íváltppontokban lejátszódó folyamatokra. Az íváltppontok viselkedése különböző érintkezőanyagok és különböző ívöltő szerkezetek hatására.

Javasolt megoldási módok az íverózió csökkentésére légkapcsolók és vákuumkapcsolók esetén.

ДУГОВАЯ ЭРОЗИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

д-р И. Нэвери

Резюме

Действие характерных свойств дуги, образованной между контактами силовых коммутирующих установок на нагрузку контактов. Процесс гашения дуги в воздухе и вакууме, и образование дуговой эрозии. Поведение различных контактных материалов в процессе гашения дуги в случае различных гасильных сред. Параметры, влияющие на степень дуговой эрозии, и методы определения ожидаемого расхода контактного материала. Влияние различных характерных свойств размыкаемой схемы на образование дуговой энергии и процессы, происходящие в точке истока дуги. Поведение точек истока дуги под действием различных контактных материалов механизмов гашения дуги. Предложенные решения для уменьшения дуговой эрозии в случаях воздушных и вакуумных выключателей.

LICHTBOGENERATION VON ELEKTRISCHEN KON TAKTEN

Dr. I. Néveri

Zusammenfassung

Die Wirkung der Kennwerte des zwischen den Kontakten der Starkstrom-Schaltgeräte entstehenden Lichtbogens auf die Beanspruchung der Kontakte. Der Verlauf der Lichtbogenlöschung in der Luft und im Vakuum. Das Verhalten von verschiedenen Kontaktmaterialien während der Zeit der Lichtbogenlöschung bei verschiedenen Löschmitteln. Die das Mass der Lichtbogenerosion beeinflussenden Parameter und die Methoden der Bestimmung des voraussichtlichen Kontakt-Abbrandes.

Die Wirkung der verschiedenen Kennwerte des zu unterbrechenden Stromkreises auf die Ausbildung der Lichtbogenenergie und auf die in den Lichtbogen-Fusspunkten ablaufenden Vorgänge. Das Verhalten der Lichtbogen-Fusspunkte bei verschiedenen Kontaktmaterialien und Löschkammerkonstruktionen. Vorgeschlagene Lösungsmethoden für die Verminderung der Lichtbogenerosion bei Luftschaltern und Vakuum-schaltern.

ARC EROSION OF ELECTRICAL CONTACTS

By Dr. I. Néveri

Summary

Effect of the arc arising between the contacts of the heavy-current switchgears on the load of the contacts. Course of arc quenching in air and vacuum and formation of arc erosion. Behaviour of various contact materials during arc quenching, using various arc quenching media. Parameters influencing the arc erosion and methods of determining the expectable wearing of contact material.

Effect of the characteristics of a circuit to be broken on the formation of the arc energy and on the processes taking place in the arc spots. Behaviour of the arc spots under the influence of various contact materials and various arc quenching methods. Suggested solution methods of reducing the arc erosion in air- and vacuum switches.

1. Bevezetés

Az erősáramú áramkörök kikapcsolásakor az érintkezők között kialakuló villamos ív az érintkezők erózióját okozza, azaz az ív hatására roncsolódnak az érintkező felületek, csökken a kapcsolókészülékek élettartama. Az íveróziót befolyásoló tényezők megismerésével tisztázhatjuk az erózió csökkentésének lehetőségeit és ezáltal növelhetjük a készülékek megbízhatóságát.

A következőkben megvizsgáljuk az ívet körülvevő közegnek, az érintkezők anyagának, a kapcsolási paramétereknek és a kapcsolandó áramkör jellemzőinek hatását az íverózióra. Vizsgálódásaink során elsősorban a kifeszültségű, váltakozó-áramú kapcsolókészülékek működési viszonyait tartjuk szem előtt és összehasonlítjuk a légkapcsolók és a vákuumkapcsolók üzemében mutatkozó különbségeket.

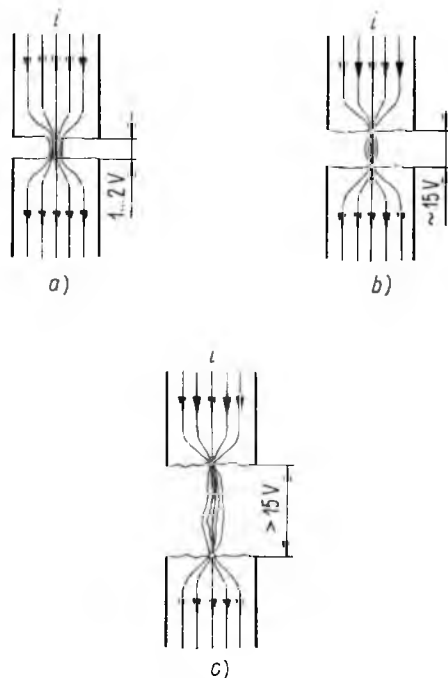
2. Íverózió levegőben és vákuumban

A villamos ív kialakulása és lefolyása igen bonyolult folyamat és az erre vonatkozó elméleti megfontolások még ma is fejlődésben vannak. Az erősáramú kapcsolókészülékek szempontjából leglényegesebb momentumokat kiemelve az ív kialakulását három fázisra oszthatjuk:

- az áramvezetést biztosító zárt érintkezők elválásakor csökken az érintkezőket összeszorító erő, a kontaktusnyomás és csökken a fémes vezetést biztosító érintkezőfelületek nagysága. Az utolsó érintkezési pontokon nagy áramsűrűség alakul ki, az érintkezési pont felmelegszik, majd helyi olvadás következik be. Az érintkezők további távolodásakor a megolvadt fémből kis *folyékony fémhíd* alakul ki. Az érintkezők között ilyenkor 1...2 V feszültségesés mérhető és létrejön az ún. hiderózió (20-1a ábra).

— Az egyre inkább megnyúló és vékonyodó fémhídban az áramsűrűség és a hőmérséklet tovább emelkedik, majd a híd elszakad és *rövid ív* alakul ki. A rövid ív biztosítja az áram további vezetését. A feszültségesés ilyenkor 15 V-nál nem nagyobb, mivel az ívfeszültségben a katódésés dominál. Az ívoszlopban ún. finom anyagvándorlás indul meg, amely általában az anódtól a katód felé irányul, anyagfogyást tehát csak az anódon észlelünk (20-1b ábra).

— A kikapcsolási folyamat folytatásával az ívhossz növekszik és nő az ívfeszültség is. A katódésés mellett megkülönböztethetjük az anód közelében mérhető anódésést és a megnyúlt ívoszlop mentén az ívgradienséből adódó feszültségesést is. A *hosszú íven* a feszültségesés mindig nagyobb 15 V-nál és értéke függ az elektródok anyagától, az ívhossztól és az íváram nagyságától (20-1c ábra).



20-1. ábra. A villamos ív kialakulása erősáramú kapcsolókészülékek szétváltó érintkezői között
a) folyékony fémhíd; b) rövid ív; c) hosszú ív

A vákuumban égő ív viselkedése némileg eltér a levegőben vagy más közegben égő ív lefolyásától. Vákuumban ugyanis az ívet csak az érintkezők felületéről kilépő töltéshordozók tarthatják fenn, mivel a kb. 10^{-4} Pa nyomású térben ionizálható atmoszféra nincs jelen. Ilyenkor az áramvezetést túlnyomóan elektronok végzik, amelyek a hő és a villamos tér hatására emittálódnak a katód felületéről. A kialakuló katódfoltban igen nagy az áramsűrűség ($10^5 \dots 10^8$ A/cm²), ami magas katódhőmérsékletet és az ívoszlopban jelentős nyomást okoz. Ha az íváram 150...200 A-t meghalad, a katódfolt részekre oszlik, több kb. azonos áramot vezető katódfolt alakul ki, és a párhuzamosan égő ívek talppontjai a katód felületén rendszertelen irányú, nagysebességű mozgást végeznek. Az ilyen ún. *vákuumívre* jellemző, hogy az ívfeszültség úgyszólván teljes egészében megegyezik a katódéséssel, az ívoszlopban és az anód közelében feszültségesés alig mérhető. Ilyen szempontból tehát a vákuumív hasonlít a rövid ívhez azzal a különbséggel, hogy vákuumban 15 V-nál nagyobb ívfeszültség mérhető. Az áramerősség növekedésével az ív, saját mágneses terének hatására, az anódhoz vezető út mentén egyre jobban fókuszálódik. Az elektródközben megnő az ívoszlop feszültséggradiense és kb. 4 kA felett az anódésés is számottevő értéket ér el. Ilyenkor nagynyomású fémgőzírőről beszélünk, amely már termikus ívoszloppal rendelkezik. 8 kA körüli áramerősség esetén a katódfoltok hirtelen egyetlen koncentrált talpponttá ugranak össze, az ív karakterisztikája és viselkedése ilyenkor már nagyon hasonlít a levegőben égő hosszú ívéhez. A különbség csak annyi, hogy vákuumban a töltéshordozók az elektródokból felszabaduló gázok és fémgőzök. Váltakozóáramú áramkör kapcsolásakor, ha az áram csúcserőssége 8 kA-t meghalad, az áram félhulláma

alatt vákuumív, majd fémgőzív, azután ismét vákuumív alakul ki az áramerősség változásának megfelelően.

Levegőben történő ívoltaskor az erősáramú kapcsolókészülékek íverózióját elsősorban a hosszú ív igénybevétele okozza, a fémhíd és a rövid ív eróziós hatása rendszerint elhanyagolható. A hosszú ív talppontjai roncsolják az érintkezők felületét. Az ívenergia nagy része az érintkezőfém megolvasztására, elgőzölögtetésére, az elektródköz ionizálására fordítódik. Az ívenergia másik része hő alakjában a környezetbe távozik. Az eróziós hatás csökkentése érdekében arra kell törekednünk, hogy az érintkezők felületét az ívtalppontok minél kisebb mértékben vegyék igénybe. Ez elérhető magasabb olvadáspontú fémek alkalmazásával, az ívtalppontok intenzív hűtésével (pl. az érintkezők felületén mozgásra kényszerítjük a talppontokat) és az ívenergia csökkentésével. Csökkenthető az eróziós hatás úgy is, hogy az érintkezőrendszer megfelelő kialakításával biztosítjuk az ív elalvása után az elgőzölgött érintkezőfémek mind nagyobb mértékű kondenzálódását az érintkezők felületén. Ez utóbbi hatás természetesen csak nemesfém alapú érintkezőanyagok esetében előnyös, amikor az oxidáció nem gátolja a kondenzálódott fémgőzök jó kötését.

Sajnálatos körülmény, hogy az ívtalppont eróziós hatásának csökkentésére felsorolt lehetőségek egyidejű optimális kihasználása nem lehetséges, mert egyik megoldás alkalmazása ronthatja a másik érvényesülését. Például a magasabb olvadáspontú fémek alkalmazása megnehezíti az ívtalppontok mozgatását és a fémgőzök visszanyerését. A fémgőzök visszanyerésére legalkalmasabb érintkezőelrendezés [1] pedig az ívoltás meggyorsítására és így az ívenergia csökkentésére alkalmas oltókamrák kihasználását korlátozza. Esetenkénti mérlegeléssel kell tehát a legmegfelelőbb, kompromisszumos megoldást kiválasztani.

Vákuumban égő villamos ív eróziós hatásának befolyásolása úgyszólván kizárólag az érintkezők anyagának megfelelő megválasztásával történhet. A vákuumív tulajdonságai önmagukban is kedvező ívoltási lehetőségeket biztosítanak. A sok katódolt ugyanis az áram nullaátmenet közelében lényegesen könnyebben biztosítja az ív elalvását. Itt inkább a túl gyors ívoltás lehet probléma, hiszen a nullaátmenet előtti árammegszakadás — az ún. áramlevágás — kapcsolási túlfeszültségeket okozhat, ami a kapcsolandó áramkör elemeinek szigetelését veszélyeztetheti. Vákuumkapcsolók esetében tehát biztosított az áramkör megszakítása az áram első természetes nullaátmenetében vagy még az előtt. Az érintkezők felületének egyenletes igénybevétele pedig a sok-sok katód talppont kialakulásával önmagától adódik. Levegőben égő ívnél ezt a hatást az ívtalppontok mesterséges mozgatásával igyekszünk elérni.

Összehasonlításként a 20-2. ábrán bemutatjuk a hasonló ívigenybevételek kitétt légkapcsoló és vákuumkapcsoló érintkezőjének felületét. Látható, hogy a vákuumkapcsoló érintkezőjének felülete lényegesen egyenletesebben roncsolódott, mint a mesterséges ívtalppontmozgatással működő légkapcsoló érintkezője.

Itt említjük meg a vákuumkapcsolók további előnyét, nevezetesen azt, hogy vákuumban az érintkezők felületének oxidációjára nincs lehetőség. Az áramvezetés biztosításához tehát nem szükséges a költséges ezüst alapú érintkezők alkalmazása, hanem más, jó villamos és hővezető képességgel rendelkező olcsóbb fémek, pl. vörösréz is alkalmazható.

Megszakítók esetében a vákuum oltóközegben is gondoskodni kell az ívtalppontok bizonyos mértékű mozgatásáról, tekintettel arra, hogy a 8 kA feletti áramerősségnél koncentrálódó ívtalppont eróziós hatása már komoly helyi beégést okozhat. Mivel vákuumkapcsoló oltókamrájába külön ívoltó szerkezetek általában nem helyezhetők el, az érintkezők felületének megfelelő kialakításával gondoskodnak arról, hogy az áram dinamikus hatása idézzen elő ívmozgást [2].



20-2. ábra. Az ív eróziós hatása vákuum- és légkapcsoló érintkezőjének felületén 100 ezer kikapcsolás után
a) vákuumkapcsoló érintkezője; b) légkapcsoló érintkezője

3. Az érintkezők anyagának megválasztása

Az erősáramú kapcsolókészülékek érintkezőivel szemben támasztott igények közül a legfontosabbak: az íverózióval szembeni ellenállóképesség, a kis érintkezési ellenállás és a hegedésmentes kapcsolás. Ezek közül az íverózióval szembeni ellenállóképesség talán a legfontosabb, mivel ez határozza meg a kapcsolókészülék élettartamát. Különösen nagy jelentőségű ez a szempont azoknál a kapcsolófajtáknál, ahol a gyakori kapcsolás a feladat és az érintkezők meghibásodása egész gyártási folyamatok leállá-

sához vezethet. Ilyen kapcsolók pl. a kisfeszültségű kontaktorok és motorvédő kapcsolók, amelyek elsősorban a villamos motorok kapcsolására és védelmére szolgálnak.

A rövidzárlat elleni védelemre alkalmas megszakítók esetében szerencsés körülmény, hogy külön választható az az érintkezési hely (pl. főérintkező), amelyen keresztül az üzemszerű áramvezetés létrejön, és az, ahol a kikapcsolási ív igénybevétele fel lép (pl. ívhúzó érintkező). A főérintkező anyaga rendszerint ezüst, vagy ezüst alapú fémkompozíció, a kis érintkezési ellenállás biztosítására. Az ívталppont erőzítés hatásának kitett ívhúzó érintkezőknél magas olvadáspontú, jó íválló fém, illetve fémkompozíciót alkalmazunk.

20-1. táblázat

Légkapcsolókban alkalmazható érintkezőanyagok

Érintkező fém	Összetétel	Alkalmazási terület
Cu	–	Egyenáramú kontaktorok
Ag	–	kisebb áramú kontaktorok, megszakítók főérintkezői, szakaszolóérintkezők
AgCu	3 ...20% Cu-tartalom	kis névleges áramú relék, nyomógombok, jelzőkapcsolók, végálláskapcsolók, görgőskapcsolók, programkapcsolók, kontaktorok
AgW	20...80% W-tartalom	kismegszakítók, nagyáramú, nagyfeszültségű vasúti kapcsolók, kisfeszültségű megszakítók a legnagyobb áramerősségeikig
AgMo	20...80% Mo-tartalom	Mint AgW esetében
AgCdO	5...15% CdO-tartalom	közepes és nagyáramú kontaktorok, görgőskapcsolók, kisfeszültségű megszakítók kb. 3000 A zárlati áramig, kondenzátorkapcsolók, erősáramú relék
AgNi	10...40% Ni-tartalom	kisebb áramú segédkapcsolók, egyen- és váltakozóáramú kontaktorok, görgőskapcsolók, nyomógombok, végálláskapcsolók, erősáramú relék, egyenáramú vasúti kapcsolók, egyen-és váltakozóáramú megszakítók kb. 20 kA zárlati áramig
AgC	3...5% C-tartalom	kondenzátorkapcsolók, kismegszakítók, csúszóérintkezők

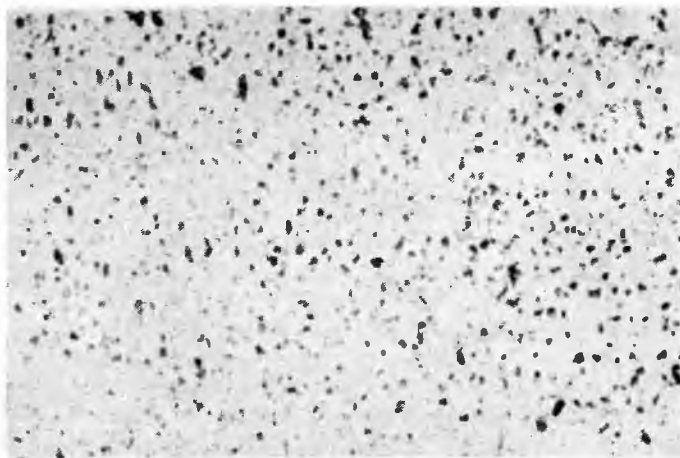
Az íverózióval szemben jól ellenálló, minden szempontból megfelelő érintkezőanyagok kiválasztásakor tehát pontosan ismerni kell a felhasználási területet, a készülék üzemeltetésének módját. Ismerni kell továbbá a környezetet is, amelyben az érintkező működni fog. A korszerű kifeszültségű kapcsolók esetében a levegő és a vákuum az a környezet, amit elsősorban tekintetbe kell vennünk.

A 20-1. táblázatban összeállítottuk a légkapcsolókban alkalmazható érintkezőanyag-fajtákat és a felhasználási területet. Látható, hogy kontaktorok esetében meg lehetőségek sokféle fém, fémötvözet, illetve fémkompozíció szerepel, mégis — vizsgálati tapasztalataink alapján — korszerű érintkezőként lényegében három anyagféleség között választhatunk: színezüst, ezüstkadmiumoxid és ezüstnikkel. A VKI-ban lefolytatott sokezer vizsgálat alapján a légkontaktorok számára a következőket javasolhatjuk:

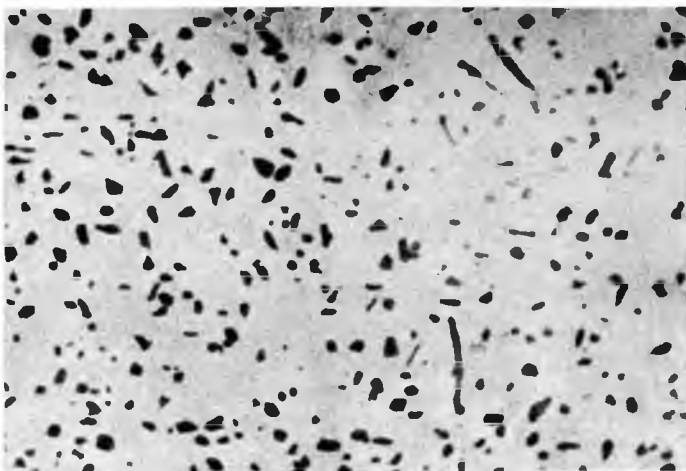
4... 10	A névleges áramerősség esetén	Ag,
16... 40	A névleges áramerősség esetén	AgNi,
20...400	A névleges áramerősség esetén	AgCdO,

illetve a legújabb szabadalmaztatott eljárás szerint a 16...400 A áramtartományban, sőt várhatóan 400 A felett is igen kedvező eredmények érhetők el Ag és AgNi érintkezők megfelelő párosításával [3].

A fenti javaslat csak durva tájékoztatást ad, hiszen a kapcsolási paraméterek, az alkalmazott ívöltési módok és az áramköri paraméterek ismeretében a felsorolt anyagok pontos összetételét is meg kell határozni. Sok múlik azon, hogy milyen gyártástechnológiával állították elő az érintkezőanyagokat. Az AgCdO érintkezők esetében pl. kedvezőbb tapasztalatokat kaptunk a belső oxidációs eljárással készített 10% CdO-t tartalmazó érintkezőanyagokkal, mint a fémkerámiai úton előállított ugyanilyen összetételű anyagokkal. Az íverózióval szembeni ellenállóképesség változott akkor is, ha a CdO szemcsék mérete változott a különféle beoxidálási technológia miatt. Kedvezőbb eredményt kaptunk a 20-3a ábrán látható, kisebb szemcséjű és viszonylag egyenletesebb eloszlású AgCdO érintkezővel, mint a 20-3b ábra szerinti struktúra esetén.



20-3. ábra 90/10%-os összetételű AgCdO-érintkezők belső szerkezetének mikroszkópi képe 300×-os nagyításban
a) finomszemcsés AgCdO;



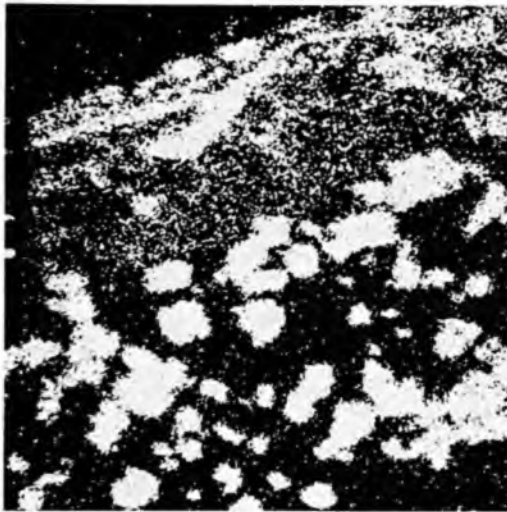
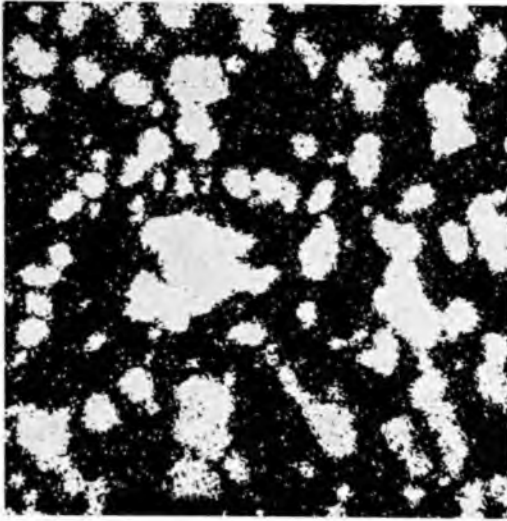
20-3. ábra
b durvaszemcsés AgCdO

Az AgNi érintkezőanyagot sok készülégyár alkalmazza egyrészt a közepes névleges áramerősségű kontaktorokban, másrészt a kismegszakítók ívhúzó érintkezőjeként. Itt is fontos az érintkezők mikrostruktúrájának megfelelő kialakítás. A 20-4a ábrán látható 20% nikkelt tartalmazó érintkező mikroszondás analízise, amely a nikkelrészecskéket fehér színben mutatja. A fémkerámiai úton előállított AgNi érintkezőanyagok esetében a szemcseméreték további csökkentése gazdaságos gyártási módszerrel jelenleg nem oldható meg. Az ív eróziós hatása szempontjából azonban előnyösebb lenne a nikkelrészecskéket további csökkentése. A VKI-ban kidolgozott megoldással, az anyagvándorlás tudatos irányításával sikerült elérni, hogy az AgNi érintkező felületén a 20-4b ábrán látható igen finomszemcsés Ni-eloszlás alakuljon ki és a felületi réteg nikkelben dúsuljon. Ez az érintkező kb. kétszer olyan élettartamot eredményezett, mint az eredeti AgNi érintkező [1].

Méréseink alapján tehát úgy látjuk, hogy a kiefeszültségű légkontaktorok esetében az AgCdO érintkezők mellett egyre nagyobb szerephez jut az AgNi érintkezők alkalmazása, egyrészt a gyártástechnológia további fejlődése következtében, másrészt az Ag és AgNi érintkezők megfelelő párosítása esetén.

A vákuumkapcsolókban alkalmazandó érintkezőanyagok kiválasztása talán még a légkapcsolóknál is bonyolultabb feladat. Ebben az esetben ugyanis az érintkezők anyaga határozza meg az ívoltagegységességét és az áramlevágás bekövetkezését vagy elmaradását is. A megfelelő anyagféleségek kiválasztásán túl igen fontos körülmény a fémek vákuumtisztaságának előállítása. A vákuumkapcsolók érintkezőinek kialakítására vonatkozóan jelen kötet 21. cikke ad részletes tájékoztatást [4].

A különféle feladatú kapcsolókészülékekhez legalkalmasabb érintkezőanyagok kiválasztásakor az elvi megfontolásokon túl ma még számos vizsgálat elvégzése szükséges. Az érintkezőanyagoknak az íverózióval szembeni ellenállását legmegbízhatóbban kapcsolási próbákkal ellenőrizhetjük. Ehhez olyan forszírozott igénybevételi módszereket dolgoztak ki [5], [6], [7], amelyek viszonylag rövid idő alatt kimutatják, hogy kb. milyen élettartam várható adott áramkört kapcsoló érintkezőanyagoktól. A kiértékelés módja: az anyagfogyás meghatározása a kapcsolási szám függvényében. Ez történhet egyszerűen a súlycsökkenés mérésével, ma már azonban sok helyen beve-



20-4. ábra. 80/20%-os összetételű AgNi érintkezők mikroszondás analízise
a) eredeti szemcseszerkezet; b) a felületre kondenzálódott Ni-szemcsék eloszlása

zették a radioizotópos vizsgálati módszer alkalmazását is [8], [9]. A vákuumkontaktorok esetében jó tájékoztatást kapunk, ha az érintkezők magassági méretének csökkenését regisztráljuk, tekintettel arra, hogy a teljes érintkező felület egyenletes fogyása miatt ez az adat súlycsökkenésre átszámítható. A kapcsolások során fellépő ívjelenségek tisztázására, az anyagfogyás okainak pontosabb felderítésére a VKI-ben most dolgozzuk ki a megfelelő lézerholografikus vizsgálati módszert.

4. Az áramkörü jellemzők és a konstrukciós paraméterek szerepe

Az íverózió mértékét az áramkörü paraméterek közül elsősorban az íváram befolyásolja. Az áramerősség és az íverózió nagysága közötti összefüggést sok kutató vizsgálta [10], [11]. Az empirikus képletek tanúsága szerint az érintkezők anyagfogyása általában az íváram 1,6...2,0 hatványával arányos, de bizonyos áramerősségeken az eróziós hatás ugrásszerűen megnő. Ez utóbbinak oka feltehetően abban keresendő, hogy az érintkezőanyagok megolvasztásához, illetve elgőzölögtesítéséhez egy nagyságrenddel több kalóriára van szükség. Amikor tehát az ív talppontban az áramerősség növekedésével nő a hőmérséklet, és a megolvadt érintkezőanyag forrásba kerülve elgőzölög, az anyagfogyás mértéke ugrásszerűen megnő.

A hálózati feszültség és az áramkör teljesítményezője olyan formában hat az íverózióra, hogy az áram első nullaátmenetében meggátolhatja az ív végleges kialakítását. Minél nagyobb ugyanis a hálózati feszültség és minél kisebb a hálózat teljesítményezője, annál valószínűbb az ív újragyulladás és ezáltal az ívenergia növekedése, egy adott érintkezőelrendezés esetén.

A kapcsolókészülékek konstrukciós kialakítása több szempontból is befolyásolja az íveróziót. A nagy kikapcsolási sebesség és a célszerűen kialakított ívöltő szerkezet (ívmozgás, oltókamra stb.) egyrészt elősegíti a gyors ívöltést, másrészt az ív hatásos hűtésével csökkenti az érintkezők hőigénybevételét. A kikapcsolási sebesség és az érintkezők mérete ugyanakkor befolyásolja az elgőzölögött érintkezőfém visszanyerési folyamatát [12]. Az egyes hatások érvényesülése nagymértékben függ az érintkezők anyagától is. Kisfeszültségű kontaktorok optimális kikapcsolási sebessége pl. ezüst érintkezők esetén 0,1 m/s, ezüstkadmiumoxid érintkezőknél pedig kb. 0,3 m/s.

Mindezek alapján látható, hogy az adott feladatra legmegfelelőbb érintkezőanyag és érintkezőszerkezet kiválasztása meglehetősen komplex feladat. Amíg az ívfizikai kutatások nem tudják egyértelmű matematikai formulákba önteni az ív legfontosabb jellemzőit, a peremfeltételeket figyelembe véve, elsősorban kísérleti eredményekre szorítkozhatunk. A kutatási munka tehát jelenleg még szükségszerűen kétirányú. A készülékkutatók igen nagyszámú mérésel, gyakorlati oldalról keresik az optimális megoldásokat, közben a fizikusok az ív kialakulásának és lefolyásának alapkérdéseit tisztázzák.

5. Javaslatok

A kisfeszültségű, váltakozóáramú kontaktorok érintkezőiként általában belső oxidációs eljárással készült AgCdO érintkezőket alkalmazunk 90/10%-os összetételben mindaddig, amíg az olcsóbb fémkerámiai eljárással nem sikerül az ezzel egyenértékű struktúrát kialakítani.

Új kapcsolók kialakításakor törekedni kell a különféle érintkezők — célszerűen az Ag és az AgNi érintkezők — párosításából adódó előnyök kihasználására.

Az erősáramú érintkezők kutatása területén elsősorban anyagtechnológiai kutatásokra, az íverózió mértékének gyors meghatározását célzó újszerű vizsgálati módszerek kidolgozására és a villamos ív alaposabb megismerésére kell koncentrálni.

Tekintettel a vákuumkapcsolók várható gyors elterjedésére, az ott alkalmazható új, vákuumtisztá érintkezőkompozíciók kidolgozása külön kutatási feladat, mind anyagtechnológiai, mind vizsgálati szempontból.

Irodalom

- [1] *Néveri I.*: A kifszesültségű kontaktorok megbízhatóságának növelése az érintkezőanyagok megfelelő párosításával. *Elektrotechnika*, 70 (1977).
- [2] *Gösch—Freund—Haupt*: Der Einfluss des Kontaktsystems auf das Schaltverhalten von Vakuumbogenlöschkammern für Mittelspannungsleistungsschalter. *Wissenschaftlich-technische Mitteilungen IPH* 17/76.
- [3] 166.332. számú magyar szabadalom: Érintkezőelrendezés kapcsolókészülékekhez. Szabadalomtulajdonos: VKI.
- [4] *Polgár T.—Szauter F.*: Vákuumkontaktor kutatás. VKI Közlemények 7. Budapest, 1978.
- [5] *Leis—Scheibe*: Verfahren zur Prüfung der Schaltstückerosion bei der Kontakttrennung. SIELA'74 Symposium — Plovdiv (Bulgária) Szófia 1976.
- [6] *Dimitrov—Parvanov—Stefanov—Tronkova*: Einige Untersuchungen über den Kontaktbrand der Niederspannungsschalter. *Contacts Electriques* 1974, Páris.
- [7] *Néveri I.*: Kontaktuntersuchungen an Niederspannungsschaltgeräten. *Kontakte in der Elektrotechnik*. Akademie-Verlag Berlin, 1965.
- [8] *Farkas—Hirling*: Erősáramú érintkezők anyagfogyásának vizsgálata radioaktív izotópos módszerrel. *Izotóptechnika* 5. (1972).
- [9] *Dékány I.*: Über die Messungen der Materialwanderung der Telephontechnischen Relaiskontakte mit Fremdschichten. *Contacts Electriques* 1974. Páris.
- [10] *Turner—Turner*: Process Involved in the Arc Erosion and Transfer of Contact Materials. REKO'75 Budapest (1975).
- [11] *Ho xuan Thanh*: Kifszesültségű mágneskapcsolók korszerű méretezésének néhány kérdése. Kandidátusi értekezés, 1970.
- [12] *Néveri I.*: A kifszesültségű kontaktorok villamos élettartamát befolyásoló paraméterek helyes megválasztása. VKI Közlemények 4. Budapest, 1972.

21.

Vákuumkontaktor-kutatás

DR. POLGÁR TIBOR—SZAUTER FERENC

ÖSSZEFOGLALÁS

A vákuumkontaktorok előállításakor a hagyományostól eltérő, modern technológiák és anyagok felhasználása szükséges. A kialakításukat megalapozó kutatások új vizsgálati módszereket igényelnek. A tanulmányban összefoglalóan áttekintjük a vákuumkontaktorok kutatása területén a Villamosipari Kutató Intézetben eddig elért eredményeket. Ismertetjük a kialakított mérőberendezéseket és a legfontosabb vizsgálati módszereket. Tárgyaljuk a különféle gázszegény érintkezőanyagok íveróziós vizsgálata során elért eredményeket, valamint az érintkezőanyagok kondenzációviszonyait befolyásoló legfontosabb geometriai tényezőket. Bemutatjuk az Egyesült Izzónak a Kutató Intézettel közösen kidolgozott kísérleti ívöltő kamráját.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАКУУМНОГО КОНТАКТОРА

p T. d-Polgár—Ф. Саутер

Резюме

При изготовлении вакуумных контакторов необходимо применить современных технологий и материалов, отличающихся от традиционных. Исследования для обоснования разработки этих технологий и материалов потребует новых методов испытания. В статье дается обобщенный обзор результатов, достигнутых до сих пор в ВКИ в области исследования вакуумных контакторов. Представляются разработанные измерительные оборудования и важнейшие методы испытания. Излагаются результаты, достигнуты при испытаниях дуговой эрозии и тока среза, а также важнейшие геометрические факторы, влияющие на отношение конденсации контактных материалов. Представляется опытная вакуумная дугогасительная камера, разработанная совместно с Исследовательским Институтом „Объединенной лампы“.

VAKUUMSCHÜTZFORSCHUNG

Dr. T. Polgár — F. Szauter

Zusammenfassung

Bei der Herstellung von Vakuumschützen müssen die Anwendung die vom traditionellen abweichenden modernen Technologien und Stoffe angewendet werden. Die mit ihrer Ausbildung zusammenhängenden Forschungen brauchen neue Prüfmethode. Der Aufsatz gibt zusammenfassend einen Überblick über die im Forschungsinstitut der Elektroindustrie bisher erzielten Ergebnisse auf dem Gebiet der Forschungen von Vakuumschützen. Die ausgestalteten Messeinrichtungen und wichtigsten Prüfmethode werden dargelegt. Es werden Ergebnisse über die Lichtbogenerosion und den Abreistrom verschiedener gasarmer Kontaktwerkstoffe dargestellt. Ferner wird die mit dem Forschungsinstitut der Tungsram A. G. gemeinsam ausgearbeitete Versuchs-Vakuumlöschkammer für Schütze vorgestellt.

RESEARCH OF VACUUM CONTACTORS

By Dr. T. Polgár — F. Szauter

Summary

In order to produce vacuum contactors the use of modern technologies and materials deviating from the traditional ones are needed. The research dealing with their formation requires new testing methods. In the paper we summarize the results achieved at the Research Institute of the Electrical Industry in the research field of the vacuum contactors up to now. The elaborated measuring equipments and the most important test methods are introduced. The results achieved in the course of the arc erosion and current chopping test of different gas-poor contact materials as well as the most important geometric factors influencing the condensation circumstances of the contact materials are dealt with. The experimental vacuum interrupter elaborated together with the Research Institute of the Tungfram Co. is introduced.

1. Bevezetés

Hazánkban a villamos energia ipari felhasználási volumene rohamosan növekszik. A bányászatban, a gépgyártásban, a kohászati iparban és más területeken alkalmazásra kerülő legmodernebb technológiák korszerű üzemviteli módszerek alkalmazását igénylik. Általános tendencia, hogy a villamos energiával működő gépi berendezések egységteljesítménye egyre nagyobb, és a mind bonyolultabb technológiai folyamatok fokozott automatizálást igényelnek. Ezek a körülmények különleges követelményeket támasztanak a felhasználásra kerülő kapcsolókészülékekkel szemben is.

A vákuumkontaktorok tipikusan olyan kapcsolókészülékek, amelyek a legkorszerűbb ipari követelmények kielégítésére alkalmasak. 1 kV...12 kV névleges feszültség között MW nagyságrendű teljesítményig terjedő fogyasztók igen gyakori (pl. óránként 600) és igen nagy számú (0,5...1 millió) kapcsolására készülnek. A garantált élettartamon belül karbantartást nem igényelnek. Emellett méreteik eltörpülnek a hasonló célú más kapcsolókéhoz képest.

A kedvező műszaki paraméterek következtében a vákuumkontaktorok felhasználása számos újabb lehetőséget rejt magában, elsősorban az ipari célú középfeszültségű fogyasztói berendezések alkalmazásának széles körű elterjesztésében. Lássunk erre néhány példát. Középfeszültségű motorok, ívkemencék stb. kapcsolására nálunk jelenleg olajszegény megszakítókat, esetleg import légmentesítőket használnak. Ha ezeket vákuumkontaktossal helyettesítjük, a kapcsolóberendezés élettartamát kb. tízszeresére növelhetjük. A vákuumkontaktossal sorbakötött olvadóbiztosító alkalmazásával a berendezések zárlatvédelme is megoldható. A bányászatban alkalmazásra kerülő gépek villamos hajtómotorainak kapcsolása sok esetben rendkívül nagy igényeket támaszt a kapcsolókészülékkel szemben. Ismeretesek olyan üzemviteli körülmények is, amikor a jelenleg használt légmentesítőket havonta többször is cserélni kell. A vákuumkontaktor alkalmazása ilyen esetben is több hónapos folyamatos üzemvitelt garantálhat, és a kontaktortípus megfelelő kiválasztásával külön zárlatvédelemre nincs szükség.

E kiragadott példák érzékeltetik, hogy a vákuumkontaktorok hazai alkalmazása rövid időn belül nemcsak műszaki szükségesség, hanem gazdaságos megoldás is lesz.

Ebből a felismerésből kiindulva a Villamosipari Kutató Intézet már 1972-ben kezdeményezte a vákuumkontaktorok hazai alkalmazását és esetleges gyártását elősegítő kutatás-fejlesztési munka megindítását. Javaslatainkat a Kohó- és Gépipari

Minisztérium kedvezően fogadta. Így az általa biztosított anyagi támogatással az érdemi kutatómunkát 1973-ban kezdhettük meg.

A vákuum-ívoltókamrák hatékony fejlesztése szoros együttműködést kíván vákuum-fizikus és technológus, anyagtechnológus és kapcsolókészülékes szakemberek között. Ezért a kutató-fejlesztő munkába kezdettől fogva bevontuk az Egyesült Izzó RT Kutató Intézet és a Vasipari Kutató Intézet munkatársait is.

Az Egyesült Izzó RT Kutató Intézetben a vákuum-ívoltókamra kutatásokhoz szükséges speciális technológiák nagy része kezdettől fogva rendelkezésre állt. Ez lehetővé tette, hogy a szisztematikus kutatásokhoz kialakítandó nagyvákuum- és ultravákuum-berendezések, valamint a kísérleti vákuumkontaktor ívoltó kamrák viszonylag gyorsan és jó minőségben készülhessenek el.

A Vasipari Kutató Intézet a vákuumkontaktorokban alkalmazható, különleges követelményeket kielégítő kísérleti érintkezőanyagok elkészítését és az anyagtechnológiai minősítő vizsgálatok (maradék-gáz-tartalom és különféle anyagfizikai jellemzők meghatározása) elvégzését vállalta magára.

Ezek a körülmények jó háttérrel biztosítottak ahhoz, hogy kutató-fejlesztő tevékenységünket hatékonyan végezhessük. Így már a kutató munka megkezdésének évében a szisztematikus vizsgálatok elvégzéséhez alkalmas bontható vákuum oltókamrával rendelkezünk (21-1. ábra). Körülbelül egy évig tartó célratoró vizsgálataink eredményeképpen kialakítottuk a 21-2. ábrán bemutatott vákuum-ívoltókamrát, amely háromfázisú kontaktor üzemmódban különféle névleges feszültségen a következő kapcsolóképességeket érte el:

Feszültség, V	Bekapcsoló-képesség, A	Kikapcsoló-képesség, A
1100	3200	2500
3300	2200	2500
6600	2000	1500

A kedvező eredmények hatására 1974-ben megkezdtük az első ipari megrendelésre készülő vákuumkontaktor-fejlesztést. A VBKM Kapcsolók és Készülékek Gyára számára 660 V névleges feszültségű, 400 A névleges áramú vákuumkontaktort dolgoztunk ki. Az ehhez kifejlesztett vákuum-ívoltószervezet fényképe a 21-3. ábrán látható, míg a vákuumkontaktor egy kísérleti példányát a 21-4. ábra mutatja. A vákuumkontaktor kiemelkedő teljesítőképességét a következő vizsgálati eredmények bizonyítják: $U = 660 \text{ V}$, $I = 1000 \text{ A}$, $\cos \varphi = 0,35$ adatokkal rendelkező áramkörben (1,14 MVA!), AC_4 üzemmódban vizsgált kísérleti készülékek villamos élettartama elérte a 200 000 kapcsolási játékot. Az elvégzett kapcsolóképesség-vizsgálatok eredményei szerint a készülék alkalmas 1000 V névleges feszültségű üzemre is, ami a bányászati felhasználás szempontjából előnyös. A kontaktor bekapcsolóképessége és kikapcsolóképessége ezen a feszültségen



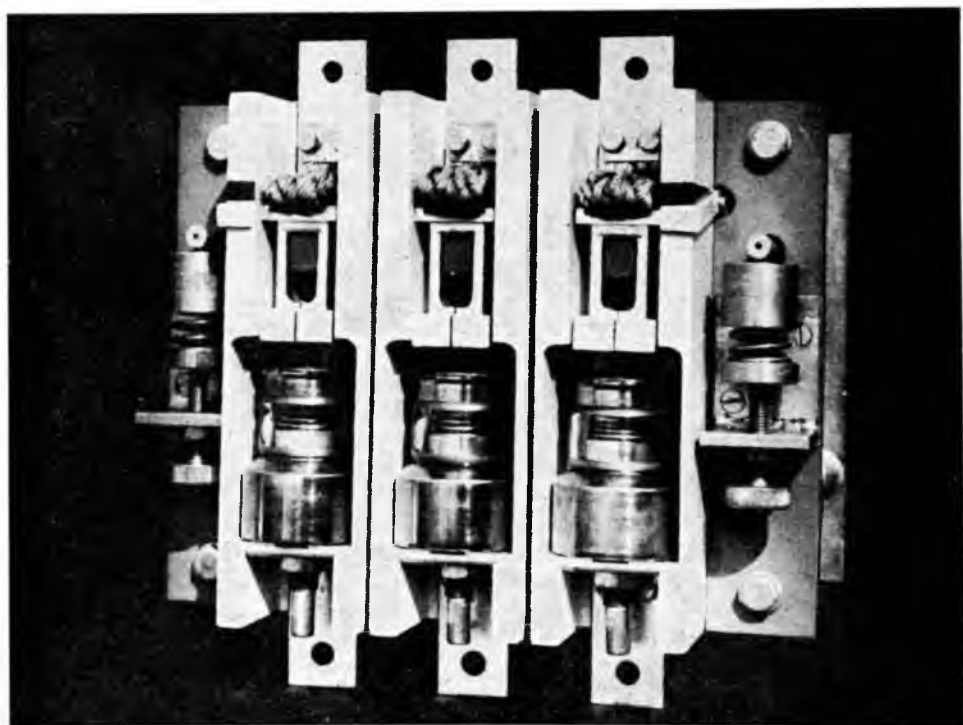
21-1. ábra. Többszöri méréshez felhasználható 400 °C-ig kályházható kivitelű, bontható vákuum-ívoltókamra



21-2. ábra. Az első hazai készítésű kísérleti vákuumkontaktor-ívoltókamra (a VKI és az EIVRT Kutató Intézet közös fejlesztése)



21-3. ábra. Kisfeszültségű, nehézüzemű vákuumkontaktorhoz kifejlesztett oltókamra (a VKI és az EIVRT Kutató Intézet közös fejlesztése)



21-4. ábra. 400 A névleges áramerősségű kisfeszültségű, nehézüzemű vákuumkontaktor kísérleti példánya

egyaránt 2500 A. A kisfeszültségű vákuumkontaktor gyártásbevezetése megkezdődött a VBKM Kapcsolók és Készülékek Gyárában.

Evvel párhuzamosan további alapkutatásokat végeztünk és végzünk a vákuum-ívoltókamrák továbbfejlesztése céljából, amelyhez a KGM, az OMFB és a KFH (Központi Földtani Hivatal) közösen biztosítja az anyagi fedezetet. A cél 12 kV-ig terjedő névleges feszültségű vákuumkontaktor ívoltókamrák kifejlesztése. Ehhez kiterjedt érintkezőanyag-kutatásokat, az oltókamra-geometriával összefüggő szisztematikus vizsgálatokat, valamint az oltókamrák elkészítésével összefüggő technológiai kísérleteket végzünk. Ezek az alapkutatások 1978-tól ipari megrendeléses téma kidolgozása során kerülnek konkrét hasznosításra: a VBKM Transzvíll Gyára megrendelésére megkezdtük a 12 kV, 250 A-es vákuumkontaktor kifejlesztését.

E bevezető áttekintés után a következőkben részletesebben ismertetjük néhány kutatási eredményünket a gázszegény érintkezőanyagok előállítása és vizsgálata, valamint a vákuum-ívoltókamrák belső geometriai kialakítása terén, amelyek megalapozták a 21-3. ábrán bemutatott nehézüzemű kontaktorokban alkalmazható vákuum-oltókamra kifejlesztését.

2. Kis maradékgáz-tartalmú érintkezőanyagok előállítása

A nagyvákuumban működő kapcsolóérintkezők között lezajló ívoltási folyamat jelentős eltérést mutat a hagyományos — gáz vagy folyadék közegben végrehajtott — ívoltási módokhoz képest. Az ionizálható környezeti atmoszféra, illetve folyadék teljes hiánya miatt az áramkör megszakításakor keletkező villamos ívet csak az érintkezők anyagából elpárolgott ionizált fémgőzök tarthatják fenn. A villamos ívnek ez a változata a vákuumív. 4000 A feletti áramerősséget vezető módosulatát fémgőzívnek nevezik. A vákuumív jellegéből következik, hogy a vákuumkapcsolók minden lényeges üzemi tulajdonságát jelentősen befolyásolja az érintkezők anyaga.

A vákuumkontaktorokkal elérhető kiváló üzemi paraméterek csak az ívoltó kamrában alkalmazott szerkezeti elemekkel — és ezek között is elsősorban az érintkezőkkel — szemben támasztott követelmények maradéktalan teljesítése árán valósíthatók meg.

Az elérendő nagy villamos élettartam és kapcsolóképeség kis eróziós hajlamú érintkezőanyagok alkalmazását igényli. A nagyvákuumban működő villamos érintkezők összehegesedésének valószínűsége — a felületi szennyező (oxid) rétegek híján — sokkal nagyobb, mint a hagyományos készülékekben üzemelő érintkezőké. A hegedési hajlamot az anyagszerkezet megfelelő alakításával elfogadható mértékűre kell csökkenteni. Emellett biztosítani kell az érintkezőanyag kielégítően nagy mechanikai szilárdságát is.

A vákuum-ívoltókamrában a villamos ív hatására keletkező hőmennyiség elvezetése — más erre alkalmas közeg híján — ugyancsak az érintkezőkre (és az érintkezőtartókra) hárul. Tehát csak jó hővezető képességű érintkezőket alkalmazhatunk. Hasonlóan szigorú elvárásokat kell támasztani a villamos vezetőképességgel szemben. Kis áramok kikapcsolása vákuumban esetenként áramlevágáshoz vezet. Az áramlevágás különösen induktív áramkörök kapcsolásakor káros túlfeszültséget okoz, tehát célszerű kiküszöbölni, vagy legalábbis csökkenteni fellépésének valószínűségét. Erre lehetőséget nyújt az érintkezőanyag megfelelő megválasztása. Ha ugyanis az érintkezőanyag alacsony olvadáspontú, nagy gőznyomású összetevőt is tartalmaz, az ív képes fennmaradni a természetes áramnullaátmenetig. Ezáltal a károsan nagy kapcsolási túlfeszültség elkerülhető.

A vákuumban működő érintkezőkkel szemben támasztott követelményrendszer legfontosabb eleme azonban az érintkezőanyag tisztaságával összefüggő kritérium. Mind a szilárd, mind a gáznemű szennyezők részarányát igen kis értékre kell leszorítani. Szakirodalmi adatok és saját vizsgálati eredményeink alapján azt mondhatjuk, hogy vákuumkontaktorok esetében az érintkezőanyag egyes komponenseinek tisztasága feltétlenül érje el a 3...4 N értéket (1...0,1 ezrelényi szennyezőt tartalmazhat), az érintkezők maradékgáz-tartalma pedig kisebb legyen, mint 30 ppm (part per mils = = milliomod rész). Bár az egyes komponensek tisztaságára vonatkozó követelmények sem másodrangúak — hiszen a nyomokban előforduló szennyezőanyagok is kedvezőtlen irányban változtatják meg esetenként a vákuum-ivoltókamra működését — mégis a maradékgáz-tartalomra vonatkozó feltételt kell alapvetőnek tekintenünk. Villamos áram kapcsolásakor ugyanis a villamos ív hőmérsékletén az érintkezők felületéről és a felülethez közel elhelyezkedő légzárványokból felszabadul az ott megkötött gáz és ionizálódva bekerül a fémgőz ívbe. Ha az ívben az ionizált gázok koncentrációja túl nagy (a nyomás kb. 10^{-1} Pa fölé nő), már nem beszélhetünk többé vákuum-ívről és a vákuum-ivoltókamra nem képes megfelelően működni. A fentiekből következik, hogy a vákuum-ivoltókamra előállításának egyik alapfeltétele kis maradékgáz-tartalmú érintkezők alkalmazása. Természetesen csak alapfeltétel, hiszen a fentiekben felsorolt egyéb érintkezőanyagokra vonatkozó követelmény kielégítése nélkül sem készíthető jó üzemelési jellemzőkkel rendelkező vákuumkontaktor. Az eddigiekből kitűnik, hogy a megfelelő érintkezőanyag kiválasztása és elkészítése komplex feladat.

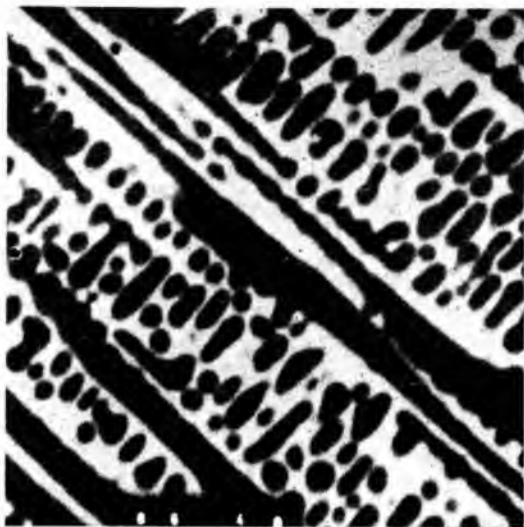
A kiválasztás villamos kapcsolástechnikai és metallográfiai szempontok együttes figyelembevételével történhet. Az előállítás számos technológiai probléma megoldását feltételezi, az érintkezők minősítése pedig sokirányú, összetett vizsgálatot igényel. Ezért a kísérleti érintkezők előállításához igénybe vettük a Vasipari Kutató Intézet közreműködését. Ez a munka szorosan kapcsolódik az Országos Ritkafém Tárcafé

Bizottság koordinálásában a ritkafémek hazai felhasználásának bővítésére irányuló programhoz.

Az érintkezőkre vonatkozó sokoldalú követelményrendszer kielégítése természetesen csak több alkotót tartalmazó ötvözetektől vagy kompozícióktól várható el. A következőkben röviden áttekintjük a kísérleteink számára eddig elkészített fontosabb érintkezőanyagokat.

Jó áram- és hővezető képességre, a kereskedelemben beszerezhető nagy tisztaságú, kis gáztartalmú változata, és nem utolsósorban elfogadható árszintje miatt alapötvetként a rezet alkalmaztuk.

Az áramlevágás csökkentése céljából alacsony olvadáspontú és nagy telített gőznyomású komponenset tartalmazó rézötvözeteket állítottunk elő (CuBi, CuSb). A bizmut- vagy antimontartalom együt-



21-5. ábra. Cu-50 Fe összetételű kísérleti érintkezőanyag kompozíciós visszavert elektronképe (1200-szoros nagyítás)

tal az érintkezők hegedési hajlamát is csökkenti, mivel az anyagszerkezetet rideggé és ezáltal törékennyé teszik. A kis eróziós hajlam és nagy mechanikai szilárdság elérése céljából wolfram és molibdén alapú, réz beitatású kompozíciókat készítettünk. Hasonló okokból, továbbá a megszakítóképeség növelése céljából CuFe, CuCo, és CuNi ötvözeteket állítottunk elő. Nagy megszakítóképeség és egyúttal csekély hegedési hajlam elérését célozzák a CuGa ötvözetek előállítására irányuló kísérletek. Kisebb eróziót remélünk a CuCr kompozícióktól. A különféle szempontból előnyös tulajdonságokkal rendelkező kétalkotós ötvözetek további javítását célozták a CuFeBi, CuFeSb, CuWSb és CuMoSb összetételű anyagok előállítási kísérletei.

Az elkészített kísérleti érintkezőanyagok jellemzőit a legmodernebb metallográfiai módszerekkel ellenőriztük. Így pl. az anyagszerkezetet scanning elektronmikroszkóppal, illetve elektronmikroszondával, az anyagok maradékgáz-tartalmát pedig meleg-extrakciós eljárással vizsgáltuk. Illusztrációként a 21-5. ábrán bemutatunk egy Cu-50Fe összetételű anyagról készített kompozíciós jellegű visszavert elektronképet. Ezen jól látszik az ötvözet alkotóinak eloszlása. A kisebb rendszámú elem, a vas, sötétebb tónusban, a nagyobb rendszámú réz pedig világosabb tónusban látszik a képen.

A felsoroltakon kívül jelenleg is folynak újabb érintkező kompozíciók előállítására vonatkozó kísérletek. A további vizsgálatoknak most már elsősorban az a célja, hogy konkrét vákuumkontaktor-típusok számára a hazai anyagi-technológiai adottságoknak legjobban megfelelő érintkezőanyagokat kikutassuk és minősítsük, valamint esetleges gyártásuk alapfeltételeit megteremtjük.

3. Vákuumban működő érintkezők anyagfogyása és áramlevágása

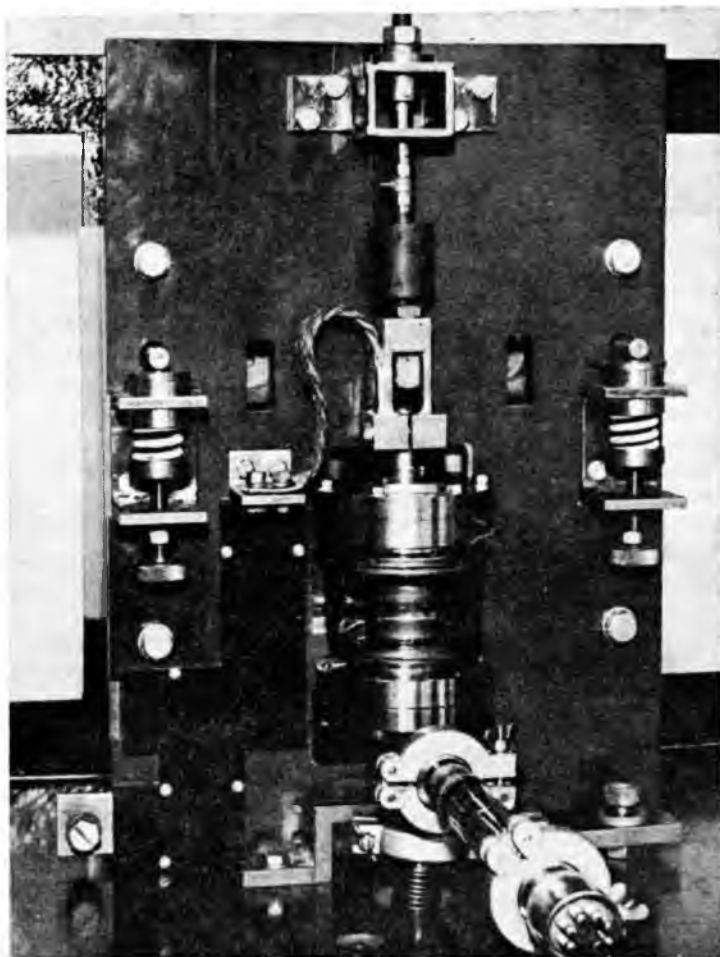
Az előző fejezetben mondtak jól érzékeltetik azt a rendkívül összetett követelményrendszert, amely szerint a vákuumkontaktorok érintkezőanyagait minősíteni kell. Számos idevonatkozó kutatási eredményünk közül a következőkben két igen lényeges tulajdonság, az anyagfogyás és az áramlevágás összehasonlító elemzésével foglalkozunk részletesebben.

A vizsgálatok számára olyan berendezést és módszereket dolgoztunk ki, amelyek lehetővé teszik nagyszámú érintkezőanyag viszonylag gyors, de ugyanakkor megbízható mérését. A kialakított mérőberendezés fényképét a 21-6. ábra mutatja. Az üvegből készített oltókamra bontható, így mind az érintkezők, mind a kondenzációs ernyő cserélhető, és méretük tág határok között változtatható. A kamra alsó részéhez csatlakozik a mérések alatt folyamatosan működő vákuumszivattyú-rendszer, míg felülről az érintkezőműködtető mechanizmus kapcsolódik a mozgóérintkező-tartóhoz.

A kísérleti érintkezők anyagfogyását a vizsgálóberendezésben teljesen azonos körülmények között határozzuk meg. Ilyen módon kiválaszthatjuk a legkedvezőbb ív-eróziós tulajdonságú érintkezőket eredményező fémötvözeteket.

A különféle szempontok szerint optimalizált egységes vizsgálati paraméterek a következők:

névleges feszültség	570 V_{eff}
névleges áram	1000 A_{eff}
teljesítménytényező	0,35
érintkezőnyomó erő	80 N
érintkezőleszakító erő	500 N (dinamikus)
érintkezőátmérő	20 mm

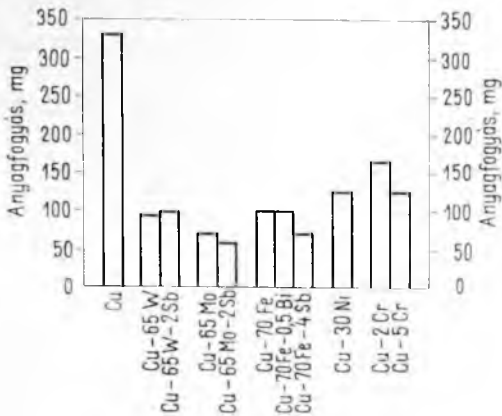


21-6. ábra. Vákuumkontaktorok szisztematikus kutatás-fejlesztési vizsgálatai céljára kialakított mérőberendezés

vákuumszint	10^{-2} Pa
kapcsolási gyakoriság	600/h
be-kikapcsolások száma	1000

Az érintkezők anyagfogyását az 1000 kapcsolási játék után meghatározott tömegcsökkenésükkel jellemezzük. A 21-7. ábrán tíz különféle kompozíció anyagfogyása látható. Összehasonlításul feltüntettük a vörösrézre vonatkozó mérési eredményt is. Megállapítható, hogy a molibdén és wolfram alapú érintkezők mellett a vas—réz érintkezők is kedvező anyagfogyási tulajdonsággal rendelkeznek. Alkalmazásuk első-sorban nagyobb névleges feszültségű kontaktorokban (7,2 kV, 12 kV) lehet előnyös.

Az áramlevágási vizsgálatokat ugyancsak a 21-6. ábrán látható mérőberendezésben végezzük.



21-7. ábra. Azonos körülmények között mért különféle érintkezők anyagfogyása vákuumban

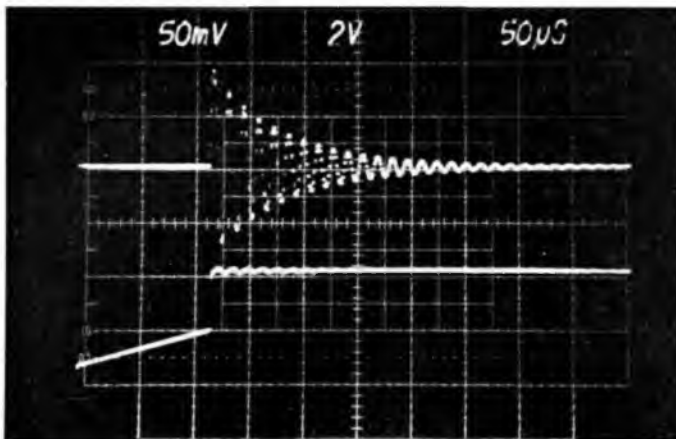
Mivel az áramlevágás elsősorban kis áramok kikapcsolásakor lép fel, a vizsgálati áramkör adatait a következők szerint választottuk:

névleges feszültség	65 V _{eff}
névleges áram	20 A _{eff}
teljesítménytényező	0,3

A többi vizsgálati paraméter azonos az anyagfogyási vizsgálatoknál alkalmazott értékkel.

Az áramlevágás nagysága kapcsolásról kapcsolásra véletlenszerűen változik, ezért jellemzésére nagyszámú mérést kell végezni és a mérési eredményeket statisztikai módszerekkel kell kiértékelni.

A 21-8. ábra az áramlevágás meghatározási módját mutatja. Az oszcillogramon az áramnullaátmenet környezete látható igen nagy időfelbontásban. Az alsó sugár



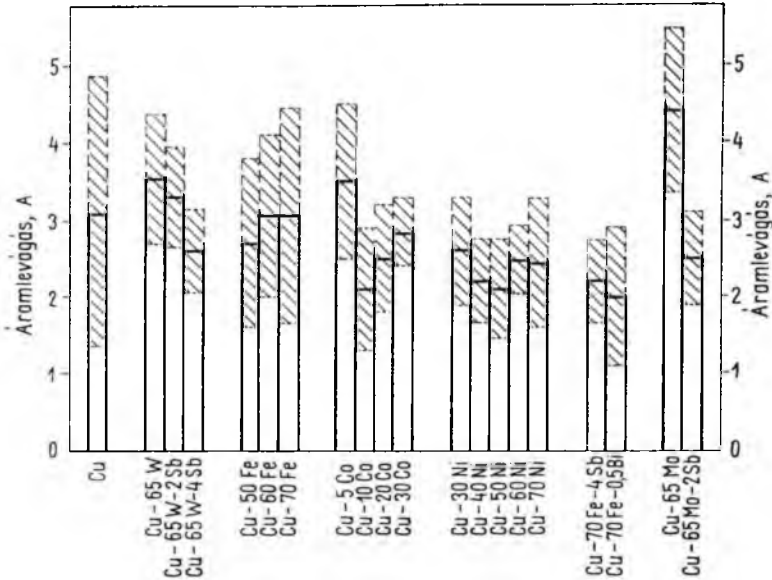
21-8. ábra. Cu-65Mo-2Sb anyagú érintkező áramlevágásának oszcillogramfelvétele

a) az áram 2 A/osztás léptékben; b) a kikapcsolási túlfeszültség 2 kV/osztás léptékben. Időlépték: 50 µs/osztás

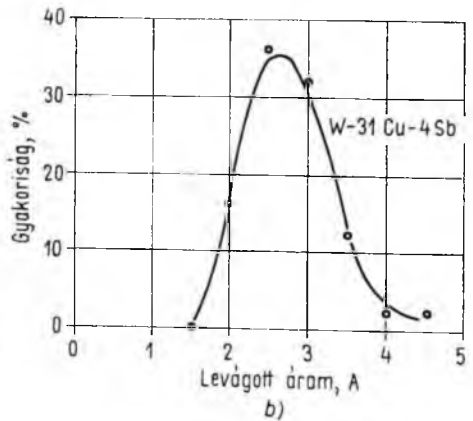
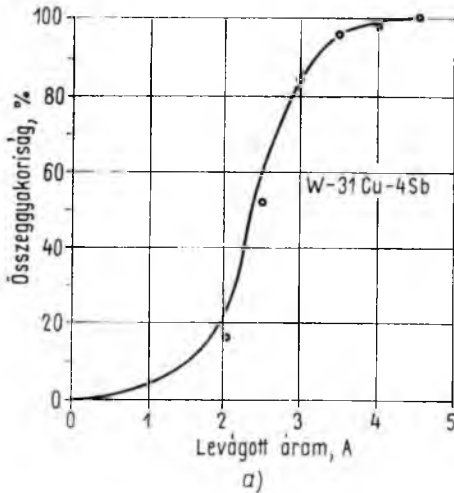
az áram megszakadásának jellegét és nagyságát mutatja. A levágott áram okozta túlfeszültség lefolyása pedig a felső sugáron követhető.

A 21-9. ábrán nagyszámú kísérleti érintkező áramlevágás-mérési eredményét mutatjuk be. A diagram az áramlevágások átlagértékét adja meg.

A ferde vonalkázású szakaszok a mérési adatok szóródását jelentik. A mérési eredmények kiértékelése során további jellemzőként meghatároztuk a levágott ára-



21-9. ábra. Azonos körülmények között mért különféle érintkezőanyagok átlagos áramlevágása és az áramlevágás szórása (ferde vonalkázású szakaszok), 50 egyenkénti mérés alapján



21-10. ábra. W-31Cu-4Sb összetételű érintkezőanyag áramlevágásának összeggyakorisága (felül) és előfordulási gyakorisága (alul) 50 egyenkénti mérésből meghatározva

mok előfordulási gyakoriságának megoszlását, valamint össz-gyakoriságát. Példaképpen a 21-10. ábrán mutatunk be ilyen diagramokat, amelyek az anyagminőségek összehasonlítására értékes kiegészítő információkat nyújtanak.

Jóllehet a vákuumkontaktorokban előnyösen alkalmazható érintkezőanyagokra vonatkozó vizsgálatainkat még nem zártuk le, eddigi eredményeink lehetővé teszik különféle vákuumkontaktor-típusok megfelelő érintkezőanyagainak kiválasztását.

4. Az ívöltő kamra belső geometriai kialakításának szempontjai

A vákuum-ívöltőkamra belső szerkezete egyszerű, az elérendő műszaki jellemzők megvalósításának feltétele azonban az egyszerű felépítésű ívöltő tér optimális geometriai kialakítása.

A vákuum-ívöltőkamra oltóterét lényegében az érintkezők és az azokat körülvevő kondenzációs ernyő alkotja. A kondenzációs ernyő a vákuumkapcsoló működését meghatározó szerkezeti elemek egyike. Alapvető feladata, hogy megakadályozza a villamos ív hatására elpárolgó fémgőzök lecsapódását az ívöltő kamra szigetelésre szolgáló részén, az esetünkben üvegből készített kamrafal belső felületén. A vákuumív fizikai jellemzői megengedik, a kedvező műszaki paraméterek pedig ajánlják a kis-méretű ívöltőkamra-konstrukciót. Ez minden hosszirányú méret, tehát a szigetelőanyagból készített kamrafal hosszának csökkentését is lehetővé teszi. Természetesen ez nem járhat együtt az átütési szilárdság csökkenésével, amit az esetlegesen az ívöltő kamra falára kerülő és ott lerakódó fémgőzök okozhatnak. Ezért elmondhatjuk, hogy a kondenzációs ernyő fent említett alapvető funkciójának — a fémgőzök megkötésének — igen jó hatásfokú teljesítése kívánatos.

A kondenzációs ernyő természetesen befolyásolja a vákuumban égő villamos ív megszakításának mechanizmusát, mivel meghatározza a rendelkezésre álló maximális ívöltési térfogatot és elektromágneses kölcsönhatásban is állhat az ívvel. Az előbbieken alapján fontos szerepe van az érintkezők anyagfogyásának alakulásában. A villamos kapcsolások során az érintkezőkből felszabaduló gázok legkárosabb komponensének, az oxigénnek tetemes hányadát kötheti meg fémoxidok formájában. Nem elhanyagolható a szerepe a működő kapcsoló hőmérsékleti viszonyainak alakulásában sem. A fenti, korántsem teljes felsorolásban szereplő főbb kondenzációs ernyő jellemzők természetesen nemcsak az ernyő geometriai kialakításától, hanem anyagától is függenek.

Még nagyobb jelentőségű az ívöltő tér másik elemének, az érintkezőknek az anyagmegválasztása. Az ezzel kapcsolatos szempontokat az előzőekben részletesen ismertettük, itt csak utalni szeretnénk rá. Az érintkező geometriai kialakítása szintén fontos lehet, elsősorban a villamos ív mozgatása szempontjából. Az íváltáspontok erőteljes mozgatására azonban csak az igen nagy villamos teljesítmények kapcsolásakor, megszakító esetében van szükség. Vákuumkontaktorok kialakításakor ez a szerep elhanyagolható.

Ennek figyelembevételével kör keresztmetszetű, sík felületű érintkezőket alkalmazunk, amelyeknek az átmérője változtatható. Megjegyezzük, hogy az alkalmazható minimális átmérőt a névleges termikus áramerősség determinálja.

Az ívöltő kamra belső szerkezetének kialakítására irányuló vizsgálataink során tehát a fő szerkezeti elemek — az érintkezők és a kondenzációs ernyő — geometriai méretei képezték a változó paramétereket. A fentiekből következik továbbá, hogy az egyes elrendezések vizsgálatát különféle számításba jöhető érintkező-, illetve kondenzációs ernyő anyagokkal kellett elvégezni.

Vizsgálataink irányát a gyakorlati alkalmazás határozta meg. Méréseink tematikáját úgy állítottuk össze, hogy a kis- és középfeszültségű vákuumkontaktorok ívöltő kamráinak tervezéséhez közvetlenül felhasználható, gyakorlati összefüggéseket kapjunk. A méréseket a fenti cél érdekében három fázisban végeztük.

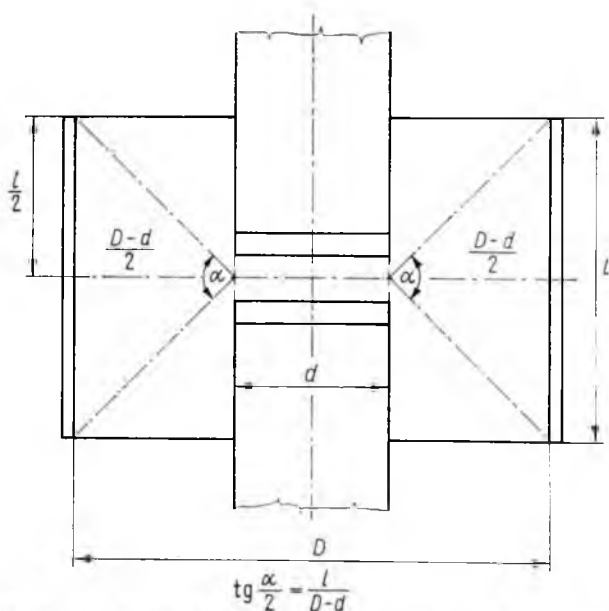
Első lépésben adott kapcsolási teljesítmény mellett különböző geometriájú és anyagú kondenzációs ernyőket vizsgáltunk a rendelkezésre álló, az előzetes kísérletek alapján számításba jöhető, különféle átmérőjű érintkezőanyag-kompozíciók alkalmazásával.

Következő lépésben ellenőriztük a kedvezőnek mutatkozó elrendezések szigetelési szintjét, figyelembe véve a vákuumban történő működés folytán adódó speciális feltételeket (nyomásszint változása, áramlevágás okozta túlfeszültség).

A megfelelőnek bizonyult kísérleti elrendezések kapcsolási határteljesítményének meghatározása képezte a vizsgálatok befejező részét.

A vizsgálatokat ugyancsak a 21-6. ábrán bemutatott, vákuumkontaktorok fejlesztési vizsgálataihoz kialakított mérőberendezésben végeztük. Méréseink során Cu, W-35Cu, W-33Cu—2Sb, Mo-35Cu és Mo-33Cu-2Sb összetételű érintkezőket vizsgáltunk rézből, illetve nikkelből készült kondenzációs ernyővel. Mind az érintkezőket, mind pedig a kondenzációs ernyők méreteit szisztematikusan változtattuk, mégpedig úgy, hogy mérési eredményeink közvetlen alkalmazhatók legyenek az egyes ívöltőkamra-típusok tervezésekor.

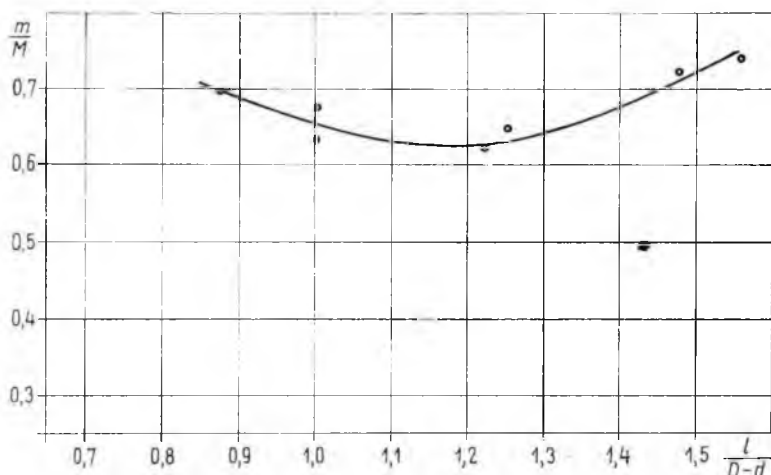
Összehasonlító vizsgálatainkat az anyagfogyási mérésekkel azonos paraméterek mellett végeztük (1. a 3. pontot). 1000 kapcsolási játék után megmértük az érintkezők anyagfogyását és a kondenzációs ernyőre rakódott érintkezőfém súlyát. A mérési eredmények alapján meghatároztuk a kondenzációs ernyőre rakódott érintkezőfém



21-11. ábra. Az érintkezőanyag kondenzálódását befolyásoló ún. szóródási kúp definíciója

D kondenzációs ernyő átmérője; d az érintkező átmérője; l kondenzációs ernyő magassága

és az érintkezők összanyagfogyásának arányát. Az így kapott dimenzió nélküli viszonyszám a kondenzációs ernyő hatékonyságának, vagy másképp a kondenzációs hatásoknak egyszerűen kezelhető mérőszáma. Két, természetesen csak elvben előforduló szélső érték a 0 és az 1. Mivel az érintkezőanyag kondenzálódása vákuumban történik, a fématomok szóródási kúpját a kondenzációs ernyő magassági mérete és az érintkezőtől való távolsága határozza meg. Az utóbbi jól jellemezhető a kondenzációs ernyő magasságának és az érintkezőktől való távolsága felének hányadosával, vagy másképp a félkúpszög tangensével (l. 21-11. ábra). Ez a dimenzió nélküli viszonyszám az érintkező — kondenzációs ernyő elrendezés geometriájának frappáns jellemzője. A mérési eredményekből meghatározott két viszonyszám összefüggését ábrázoló diagramok alapján kiválasztható olyan belső geometriai elrendezés, amely biztosítja, hogy a villamos ív hatására elgőzölgött érintkezőanyag legnagyobb része a kondenzációs ernyőre kerüljön. A 21-12. ábrán mutatunk be erre példát, amelyből megállapítható, hogy $W-33Cu-2Sb$ érintkező esetében ez $0,9 > \frac{l}{D-d} > 1,5$ feltétel teljesül.



21-12. ábra. A kondenzációs hatások változása a geometriai méretek (l. a 21-11. ábrát) függvényében. Érintkezők anyaga: W-33Cu-2Sb, kondenzációs ernyő anyaga: Ni

M érintkező-anyagfogyás; m kondenzálódott anyagmennyiség

sülése esetén várható. Mivel a diagram jellege függ a vizsgált érintkező anyagától, célszerű azt valamennyi alkalmazni kívánt érintkezőanyagra elkészíteni. Mérési eredményeink rámutattak, hogy a kondenzációs ernyő anyaga nem befolyásolja a görbe jellegét, tehát az adott érintkezőre vonatkozó görbéből levont következtetések különböző kondenzációs ernyők esetén is érvényesek.

Az érintkezőanyag kondenzálódása szempontjából legkedvezőbb geometriai elrendezéseknél, pontosan definiált körülmények között (állandó érintkezőnyitás és feszültségnövelési sebesség) meghatároztuk az átütési feszültséget, majd a kikapcsolási határteljesítményt. Mindezeket figyelembe véve pl. W-33Cu – 2Sb érintkezőanyagnál

az $\frac{l}{D-d} < 0,9$ feltétel betartása adja a legkedvezőbb eredményt.

SZIGETELÉSTECHNIKA

22.

Villamos kismotorok és törpemotorok alapszigetelésének korszerű technológiája

DR. MISZLIVETZ JÓZSEF—BARDÓCZ LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

A villamos kis- és törpemotorok teljes alapszigetelését célszerű lenne egy lépésben fröccsöntéssel, vagy fröccs-sajtólással előállítani. Alapszigetelésen értjük a homlok-, horony- és kommutátoragy-szigetelést, illetve kettős szigetelésű motorok esetében a lemeztetnek a tengelytől való elszigetelését is. Kutatásunk folyamán megvizsgáltuk, mennyiben lehet a teljes alapszigetelést, vagy esetleg az alapszigetelés egy részét egyetlen lépésben, egy szerszámmal elkészíteni. A cikk keretében kitérünk arra, hogy mik azok a nehézségek — különös tekintettel a horonyszigetelésekre — amelyek megnehezítik a teljes alapszigetelés egy lépésben való előállítását. Az üzemszerű gyártás előfeltétele a rendkívül kicsi fröccsöntő vagy fröccs-sajtoló nyomás. Erre vonatkozó modellkísérleteink matematikai vizsgálata meglepő eredményekre vezetett, amelyek a műanyagipar egyéb területein is hasznosíthatók.

СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОСНОВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ МАЛЫХ И МИНИАТЮРНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

д-р Я. Мисливец—Л. Бардоц

Резюме

Полную основную изоляцию малых и миниатюрных электродвигателей было бы целесообразно создать с одним технологическим приемом — шприцеванием, или шприцпрессованием. Под основной изоляцией понимаем изоляцию торцевой, пазовой и коллекторной втулки, или в случае двойной изоляции и изоляцию пакета листов от вала. В ходе наших исследований анализировано, что в какой мере возможно изготовление полной основной изоляции или ее части — с одним технологическим приемом и с помощью одного инструмента. В рамках статьи изложены трудности, особенно с точки зрения пазовой изоляции, затрудняющие изготовления полной основной изоляции с одним технологическим приемом. Предварительным условием серийного производства является обеспечение чрезвычайно малого давления шприцевания или шприцпрессованием. Математический анализ модельных экспериментов по этой проблеме закончился с удивительными результатами, применяемыми и в других областях пластмассовой промышленности.

MODERNE TECHNOLOGIE DER GRUNDISOLIERUNG VON ELEKTRISCHEN KLEIN- UND ZWERGMOTOREN

Dr. J. Mislivetz — L. Bardócz

Zusammenfassung

Es wäre zweckmässig, die ganze Grundisolierung der elektrischen Klein- und Zwergmotoren in einem Zuge durch Spritzgiessen oder Spritzpressen herzustellen. Unter Grundisolierung ist die Front-, Nuten- und Kommutatornabe-Isolation zu verstehen,

bzw. bei zweifachisolierten Motoren — auch die Isolierung des Blechkörpers von der Achse. Im Laufe der Forschung wurde geprüft, wie die komplette Grundisolation oder eventuell ein Teil der Grundisolation in einem Zuge mit einem Werkzeug zu fertigen ist.

In dem Artikel wird auf diejenigen Schwierigkeiten hingewiesen — insbesondere bei den Nutisolationen, die die Fertigung der kompletten Isolation in einem Zuge vermindern.

Die Voraussetzung der betriebsmässigen Produktion ist der ausserordentlich kleine Spritzguss-oder Spritzpressdruck. Die mathematische Prüfung der diesbezüglichen Modellversuche führte zu überraschenden Ergebnissen, die auch auf anderen Gebieten der Kunststoffindustrie angewandt werden können.

UP-TO-DATE TECHNOLOGY IN THE BASIC INSULATION OF ELECTRIC SMALL AND MICROMOTORS

By Dr. J. Miszlivetz — L. Bardócz

Summary

It would be expedient to produce the complete basic insulation of the electric small and micromotors in a step by injection moulding or transfer moulding. It is understood as the basic insulation the front, slot and commutator sleeve insulation or — in case of double-insulation motors — the insulation between the rotor and the axis too. During our research it was investigated how it was possible to produce complete basic insulation or a part of the basic insulation in a step by a tool.

Within the scope of the paper there are difficulties — with special regard to the slot insulations — which render it more difficult to produce the complete basic material in a step.

The precondition of the production in a plant is a fairly small injection moulding or transfer moulding pressure. The mathematical test of our model-experiments regarding this led to surprising results which can be utilized in other fields of the plastics industry, too.

1. Bevezetés

A villamos motorok alapszigetelése az állórész lemezelt vastestjén elhelyezett homlok- és horonyszigetelésből, valamint a forgórész lemezelt vastestjén elhelyezett homlok-, horony- és kommutátoragy-szigetelésből áll. Esetenként ezekhez tartozik még a forgórész lemezelt vastestjének a tengelytől való elszigetelése is.

Eddigi kutató-fejlesztő tevékenységünk során 1 kW-nál kisebb teljesítményű gépek alapszigetelésének korszerű kialakításával foglalkoztunk. A kettős szigetelésnek külföldön is bevált és elterjedt formáját, a lemezttest és a tengely közé befröccsöntött vagy fröccs-sajtolással bejuttatott szigetelőréteg kialakítását már korábban sikerült megoldanunk. Felmerült a gondolat, mennyiben lehetséges az állórész vagy a forgórész alapszigetelésének több tagját, esetleg a teljes alapszigetelést egy szerszámmal, egyetlen művelettel előállítani.

A probléma megoldására irányuló modellkísérleteinket, elméleti kutatásaink összefoglalóját és az eddigi gyártási tapasztalatokat azért ismertetjük, mert azok alapján — az eljárás korlátainak ismeretében — reálisabban lehet egy-egy konkrét alapszigetelési feladatot kitűzni, mint eddig.

2. Az alapszigetelés egyes részeivel szemben támasztott különleges követelmények

2.1 A lemeztést és a tengely közötti szigetelés

Villamos szigetelés szempontjából kifogástalan műanyagok használata esetén az egyetlen probléma a megkívánt forgatónyomaték biztonságos átadása a tengelyről a műanyagrétegre és a műanyagrétegről a lemeztestre. A legnagyobb igénybevétel induláskor lép fel, amikor a komplett forgórész teljes tömegét rövid idő alatt fel kell gyorsítani a névleges fordulatszámra. A kísérleti darabok (tekerceselés nélkül) célszerűbben statikusan vizsgálhatók. Az átvindó teljesítményből és a fordulatszámából számítható forgatónyomaték 60%-kal növelt értékéből kiindulva, a nyomatékmérő berendezésen azt kell megvizsgálni, mekkora $M_{cs\ pr}$ csavarnyomatéknál fordul el egymáshoz képest a lemeztést és a tengely:

$$M_{cs\ pr} \cong 1,6 \cdot 97,5 \frac{P}{n},$$

ahol $M_{cs\ pr}$ a próba során elért maximális csavarónyomaték, Nm;

P az átvindó üzemi teljesítmény, kW;

n az üzemi fordulatszám, min^{-1} .

1 kW-nál kisebb teljesítményű motorokra $M_{cs\ pr}$ értéke 0,01...0,21 Nm. Eddigi méréseink szerint a szokásos tengelyátmérőknél minden felületi kikészítés (bordázás, érdesítés stb.) nélkül is biztonságosan át lehet vinni 0,02 Nm nyomatékot a tengelyről a műanyagra. A tengely megfelelő kialakításával ez az érték nagyságrendileg megnövelhető. A műanyag és a lemeztést között nem okoz problémát nagyobb nyomatékok átvitele sem.

2.2 A homlokszigetelés

A homlokszigetelés kialakításánál problémát jelent a hornyok melletti lekerekítés kialakítása. A lekerekítésre azért van szükség, hogy a zománchuzaltekercs behúzásakor az élek ne sértsék meg a huzal zománcát. Szerszámtechnikailag ez csak ún. borotvaél kialakításával lehetséges. Ez a szokatlan szerszámkialakítás sok nehézség forrása, elsősorban a szerszám élettartama szempontjából.

A két előző szigetelésfajta számára szükséges szerszámrés sokszorta nagyobb, mint amit a horonyszigetelés igényelne. Emiatt a horonyszigetelés rését két oldalról tölti ki az az áramló anyag, amely előzőleg a tengelyszigetelés mentén már kitöltötte mindkét homlokszigetelés terét. A horonyszigetelés helyén bennrekedt levegő nem tud eltávozni, a horonyszigetelés hólyagossá válik, illetve folytonossági hiányok keletkeznek rajta. A levegő eltávolításáról tehát különös figyelemmel kell gondoskodni, mert a folytonos réteg elengedhetetlen követelmény.

2.3 A horonyszigetelés

A horonyszigetelésnek 1 percen keresztül legalább 1500 V váltakozóáramú próba-feszültséget kell bírnia. Ez megköveteli a lemeztést pontos, sorjamentesen kivágott, vagy utólag lesorzított lemezekből való elkészítését, mert egy-egy, a horonyba benyúló lemez olyan éhatást hoz létre, amely elkerülhetetlenül átütésre vezet.

2.4 Vegyszerállóság

Az egész alapszigetelésnek olyan anyagból kell készülnie, amely összefér az impregnálóakkokkal.

3. A horonyszigetelés gyártási problémái

3.1 A szerszámrés mérete

Akár termoreaktív, akár termoplasztikus műanyagot dolgozunk fel, a szerszámüregbe áramló anyag hőmérséklete több, mint 100 °C-kal megváltozik (termoreaktív anyagnál melegszik, termoplasztikusnál hűl). A hőmérséklet-változás sebessége anyagrészcseként eltérő. A szerszámfallal érintkező anyagrészcsekénél ez a sebesség rendkívül nagy. Az anyagáram közepén a műanyagok rossz hővezető képessége miatt ez a sebesség kisebb. A hagyományos műanyag tárgyak kialakulásakor a szerszámfallal érintkező külső réteg gyorsan megszilárdul (térhálósodik vagy megdermed) és mintegy csővezeték képez a belül még áramló műanyagrészcsek számára. Irodalmi adatok szerint pl. poliacetálnál ez a határréteg kb. 0,4 mm vastag és optikailag is jól érzékelhető. Nyilvánvaló, hogy a falvastagság csökkentése a belső, kevésbé viszkózus mag megszűnésekor a reológiai viszonyokat már nemcsak mennyiségileg, hanem minőségileg is megváltoztatja.

Néhány tized mm vastag műanyagréteg esetén még jobban előtérbe kerülnek azok a nehézségek, amelyek még vastag, (néhány mm-es) falu tárgyak előállításakor is jelentkeznek és határt szabnak a folyási út—falvastagság viszony növelésének. A műanyagömladék egyre növekvő viszkozitását ugyanis egy bizonyos határérték után már semmiféle nyomásnöveléssel nem lehet legyőzni; az áramlás megszűnik, a szerszámüreg kitöltetlen marad.

3.2 A folyási út—falvastagság viszonya

Adott műanyagnál az áramlási ellenállás a szerszámrés méretétől függ. A folyási út növelését csak a nyomás növelésével lehet elérni, a nyomás növelésének határai azonban a szerszámnyitás és a darabeltávolítási nehézségek miatt korlátozottak.

3.3 A szerszámnyitás és a darabeltávolítás erőszükséglete

Mivel a szerszámüregben a technológiai folyamat során a nyomás 1—2... több száz MN/m² között változhat, tehát tekintélyes értékeket vehet fel, a nagy nyomások hatására a szerszám, illetve a lemeztest észrevehető mértékű rugalmas, esetleg maradó deformációt szenved. A deformáció mm-ben mért értéke független a műanyagdarab falvastagságától és csakis a szerszámüregben fellépő nyomástól és a szerszámüreg anyagától, illetve méreteitől függ.

A 22-1. ábrán látható egyszerű esetben az összefüggést a közismert szilárdságtani képlettel lehet kiszámítani:

$$\varepsilon_{l \max} = \frac{l d_b}{d_b} = \frac{1}{E} p_b \left[\frac{r_k^2 + r_b^2}{r_k^2 - r_b^2} + \nu \right], \quad (1)$$

ahol E a szerszámanyag rugalmassági modulusa;

p_b a szerszámüregben fellépő nyomás;

ν a szerszámanyagra jellemző Poisson-szám, értéke kb. 0,3;

σ_r a sugárirányban ébredő feszültség;

σ_t az érintő irányban ébredő feszültség.

Ezzel szemben a műanyag zsugorodásának abszolút értéke a műanyagtárgy falvastagságától függ. A vastag falú darab többet zsugorodik.

Hagyományos fröccsöntéskor a műanyagfal rendszerint többet zsugorodik, mint amennyi a szerszám rugalmas deformációja, tehát nemcsak a deformáció szűnik meg a fröccsöntési ciklus végén, hanem a műanyagtárgy el is válik az őt körülvevő szerszámüregfaltól, és a magyszerű szerszámrészekre zsugorodik rá. Ilyenkor a szerszám könnyen nyílik, a darab aránylag könnyen leemelhető ezekről.

Egészen más a helyzet vékony falú daraboknál. Ilyenkor a darab lehülése közben a rugalmas deformáció csökken ugyan, de nem szűnik meg. A munkadarab és a szerszám felületi érintkezési felülete mentén megmaradó nyomásból számítható erők és a súrlódási tényezőnek a szorzata határozza meg a szerszámnyitó erőt. A szerszám nyitáskor három eset képzelhető el a belső maradéknyomás és a munkadarab szilárdságának függvényében:

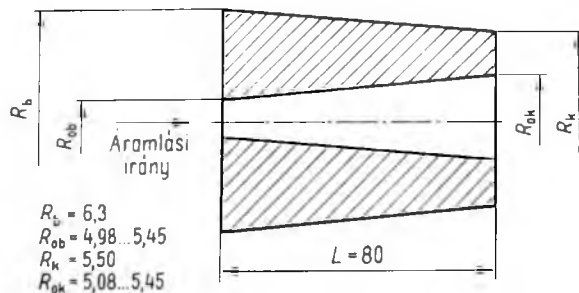
- a) a szerszám nehezen bár, de nyitható, a darab ép marad;
- b) a szerszám nyílik, de a nem eléggé szilárd munkadarab bennszakad;
- c) a szerszámot nem lehet a géppel szétnyitni.

Kísérleteink során mindegyik eset előfordult.

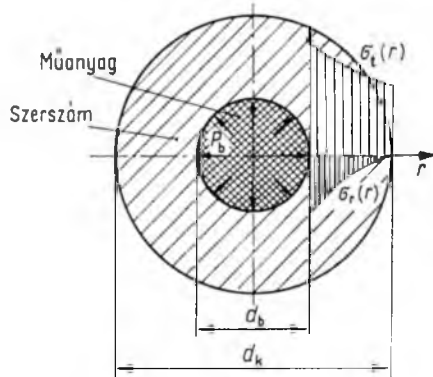
4. A szerszámellenállás meghatározását célzó kísérletek

A vékony résekben történő áramlás problémáinak tisztázására megtervezünk és elkészítettünk egy kísérleti szerszámot, amellyel 24 db 80 mm hosszú vékonyfalú csövecskét (22-2. ábra) lehet egyidejűleg előállítani. A csövecskék belső átmérője és ezzel a falvastagsága tuskék cseréjével változtatható. A beömlőbetét cseréjével a szerszám fröccsöntésre és fröccs-sajtólásra egyaránt alkalmas.

A szerszámmal végzett kísérletek matematikai problémákat vetettek fel. Megoldásukra a BME Építőmérnökkari Matematika Tanszékét kértük fel. Zárójelentésük lényege az alábbiakban foglalható össze.



22-2. ábra. A vékony falú csövecskék alakja (torzítva)



22-1. ábra. A hengeres szerszámcsüllyesztékben ébredő feszültségek

Kizárólag a szerszámüreg geometriájától függő, az áramlási ellenállásra jellemző összefüggés nem létezik. Az extrudálásra vonatkozó szakirodalom idevágó részei durva elhanyagolásokon alapuló közelítő képleteket adnak meg, amelyeknek használhatóságát kísérleti adataink nem igazolták. A klasszikus Hagen—Poiseuille-féle törvényt csakis teljes kör keresztmetszetű, henger alakú csőben áramló, ún. newtoni folyadékokra dolgozták ki és érvényessége nem terjeszthető ki minden további nélkül más áramlási keresztmetszetekre és nem-newtoni folyadékokra. Az említett törvényt:

$$\dot{V} = \frac{\pi p}{8\eta l} R^4, \quad (2)$$

ahol \dot{V} a tetszőleges keresztmetszeten 1 s alatt áthaladó folyadék térfogata, cm^3/s ;
 p az áramlást létrehozó túlnyomás, feltételezve, hogy az áramlási csatorna nyitott, tehát a kiáramlás helyén atmoszferikus nyomás uralkodik, Pa,
 η az áramló folyadék dinamikai viszkozitása, Pa · s,
 l a teljes kör keresztmetszetű cső hossza, cm,
 R a teljes kör keresztmetszetű, cső alakú üreg sugara, cm.

A kísérletek során a következő anyagokat vizsgáltuk:

A) *Termoreaktív anyagok:*

- CIBA NU 482, üvegszál és ásványi töltőanyagú, kis viszkozitású, epoxigyanta bázisú fröccsöntőanyag;
- HYSOL MG6, üvegszál töltőanyagú, kis viszkozitású, epoxigyanta bázisú fröccs-sajtolóanyag;
- EPOFORM 870 T, üvegszál töltőanyagú, kis viszkozitású, epoxigyanta bázisú fröccs-sajtolóanyag.

B) *Termoplasztikus fröccsöntőanyagok:*

- CRAFTIN SK 605, rövid üvegszállal erősített lineáris poliészter,
- CRAFTIN 615 FR, rövid üvegszállal erősített, önkioltó lineáris poliészter,
- TPX RT 20 poli(metil-pentén).

A kísérleti anyagot feldolgozva analitikus trendszámítással a \dot{V} és p között a következő összefüggéstípus adódott:

$$\dot{V} = Kp^N, \quad (3)$$

ahol $N \neq 1$ az áramló folyadék anyagi minőségétől és áramlási viszonyaitól,
 K pedig ugyanezekről és még a szerszámrés geometriai jellemzőitől is függő pozitív előjelű állandó.

A (3) alakú egyenlettel leírható és a kísérleti eredményeket reprezentáló pontokhoz átlagosan jól illeszkedő görbéket, illetve a K és az N kitevő meghatározását ki-egyenlítő számítással, illetve a legkisebb négyzetek módszerének alkalmazásával sikerült meghatározni háromféle anyagra. Ezek közül a Crastin SK 605-öt és a TPX-et fröccsöntéssel, az EPOFORM 870 T-t fröccs-sajtolással dolgoztuk fel. A két eljárás között lényeges különbség, hogy a fröccs-sajtolás sebessége sokkal kisebb, mint a fröccs-öntésé.

Az állandók kerekített értékeit a 22-1. táblázat tartalmazza. A relatív hiba sehol sem haladja meg a 9%-ot, és ez kifejezetten jó közelítésre, az N , K értékek relatív meg-

A vizsgált anyagok reológiai állandói

Szerszámváltozat	Anyag					
	Crastin SK 605		TPX RT 20		Epoform 870 T	
	<i>K</i>	<i>N</i>	<i>K</i>	<i>N</i>	<i>K</i>	<i>N</i>
3	60	0,1	–	–	–	–
4/a	–	–	–	–	4×10^{-5}	3,3
4/b	–	–	133	0,5	1×10^{-3}	2,4
4/c	–	–	573	0,3	2×10^{-3}	2,4

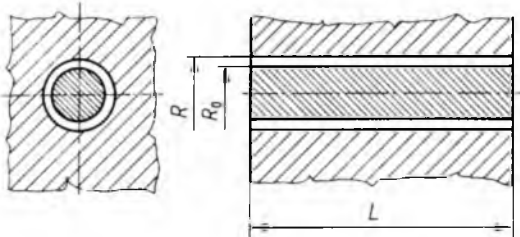
bízhatóságára utal. A táblázatból látható, hogy az azonos technológiai körülmények között anyagjellemzőnek tekinthető *N* érték anyagonként csak kevéssé változik, míg a számszámrestől is függő *K* értékek nagyon különböznek egymástól. Az *a*) változat a legvastagabb (0,42...1,35 mm), a *c*) változat a közepes (0,27...1,20 mm), a *b*) változat pedig a legvékonyabb (0,13...1,06 mm) falú csövecskékre vonatkozik.

Logikus, hogy *K* értékének a falvastagsággal egyenes arányban kell növekedni. A TPX anyag esetében ez egyértelműen így is van. Epoform esetén az *a*) változatra kaptuk a minimális értéket. Ennek feltehetően az az oka, hogy a fröccs-sajtolásos technológiánál az áramlási viszonyok, illetve a viszkozitás lefutása nagyon függ a nagyfrekvenciás előmelegítés mértékétől, míg fröccsöntéskor nem kell az anyagot a gépen kívül előmelegíteni. Feltehetően az inhomogén előmelegítés miatt vált zavarossá a kép.

Sikerült egzakt összefüggést találni \dot{V} és *p* között nem teljes kör keresztmetszetű áramlási csatornákra és nem-newtoni folyadékokra az eddig ismeretes közelítő — és eléggé megbízhatatlan — formulák helyett. Ennek részletezése túlmenne e cikk keretén, ezért a kísérleteinkkel kapcsolatban kidolgozott és igazolt általános formulának csak két esetre, nevezetesen a körgyűrű és a négyyszög keresztmetszetű csatornákra érvényes végképletét közöljük.

Körgyűrű esetén (22-3. ábra) az egytagú hatványtörvényt követő anyagokra

$$\dot{V} = \frac{c\pi}{\eta(2l)^N} \cdot \frac{R^{N+3} - R_0^{N+3}}{N+3} p^N. \quad (4)$$



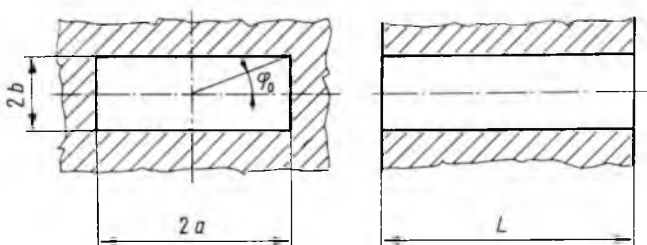
22-3. ábra. Körgyűrű keresztmetszetű számszámrés

Téglalap esetén (22-4. ábra) egytagú hatványtörvényt követő anyagokra

$$\dot{V} = \frac{2c}{\eta(N+3)} \left(\frac{p}{2l}\right)^N [a^{N+3}I(\varphi_0) + b^{N+3}J(\varphi_0)], \quad (5)$$

ahol

$$I(\varphi_0) = \int_0^{\varphi_0} \frac{d\varphi}{\cos^3 \varphi}; \quad J(\varphi_0) = \int_{\varphi_0}^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sin^3 \varphi},$$



22-4. ábra. Téglalap keresztmetszetű szerszámrés

amikor eltűnt a közelítő képletek szerinti bántó aszimmetria a téglalap két oldala között.

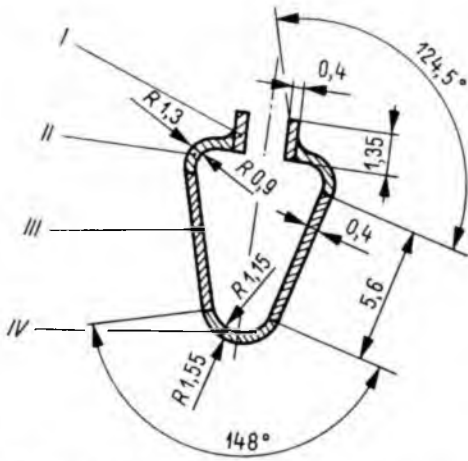
A körgyűrűkre kidolgozott képlet alapján feldolgoztuk a TPX anyaggal kapott kísérleti eredményeket. A fenti adatok birtokában előre megállapítható, hogy adott anyagból, adott gépi feltételek mellett előállítható-e adott geometriájú, ép szigetelőréteg. Ezt konkrét példával is szemléltetjük.

5. Példa a gyakorlati alkalmazásra

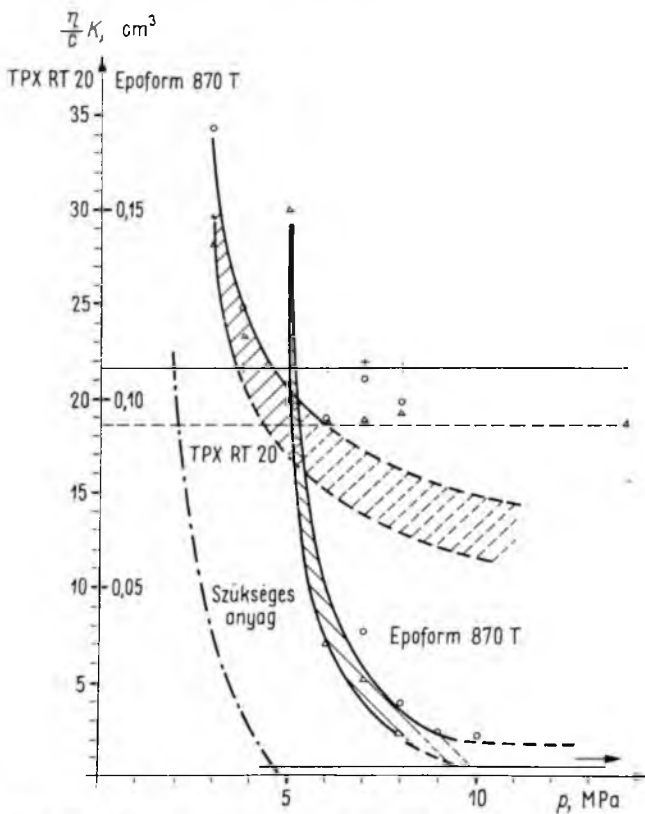
A következőkben konkrét példán illusztráljuk, mennyivel megalapozottabban lehet egy alapszigetelés elkészíthetőségét megítélni a kísérleti eredmények alapján, mint ismeretük nélkül. Vajon vállalható-e, és ha igen, milyen feltételekkel a 22-5. ábrán látható forgórész-horonyszigetelés? A forgórész hossza 45 mm. Első lépésként megállapítottuk, hogy mekkora teljes csőhossz felel meg a kívánt 45 mm folyási úthossznak. A számításokat a TPX és az Epoform anyagokra végeztük el. Kísérleteink alapján TPX esetén $l_T = 49,5$ mm, Epoform esetén $l_E = 90$ mm lesz.

Második lépésként az idomot téglalap és körgyűrűcikk alakú idomokra bontottuk fel (a 22-5. ábrán római számokkal jelölve). Ezzel a lépéssel tudatosan elhanyagoljuk a csatorna rövidebb oldala mentén levő folyamatos sebességeloszlást, és hat helyen a határréteg sebességét 0-nak tekintjük. A számítás ezáltal biztonságosabbá válik, mert a tényleges áramlási ellenállás kisebb lesz, mint a számított.

Harmadik lépésként kiszámítottuk a szerszámrés koefficienseket oly módon, hogy anyagonként állandónak véve c/η -t, a K képleteinél ezeket elhagytuk. Ezáltal a kapott számérték megváltozik ugyan, de a 22-6. ábra görbéivel összehasonlítható



22-5. ábra. Horonyszigetelés szerszámraése



22-6. ábra. Nyomás—szerszámrés-koefficiens függvények

22-2. táblázat

A számítási példa koefficiensei

K	TPX RT 20	Epoform 870 T
K_I	0,003	10^{-11}
K_{II}	0,105	6×10^{-7}
K_{III}	0,039	10^{-9}
K_{IV}	0,171	$1,8 \times 10^{-6}$
$2 K K_{III}$	0,078	0
$2 K_{II}$	0,210	$1,2 \times 10^{-6}$
$2 K_I$	0,006	0
Összesen	0,465	3×10^{-6}

értékeket kapunk. A kiszámított koefficienseket a 22-2. táblázat tartalmazza (az indexek a részidomoknak a 22-5. ábrán feltüntetett számjelei).

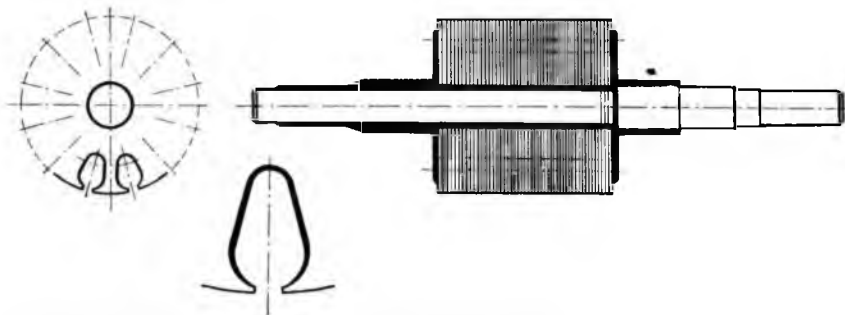
Negyedik lépésként megkeressük az eredményül kapott K értékekhez tartozó nyomást a 22-4. ábrán. Esetünkben extrapolálni kellene és ez részben azt jelenti, hogy eljárásunk bizonytalanná válik, részben pedig azt, hogy a feladat az eddig ismert anyagokkal megoldhatatlan, hiszen a kívánt kis K értékek a diagramokat gyakorlatilag a végtelenben metszik, tehát megvalósíthatatlanul nagy nyomást kellene alkalmaznunk. A feladat csak akkor oldható meg, ha találunk olyan műanyagot, amelynek a c/η jellemzője közel áll a TPX RT 20-éhoz, és $p = 2$ MPa nyomással is teljes hosszúságú (80 mm-es) csövecskék állíthatók elő belőle a kísérleti szerszámban.

6. Az általunk elkészített kísérleti munkadarabok

A következőkben ismertetünk néhány olyan kísérleti munkadarabot, amelynek szigetelését már az új módszerrel alakítottuk ki.

6.1 Kettős szigetelésű forgórész

Kísérleteinkhez az EVIG az F 105 típusú kéziszerszámmotor forgórészéhez való lemezeket és tengelyeket bocsátotta rendelkezésünkre. Azt a célt tűztük magunk elé, hogy a lemezcsomag összeszerelése és összeszorítása ugyanabban a szerszámban legyen megvalósítható, amelyben a kettős szigetelést is kialakítjuk.



22-7. ábra. Kettős szigetelésű forgórész hosszsmetszete

Kezdetben a megbízásból adódóan, csak a kettős szigetelésre koncentráltunk (22-7. ábra). A kísérleti kétféskes fröccs-sajtoló szerszámmal sikerült az előírt követelményeket messzemenően kielégítő próbadarabot előállítani (22-8. ábra). A kész próbadarabokat megvizsgálva bebizonyosodott, hogy a lemezeknek sorjamentesek-



22-8. ábra. Kettős szigetelésű forgórész

nek kell lenniük, különösen a tengelyfuratnál. Kellőképpen előkészített, sorjátlanított lemezekből összeszerelt lemeztest esetében az 1,2 mm vastag szigetelőréteg villamos szilárdsága kiválóan bizonyult: több, mint 10 kV feszültséget bírt átütés nélkül.

Ha a lemezek sorjásak maradtak, rosszabb eredményeket kaptunk, de 1,6 kV alatt még így sem következett be átütés. Újból bebizonyosodott az a tény, hogy nem lehet a gyártási folyamat egy részét kiragadva, csakis azt korszerűsíteni. Az új, korszerű technológiák megkövetelik, hogy a megelőző műveleteket is korszerűbben végezzék el.

6.2 Teljes alapszigetelésű forgórész

A kísérleti gyártás közben merült fel az a gondolat, hogy a meglévő szerszám csekély átalakításával a tengelyszigeteléssel együtt, egy művelettel alakítsuk ki a homlok- és a horonyszigetelést is. Ezt sikerült is megvalósítanunk. A szükséges vizsgálatok egy-két dologban, nevezetesen a horonyszigetelések vonatkozásában hiányosságokra hívták fel a figyelmünket. Ha ugyanis a horonyfalak nem eléggé simák, nem kielégítő mértékben sorjamentesek, akkor a pár tized mm vastag horonyszigetelés villamos igénybevétele a sorja okozta élhatás miatt annyira megnövekszik, hogy ezeken a helyeken már néhány száz V-on bekövetkezik az átütés.

6.3 Homlok- és horonyszigeteléssel ellátott állórész

Egy centrifugamotor állórészén gondosan előkészített, sorjátlanított lemezelt vas-testekkel sikerült megfelelő alapszigetelési rendszert kialakítani (22-9. és 22-10. ábra). Ez az eljárás azonban a jelenlegi technológiai fejlettségi körülmények között nem gazdaságos. A jelenleg használatos kasfrozott, szendvics horonyszigetelés nem érzékeny a lemezhibákra; az említett okokból adódó élhatás nem lényeges, mert a kritikus helyeken nem vékonyodik el a szigetelőréteg.

Összefoglalva: az eddigi eredmények azt mutatják, hogy a témával érdemes és kell foglalkozni.



22-9. ábra. Homlok- és horonyszigeteléssel ellátott állórész



22-10. ábra. Homlok- és horonyszigeteléssel ellátott huzalozott állórész

Irodalom

- [1] *Becker, E.*: Technische Strömungslehre, 2. Aufl. Teubner. Stuttgart, 1970
- [2] *Eirich, F. R.*: Rheology-Theory and Applications, Vol. I—III. Academic Press. New York, 1956.
- [3] *Ferry, J. D.*: Viscoelastic Properties of Polymers. Wiley. New York, 1961.
- [4] *Joos, G.*: Theoretische Physik, 7. Aufl. Akad. Verlag, Leipzig, 1950.
- [5] *Линник, Ю.В.*: Метод наименьших квадратов. Физматгиз, Москва, 1958.
- [6] *Mc Kelvev, J. M.*: Polimerek feldolgozása. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1966.
- [7] *Pohl, R. W.*: Mechanik und Akustik, 2. Aufl. Springer. Berlin, 1931.
- [8] *Reissmann, G.*: Die Ausgleichungsrechnung. 3. Aufl. Verlag für Bauwesen. Berlin, 1972.
- [9] *Schenkel, G.*: Kunststoff—Extrudertechnik, 2. Aufl. Hanser. München, 1963.
- [10] *Sors L.—Bardócz L.—Radnóti I.*: Műanyagalakító szerszámok, 2. kiadás. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1977.

23.

Epoxigyanták öregedése napfény hatására

DR. LEYRER RICHÁRD

ÖSSZEFOGLALÁS

Az epoxigyanták közül a dián bázisúak a legérzékenyebbek a napfény ultraibolya fényére. A sugárzás hatására — melyet mesterséges úton is elő lehet állítani — különböző kémiai folyamatok játszódnak le. A bomlási reakciók a gyanták felületének tulajdonságait megváltoztatják. Ez a változás jól szemléletesé tehető mikroszkópos felvételekkel. Az öregedés előrehaladását más módszerekkel is figyelemmel lehet kísérni, így a fényesség és a felületi ellenállás változása is kiegészíthetik a vizsgálatokat. E módszerek együttes alkalmazása lehetővé teszi, hogy egy gyantakompozíció külsőtéri ellenállóképességét gyorsan, laboratóriumi vizsgálatok alapján eldönthessük.

СТАРЕНИЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ ПОД ВЛИЯНИЕМ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

д-р Р. Лейрер

Резюме

Из эпоксидных смол наиболее чувствительным к ультрафиолетовому спектру солнечного излучения являются смолы на основе диана. Под действием излучения (которого можно создать и искусственным путем) происходят различные химические реакции. Реакции разложения изменяют поверхностные свойства смол. Это изменение хорошо наблюдается на снимках микроскопа. Процесс старения можно наблюдать и с другими приборами, в том числе изменения блеска и поверхностного сопротивления могут дополнить испытания. Совместное применение этих методов позволяет быстро определить стойкость в открытом пространстве данной композиции смолы на основе лабораторных испытаниях.

DIE LICHTALTERUNG VON EPOXYDHARZEN

Dr. R. Leyrer

Zusammenfassung

Unter den Epoxydharzen sind die Dian-Epoxydharze die empfindlichsten auf die UV-Strahlung der Sonne. Infolge der Bestrahlung — welche auch künstlich nachgeahmt werden kann — entstehen verschiedene chemische Reaktionen. Diese Zersetzungsreaktionen verändern das physikalische Verhalten der Oberfläche der Harze, welches recht gut veranschaulicht werden kann z. B. mit Hilfe von mikroskopischen Aufnahmen. Das Fortschreiten der Alterung kann auch aber durch andere Methoden, so z. B. mit der Messung des Glanzgrades, oder des Oberflächenwiderstandes verfolgt werden. Alle diese Methoden dienen zur schnellen Beurteilung der Freiluftbeständigkeit einer Harzkomposition, auf Grund der Laborprüfungen.

AGING OF EPOXIDE RESINS UNDER THE INFLUENCE OF SUNSHINE

By Dr. R. Leyrer

Summary

Among the epoxide resins the resins on dian base are the most sensitive to the ultraviolet light of the sunshine. Under the influence of the radiations — which can be produced artificially as well — different chemical processes take place. The decomposition reactions change the properties of the resin surface. This change can be well demonstrated by the microscopic photographs. The progress of the aging can be followed with attention by other methods too, so the change of the lightness and the surface resistance can complete the tests. The common application of these methods makes it possible to decide the outdoor resistance of a resin composition quickly on the basis of laboratory investigations.

1. Bevezetés

Az epoxi alapú öntőgyantákból készült szigetelők az elmúlt években széleskörűen elterjedtek a belsőtéri villamos berendezések szigetelésére. A külsőtéri kísérletek során kiderült, hogy a szokásos, dián bázisú gyanták gyors degradációja következtében a gyantákból készült szigetelők hamar tönkrementek. A meghibásodás oka az volt, hogy a szigetelők felülete a napfény hatására feldurvult, repedések keletkeztek, amelyek keresztül a villamos tér hatására kúszóáramok, majd átvételek és beégések löttek létre. A cikloalifás epoxigyanták a külsőtéri igénybevételeket jobban bírják [1].

A meghibásodások a szigetelők felületén indultak meg, és mint azt a vizsgálatok igazolták [2], a degradációt fotolitikus, illetve fotooxidatív folyamatok iniciálják. A napfény spektrumának az ultraibolya tartományba eső része elegendő energiával rendelkezik sok kémiai kötés megbontására. Különösen érzékeny az ultraibolya fényre a karbonilcsoport [3], [4].

A dián bázisú epoxigyanta ultraibolya fény behatására létrejövő bomlásánál Geuskens [5] megállapította, hogy a degradáció a fenil-éter csoporthoz α helyzetű CH_2 aktiválásával indul meg és oxigén jelenlétében peroxid keletkezik. A diánlánc szabad fenoxi-gyökre és aldehidre szakad. Szuhareva [6] ugyancsak dián bázisú gyantákat ultraibolya fénnel besugározva kimutatta az epoxigyanták végcsoportjainak leszakadását, melyek aldehiddé izomerizálódnak és cseppfolyós, valamint gázalakú bomlástermékek keletkeznek.

Az ismertett irodalmi anyagból azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az epoxigyanták külsőtéri felhasználhatóságának a napfényállóság döntő tényezője. A villamos erőterek kétségtől fokozzák az igénybevételeket, de magukban nem idéznék elő azokat az öregedési folyamatokat, amelyeket a külsőtéri behatások következtében a dián bázisú szigetelőkön tapasztaltak. Elsődlegesen tehát azok a fotokémiai, fotooxidatív folyamatok, amelyek a gyantákat és a kikeményítésükhöz alkalmazott térhálósítókat megbontják, szerkezetüket megváltoztatják. A villamos igénybevételek mint szekunder folyamatok az öregedési reakciókat meggyorsítják olyan formában, hogy a kúszóáramok vagy a felületen kialakuló villamos ívek magas hőmérséklete termikus bomlást idéz elő. Ezeknek az elgondolásoknak megfelelően vizsgálataink lefolytatására a következő célokat tűztük ki:

- Tisztázni kívántuk azt, hogy a különböző kémiai felépítésű dián és cikloalifás epoxigyantákból és különböző telítettségű, hasonló kémiai szerkezetű térhálósítókból kialakított gyantarendszerek hogyan viselkednek a napfény-

hez hasonló színeképpel rendelkező xenonlámpa besugárzásának hatására. Ezzel kapcsolatban a lehetőségekhez képest igyekeztünk kialakítani azokat a kémiai folyamatokat, amelyek az ultraibolya sugárzás hatására létrejövő degradációban lejárásznak.

- A kísérleti munka célkitűzése másrészt az olyan vizsgálati módszer kidolgozása — viszonylag egyszerű eszközök és berendezések segítségével — amelynek alapján könnyen eldönthető a különböző gyanta-térhálósító rendszerek minőségi fokozata. E szelekció eredményeként csak a legmegfelelőbbnek bizonyult rendszereket kell a rendkívül idő- és költségigényes külsőterei vizsgálatoknak alávetni.

Kísérleteinkhez három különböző összetételű, ismert szerkezetű [7], [8] epoxigyantát választottunk ki. Ezek közül az egyik dián bázisú, a másik kettő pedig különböző felépítésű cikloalifás gyanta volt.

A gyanták legfontosabb tulajdonságai, illetve kémiai szerkezete a következő:

- | | |
|--|-----------------------|
| — dián bázisú gyanta | (B jelű) |
| megjelenési forma | szilárd |
| lágypont (Krämer—Sarnow) | 45,5 °C |
| epoxi-ekvivalens | 380...420 |
| — gyűrűn epoxidált cikloalifás gyanta | (Y jelű) |
| megjelenési forma | világossárga folyadék |
| viszkózitás 100 °C-on | 40...50 cP |
| epoxi-ekvivalens | 150...170 |
| — oldalláncon epoxidált cikloalifás gyanta | (X jelű) |
| megjelenési forma | világossárga folyadék |
| viszkózitás 25 °C-on | 600...900 cP |
| epoxi-ekvivalens | 170...180 |

A gyanták kémiai szerkezetét a 23-1. ábrán mutatjuk be.

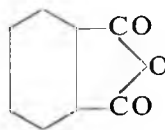
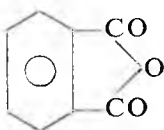
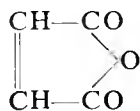
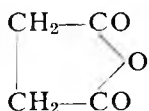
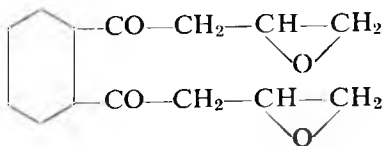
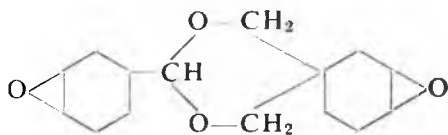
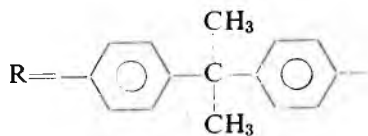
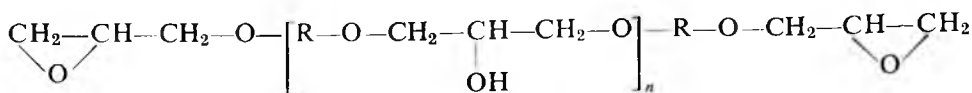
A villamosipari kiöntőgyantákhoz általában dikarbonsavanhidrideket használnak térhálósítóként, mert e termékek kedvezőbb tulajdonságúak. Kísérleteinkhez ezért olyan dikarbonsavanhidrideket választottunk, amelyek kémiai szerkezeti felépítésükben, illetve α , β helyettesítéssel rokonsági sorrendet alkotnak. Az alkalmazott térhálósítók a következők voltak:

borostyánkősav-, maleinsav-, ftálsav és hexahidroftálsavanhidrid (jelölésük B, M, F és H). A térhálósítók szerkezeti képlete ugyancsak a 23-1. ábrán látható.

Az egyes gyantákhoz alkalmazott térhálósítók mennyiségét — amennyiben azok nem voltak adottak — a következő összefüggés alapján határoztuk meg [9].

$$\text{térhálósító mennyiség} = \frac{\text{savanhidrid mólsúly} \cdot 100 \cdot F}{\text{epoxiekvivalens} \cdot \text{mólszám}},$$

ahol az F faktor 0,6...1,1 között mozog, értékét esetenként a feldolgozási technológia alapján kell meghatározni. A vonatkozó F értékeket a 23-1. táblázat tartalmazza.



23-1. ábra. A kutatáshoz alkalmazott epoxigyanták és térhálósítók kémiai szerkezete

23-1. táblázat

Próbatestek készítésének technológiai adatai

Gyantarendszer	BB	BM	BP	BH	YB	YM	YP	YH	XB	XM	XP	XH
Gélesedési hőmérséklet, °C	130	120	120	120	130	80	120	100	120	80	130	100
idő, h	1,8	0,8	1,8	3,5	1,2	16	4,8	6	0,25	0,95	0,75	0,75
Térhálósító mennyiség 100 g gyantára, (mól)	26 0,3	30 0,3	30* 0,2	35* 0,2	40 0,4	35 0,4	35* 0,2	45* 0,3	40 0,4	35 0,4	40 0,3	100* 0,7
F értéke	1,0	1,1	0,85	0,85	1,0	0,85	0,6	0,75	1,0	1,0	0,85	1,1
Szerszám-hőmérséklet, °C	140	130	130	130	140	100	130	100	130	100	140	80
Öntéshőmérséklet, °C	130	120	130	110	130	130	120	80	120	80	130	60
Térhálósítási hőmérséklet, °C	130	120	120	120	130	80	120	100	120	80	130	100
idő, h	25	24	24	24	24	29	24	26	24	29	25	20

* A vonatkozó prospektusok alapján

Az egyes gyantákat 80...100 °C-ra melegítve kivákuumoztuk, majd a megfelelő mennyiségű térhálósító hozzákeverése után 130 °C-ra melegített öntőformába töltöttük. A próbalapok elkészítési technológiáját ugyancsak a 23-1. táblázat tartalmazza.

A mintákat a következő kombinált igénybevételeknek vetettük alá:

- ultraibolya besugárzás Xenotest 450 berendezésben [10] 17 percig szárazon, majd 3 min-ig esőztetve, 21 órán keresztül
- állandósítás, 25 °C-on, 1 h hosszát.
- vízben áztatás, 1 h hosszát
- gyors lehűtés –25 °C-ra, 1 h hosszát.

Az előbbi felsorolás egy ciklust tesz ki. Az igénybevételeket 84 ciklusig, azaz 2000 h hosszát végeztük.

Az igénybevétel folyamán a gyantarendszerek degradációját a következő vizsgálatokkal követtük:

- mikroszkópos szemrevételezés és fényképezés általában 420-szoros nagyítással 500 óránként,
- fényességmérés Lange-féle fényességmérő műszerrel hetenként,
- villamos felületi ellenállás mérése az igénybevétel előtt és a 2000 h-s igénybevétel után,
- infravörös spektroszkópiai vizsgálat a felületről, vagy arról lehántott rétegből, az igénybevétel megkezdése előtt és 2000 h-s igénybevétel után.

2. Vizsgálati eredmények

2.1 Mikroszkópos vizsgálat

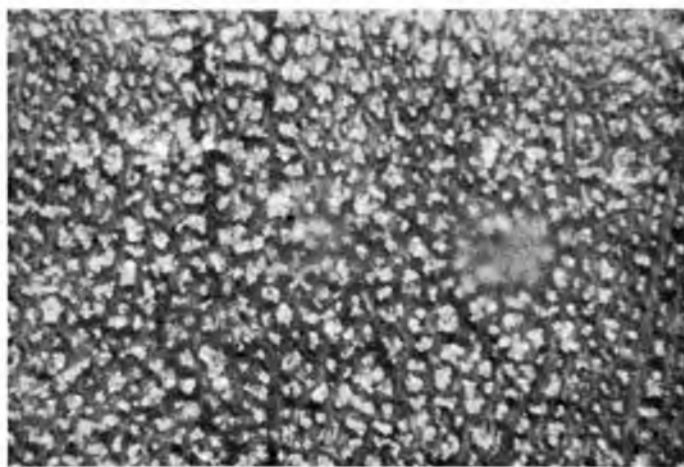
A dián bázisú gyantarendszereknél már 500 h-s igénybevétel után tapasztalható a felület eróziója, majd repedéshálózat kialakulása. Különösen erőteljes az elváltozás az M és F térhálósítókkal készült rendszereknél, melyeken a 2000 h-s igénybevételre a repedéshálózat mély árokká növekedett. Legellenállóbb a H térhálósítóval készült rendszer. A gyantarendszerre jellegzetes kép a 23-2. és 23-3. ábrán látható.

A gyűrűn epoxidált gyantarendszerek az igénybevétel hatására csak kismértékű károsodást mutattak, és a 2000 h-s igénybevétel után csak mikrorepedések voltak láthatók. Az M térhálósítójú minták azonban már 500 h után megrepedeztek, majd az igénybevétel végére darabokra hullottak. E folyamat a 23-4. és 23-5. ábrákon látható.

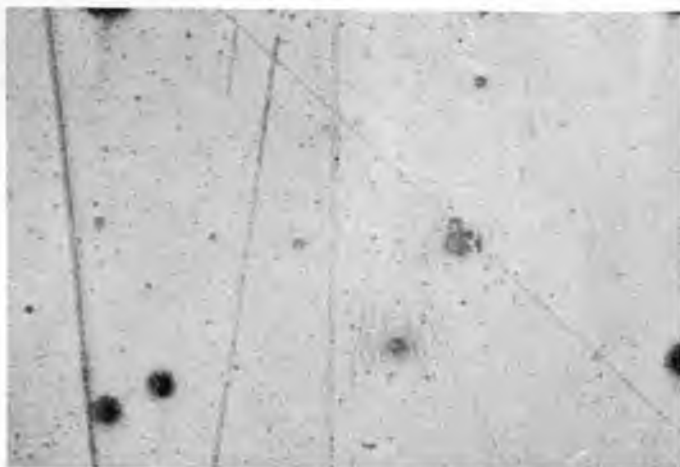
Az oldalláncon epoxidált cikloalifás gyantarendszerek nagyfokú stabilitást mutattak. A legtöbb esetben csak kismértékű erózió jelentkezett a felületen. A legstabilabbnak a H térhálósítóval készült rendszer bizonyult, amint az a 23-6. és 23-7. ábrákon látható.



23-2. *ábra.* BP gyantarendszer felülete az öregítés megkezdése előtt (420-szoros nagyítás)



23-3. *ábra.* BP gyantarendszer felülete 2000 órás öregítés után (420-szoros nagyítás)



23-4. ábra. YM gyantarendszer felülete az öregítés megkezdése előtt (420-szoros nagyítás)



23-5. ábra. YM gyantarendszer felülete 1000 órás öregítés után (420-szoros nagyítás)



23-6. ábra. XH gyantarendszer felülete az öregítés megkezdése előtt (420-szoros nagyítás)



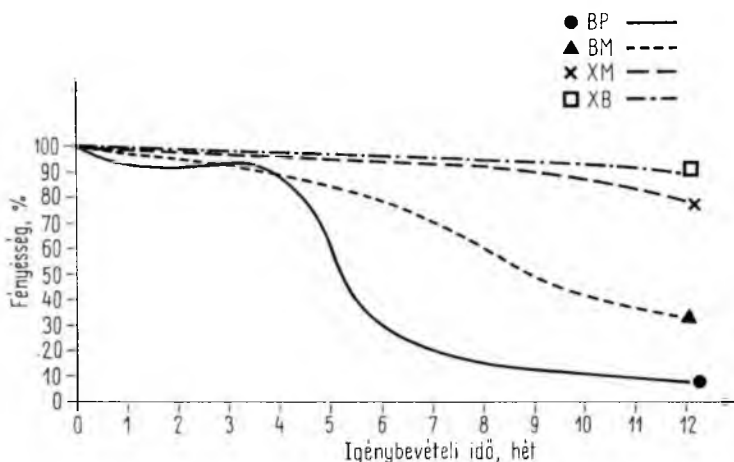
23-7. ábra. XH gyantarendszer felülete 2000 órás öregítés után (420-szoros nagyítás)

2.2 Fényességmérés

A dián bázisú gyantarendszerek fényessége az igénybevételek hatására nagymértékben csökkent. A legrosszabb a BP és BM rendszer volt, amelyeknek fényessége az igénybevétel hatására 10, illetve 40%-ra csökkent. A BH, illetve BB rendszer közelítőleg 50%-ra romlott.

A gyűrűn epoxidált cikloalifás gyantarendszerek felületi fényessége az igénybevételek hatására nem változott. Az YM rendszer a próbatetek nagymérvű károsodása következtében nem volt mérhető.

Az oldalláncon epoxidált gyantarendszerek is csak kismértékű fényességváltozást mutattak. Az XH és XP rendszerek változatlanok maradtak, XB, illetve XM rendszer 90, illetve 85%-ra csökkent. A vizsgálat eredményeit a 23-8. ábrán láthatjuk.



23-8. ábra. Gyantarendszerek fényességváltozása az igénybevétel hatására
BP diángyanta-ftálsavanhidrid; BM diángyanta-maleinsavanhidrid; XM oldalláncon epoxidált gyanta-maleinsavanhidrid; XH oldalláncon epoxidált gyanta-hexahidroftálsavanhidrid

2.3 Villamos felületi ellenállás

A dián bázisú gyantarendszerek felületi ellenállása az igénybevételek hatására $10^{17} \Omega$ -ról $10^{11} \Omega$ -ra csökkent. Kivételt képez a BH rendszer, amely gyakorlatilag nem változott, $10^{11} \Omega$ nagyságrendű volt.

A gyűrűn epoxidált cikloalifás gyantarendszerek ellenállásváltozása kisebb mérvű volt. A legalacsonyabb értéket már kiindulási állapotban is az YM rendszer mutatta $10^6 \Omega$ értékkel, az igénybevétel után a minta széttördelődése miatt nem volt mérhető.

Az oldalláncon epoxidált cikloalifás gyantarendszerek ellenállásváltozása is viszonylag alacsony. Legstabilabbnak az XH rendszer mutatkozott, amelynek felületi ellenállása $10^{15} \Omega$ -ról $10^{12} \Omega$ -ra csökkent. A legnagyobb mérvű csökkenést a XM rendszer mutatta.

2.4 Infravörös spektroszkópiai vizsgálat

Az igénybevételek hatására létrejövő kémiai elváltozások kimutatása infravörös spektroszkópiával történt. Ha a minták felülete nem károsodott nagymértékben, akkor az ún. ATR-technikával történt a színeképek felvétele. Ha a felület túlságosan

23-2. táblázat

A gyantarendszerek kémiai változása öregítés után

Jelzés	Hidroxil-sáv	Epoxisáv	Étersáv	Észtersáv
BB	növekedik	eredetileg kevés, tovább csökken	nő	kissé növekedik
BM	erősen növekedik	eredetileg kevés, tovább csökken	nő	növekedik
BP	erősen növekedik	eredetileg kevés, tovább csökken	nő	növekedik
BH	növekedik	eredetileg kevés, tovább csökken	nő	növekedik
YB	kissé nő	0,1-ére csökken	nő	nő
YM	erősen növekedik	csökken	nő	kissé csökken
YP	növekedik	csökken	kissé csökken	kissé csökken
YH	kissé nő	csökken	nő	kissé csökken
XB	növekedik	erősen csökken	nő	kissé csökken
XM	növekedik	erősen csökken	nő	csökken
XP	változatlan	kismértékben csökken	csökken	változatlan
XH	nagyon keveset csökken	nagyon keveset csökken	nő	változatlan

A táblázat első oszlopában az első betű a gyantakomponenst jelenti: B = Araldit B; Y = CY 175; X = Lekutherm X 100

feldurvult, arról mikrometszet készült, és a felvétel a szokásos KBr technikával történt. Referenciasávként a dián bázisú gyantarendszerek esetében az aromás gyűrű, a cikloalifás gyantarendszerek esetén a CH₂ csoport deformációs rezgését vettük figyelembe. A vizsgálat eredményeit a 23-2. táblázat tartalmazza.

3. Kiértékelés

Az igénybevételek hatására létrejövő degradáció a következőképpen értékelhető:

3.1 Dián bázisú gyantarendszerek

A mikroszkópi felvételek, a fényességmérések és a villamos felületi ellenállás csökkenése a gyantarendszer nagymértékű érzékenységét mutatja az ultraibolya sugárzásra, valamint az azzal kapcsolatos oxidációs folyamatokra. Az infravörös spektrumok alapján megállapítható, hogy a degradáció folyamán a következő reakciók játszódnak le:

- térhálósodás a szabad epoxicsoportokon;
- oxidáció az epoxicsoportok reakciójából keletkező szekunder hidroxilcsoportokon, majd a karbonilcsoportok bomlása fotolitikus láncszakadásban;

Keto- és aldehid-karboxil	Telítettség	Térhálósodás	Oxidáció
megjelenik	—	folytatódik	kismértékű COO ⁻ megjelenik
megjelenik	csökken	folytatódik	kimutatható COO ⁻ is megjelenik
megjelenik	—	folytatódik	kimutatható COO ⁻ megjelenik
megjelenik	—	folytatódik	kimutatható COO ⁻ megjelenik
új sáv nincs	—	folytatódik	nem mutatható ki
új sáv nincs	erősen csökken	valószínű (polimerizáció is)	nem mutatható ki
új sáv nincs	—	folytatódik	bizonytalan
megjelenik	—	folytatódik	kismértékű
megjelenik	—	folytatódik	valószínű, COOH sáv megjelenik, lehet hidrolízis is
nem mutatható ki	kismértékben csökken	folytatódik (étersáv nő)	nem mutatható ki
megjelenik	—	nem mutatható ki	kismértékben kimutatható
nem mutatható ki	—	nem mutatható ki	nem mutatható ki

A második betű az alkalmazott térhálósztóra utal: B = borostyánkősavanhidrid; M = maleinsavanhidrid; P = ftálsavanhidrid; H = hexahidroftálsavanhidrid

- a fenoléter kötéshez α helyzetben levő CH₂ csoport fotolitikus aktiválódása, majd peroxidképződés és láncszakadás;
- észtercsoportok hidrolízise;
- ftálsavanhidrid térhálósító esetén szabad sav és aldehidek keletkezése;
- maleinsavanhidrid térhálósító esetén a kettős kötések oxidációja és láncszakadás.

3.2 Gyűrűn epoxidált cikloalfás gyantarendszerek

A mikroszkópos felvételek, a fényességmérés és a villamos felületi ellenállás gyantarendszereknél — kivéve a maleinsavanhidriddel térhálósított rendszert — viszonylag kis mértékű, főleg eróziós elváltozásokat mutattak. Az YM rendszer már 500 h-s igénybevétel után szétrepedt. Az infravörös felvételek azt mutatták, hogy a térhálósodás elsősorban éterkötésekkel folytatódott. Oxidáció csak kis mértékben, az éterkötéshez α helyzetben levő CH₂-csoporton következett be.

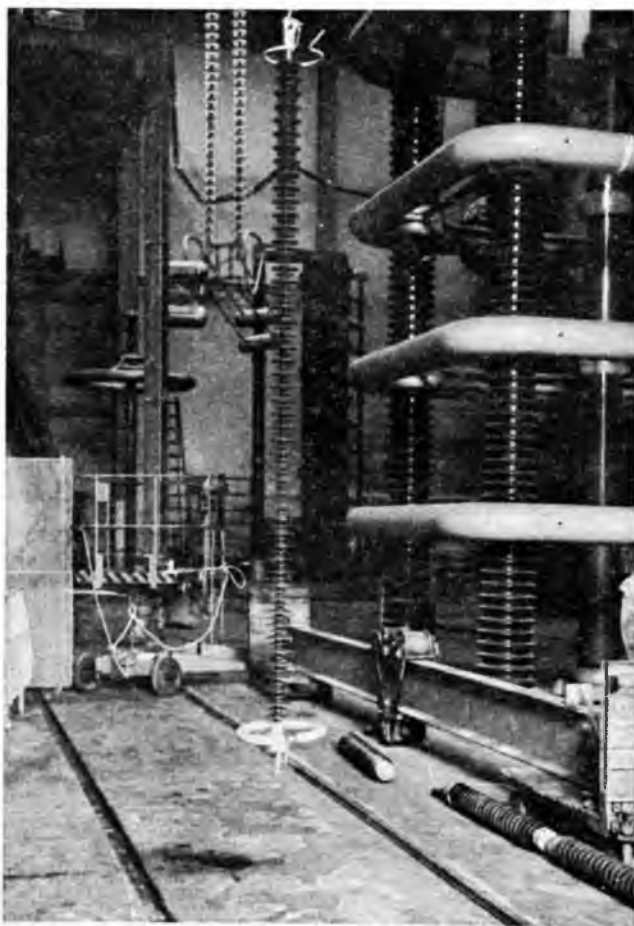
A legnagyobb degradáció az YM rendszernél tapasztalható, melynek felületén a kettős kötések oxidációja mutatható ki, de ezen kívül az ultrabolya fény hatására polimerizáció is lejátszódik. A repedések okozója a polimerizáció hatására létrejövő zsugorodás.

3.3 Oldalláncon epoxidált cikloalifás gyantarendszerek

A mikroszkópi felvételek, a fényességmérés és a villamos felületi ellenállás vizsgálata e gyantarendszerek nagyfokú stabilitását mutatták. Az infravörös felvételek is ezt igazolták. Kiemelkedik az XH rendszer, amelyben az összes funkciós csoportok változatlanok maradtak. A többi térhálósítóval készült rendszerben a térhálósodás kis-mértékű folytatódása volt kimutatható.

4. Összefoglalás

Összegezve megállapítható, hogy a dián bázisú gyanták érzékenyek az ultraibolya fény hatására. A gyűrűn epoxidált cikloalifás gyantarendszerek a gyűrűket összekötő CH_2 csoportok oxidációjára érzékenyek. A legstabilabbak az oldalláncon epoxidált cikloalifás gyantarendszerek.



23-9. ábra. 400 kV-os műgyanta függőszigetelő vizsgálata a VEIKI nagyfeszültségű laboratóriumában

A térhálósítók közül a maleinsavanhidrid esetében az oxidáció és a polimerizáció egyaránt bekövetkezik. A legstabilabb a hexahidroftálsavanhidrid, míg a borostyánkósav-, illetve ftálsavanhidrid térhálósítóknál nem tapasztalható nagy különbség. Egyben megállapítható, hogy a gyantákat és térhálósítókat egységes rendszerként kell kezelni.

A kialakított mesterséges vizsgálati metodika segítségével sikerült egy olyan kombinált vizsgálati eljárást kidolgozni, amely alkalmas különböző gyantarendszerek relatív jóságai fokának gyors meghatározására. Így megtakarítható a költséges és hosszadalmas külsőtéri vizsgálatok zöme.

A villamosipar fontos érdeke a külső térre alkalmas műgyanta szigetelések kifejlesztése. A szigetelőknél azonban az időjárás változásait meghibásodás nélkül évtizedekig kell kiállniuk. Igen nagy jelentőségű minden olyan vizsgálati módszer, amely a műgyanta szigetelők élettartamának gyors meghatározását eredményezi.

Az előzőkben leírt módszer alapján választottuk ki az oldalláncon epoxidált cikloalifás gyantát és alkalmaztuk a 120 és 400 kV-os függőszigetelők kifejlesztéséhez (23-9. ábra).

Figyelembe véve a klimatikus viszonyokat az e gyantából készült szigetelők élettartama a vizsgálatok alapján 20...25 évre becsülhető.

Irodalom

- [1] *Bernst, D.*: VDI Berichte 65. (1962) 79.
- [2] *Dr. Magyar Laura*: VKI zárójelentés (1975).
- [3] *Lothian, G. F.*: Absorption Spectro-Photometry. 1958, London.
- [4] *Houwink, R.*: Elastomers and Plastomers. 1950. New-York.
- [5] *Geuskens, G.*: Chim. peintures 32. (1969) 3. 99.
- [6] *Szuhareva, L. A.*: Kolloidnűj Zsurn. 32. (1970) 261.
- [7] *Knapp, F.*: Brown-Boveri Mitteilungen 52. (1965) 575.
- [8] *Kubens, R.*: Kunststoffe 58. (1958) 565.
- [9] *Jahn, H.*: Epoxidharze, 1969. Leipzig.
- [10] Original Hanau GmbH: Xenotest 450.

Új eljárás a melegen térhálósítható öntőgyanták feldolgozására

SZAPLONCZAY PÁL—KOLTAI ANDRÁS

ÖSSZEFOGLALÁS

Az erősáramú öntőgyanta alkatrészek gyártására 15...20 évvel ezelőtt bevezetett vákuumöntési eljárás ma már nem eléggé termelékeny és nem korszerű. Az erősen reaktív epoxigyanták, speciális gyorsítók és térhálósítók megjelenésével lehetővé vált ezen öntőgyanta-kompozíciók gépi feldolgozása. A hagyományos öntőgyantákra jellemző 4...5 órás szerszámfoglalási idő a gyorsabban térhálósodó gyantáknál a szigetelő méretétől függően 4...20 percre csökkent. Az új eljáráson kívül a cikk ismerteti a kifejlesztett laboratóriumi műgyantaöntő gépet, amelyen az új technológiát kipróbálták, illetve kikísérletezték, továbbá a kísérleti gépen előállított öntőgyanta próbatestek és szigetelők mechanikai és villamos tulajdonságait. Végül összehasonlítja a hagyományos és az új gépi öntési eljárást műszaki, gazdasági és ergonómiai szempontból. A cikk bemutatja a kutatási eredmények ipari realizálására létesített gyártó üzemet.

НОВЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ЛИТЕВЫХ СМОЛ, СШИВАЕМЫХ В ГОРЯЧЕМ СОСТОЯНИИ

П. Саплонцаи — А. Колтаи

Резюме

Метод вакуумного литья, введенный 15...20 лет назад для производства деталей силовой электротехники из литевой смолы, в настоящее время недостаточно продуктивный и устарелый. Благодаря появлению сильно-реактивных эпоксидных смолы специальных ускорителей и отвердителей, машинная обработка этих композиций литевых смол стала возможной. Необходимое время пребывания традиционных литевых смол в инструменте составляет 4...5 часов, это же время в случае применения быстрее сшиваемых смол в зависимости от размера изолятора составляет всего лишь 4...20 минут. Наряду с новым методом в статье описывается разработанное лабораторное оборудование для литья пластмассы, на котором испробовалась и исследовалась новая технология, и механические и электрические свойства испытательных разработанных на экспериментальном оборудовании образцов и изоляторов. Наконец, сравнивается традиционный и новый метод литья с технической, экономической и эргономической точек зрения. В статье показан производственный цех, созданный для промышленной реализации результатов исследования.

NEUES VERFAHREN ZUR VERARBEITUNG DER HEISS VERNETZBAREN GIESSHARZE

P. Szaplenczay — A. Koltai

Zusammenfassung

Das zur Herstellung der Starkstrom-Gießharzbestandteile vor 15...20 Jahren eingeführte Vakuumgiessverfahren ist heute nicht mehr produktiv genug und nicht zeitgemäss. Durch das Erscheinen der stark reaktiven Epoxydharze, der speziellen Beschle-

uniger und Härter ist es möglich geworden, diese Giessharzkompositionen maschinell zu verarbeiten. Die auf die traditionellen Giessharze charakteristische Werkzeugbelegungs — Zeit von 4...5 Stunden ist bei den schneller vernetzenden Harzen von der Abmessung des Isolators abhängig — auf 4...20 Minuten zurückgegangen. Ausser dem neuen Verfahren stellt der Artikel die entwickelte Labor-Kunstharz — Giessmaschine, mit der die neue Technologie erprobt bzw. experimentell herausbekommen wurde, ferner die mechanischen und elektrischen Eigenschaften der durch die Versuchsmaschine hergestellten Giessharzprüfkörper und Isolatoren vor. Schliesslich vergleicht er das traditionelle und das neue maschinelle Gussverfahren aus technischem, ökonomischem und ergonomischem Standpunkt. Der Artikel stellt ausserdem den zur industriellen Realisation der Forschungsergebnisse gebauten Herstellerbetrieb vor.

NEW PROCESS FOR PROCESSING THE WARMLY CROSS-LINKING CAST RESINS

By P. Szaploneczay — A. Koltai

Summary

The vacuum-casting process introduced for producing the heavy-current cast resin components 15...20 years ago isn't productive and up-to-date any longer. By the appearance of the strongly reactive epoxide resins, special accelerators and curing agents it was rendered possible to process these cast resin compositions by machine. The 4...5 hours tool holding time characteristic for the traditional cast resins fell to 4...20 minutes in case of the more quickly cross-linking resins depending on the size of the insulator. Beside the new process the paper introduces the developed synthetic resin moulding-machine used in laboratory by which the new technology was tested and experimented, then the mechanical and electrical properties of the cast resin specimens and insulators produced by the experimental machine. In the end it compares the traditional and the new mechanical casting process as regards the technical, economical and ergonomical respect. The paper introduces the producing plant created for the industrial realization of the research results.

1. Bevezetés

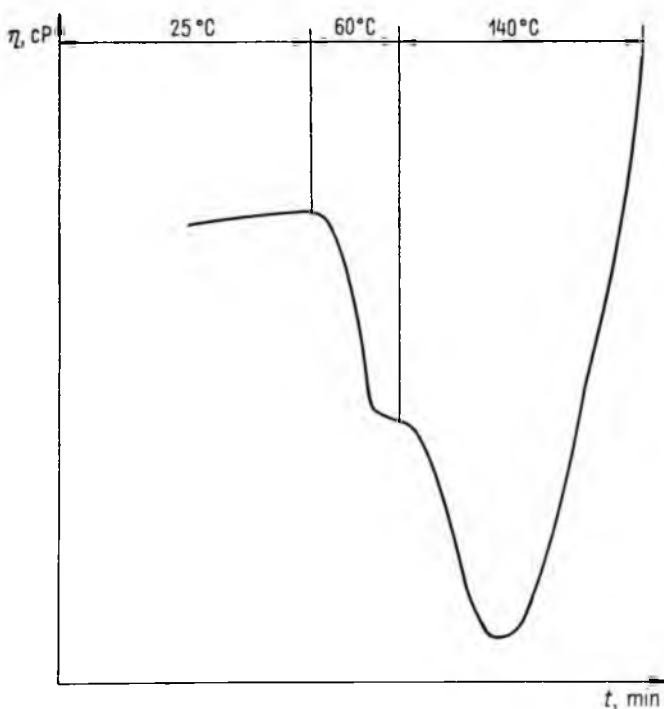
A korszerű öntőgyantákat — elsősorban az epoxigyantákat — megjelenésük óta elterjedten alkalmazzák erőáramú berendezések átvezető- és támszigetelőinek előállításához, mérőváltók, megszakítók stb. szigetelésként. Az epoxigyantáknak a villamos ipar egyre több területén való felhasználását a porcelánénál jobb mechanikai tulajdonsága (húzó-, hajlító- és ütő-hajlító szilárdság), a fémekhez való jó tapadása, csekély zsugorodása és nem utolsó sorban kedvező villamos tulajdonsága tette lehetővé. Az érthetőség kedvéért most csak az egyszerű szigetelőtestek, a tám- és átvezető-szigetelők előállítását vizsgáljuk. Ezek súlya 0,2 kg-tól 50 kg-ig terjedhet. A legelterjedtebb szigetelőtípusok súlya 1...6 kg.

Az előzményhez tartozik, hogy a 60-as évek közepétől kezdődően a belsőtéri tám- és átvezetőszigetelők gyártása terén a porcelánt egyre inkább az epoxigyanta váltotta fel. Intézetünkben 1966 óta foglalkozunk a támszigetelők vákuumöntési — a továbbiakban hagyományosnak nevezett — eljárás útján való előállításával. E technológia során a meleg öntőgyanta-kompozíciót vákuumban juttatjuk a még melegebb öntőformába, amely ott 4...5 h alatt térhálósodik. Ez a hosszú szerszámfoglalási idő az a tényező, amely a támszigetelő-gyártás szűk keresztmetszetét képezi. A műgyantafeldolgozásra általánosan jellemző szerszámigényesség és az igen hosszú szerszámfoglalási idő valamilyen változást sürgetett.

A speciális gyorsítók, térhálósítók megjelenésével az öntőgyanták feldolgozásában új korszak kezdődött. A térhálósodási idő lecsökkentésével lehetővé vált a speciális reaktív epoxigyanta-rendszerek gépi feldolgozása, aminek során a 4...5 h szerzőszámfoglalási idő a szigetelő méretétől függően 4...20 min-ra csökkent. Jelenlegi ismereteink szerint az öntőgyanta-feldolgozás műszaki és gazdasági szempontból is legkorszerűbb eljárása a félautomatikus nyomószelés technológia. Az új eljárás elnevezése a reakciógyanta-keverék nyomás alatti gélesítésére (zselésítésére) utal. Alkalmazásával speciális öntőgép segítségével, aránylag kis alapterületen, megbízható, jó minőségű epoxigyanta-öntvény állítható elő, aránylag nagy (60...65%-os) szervesanyag-hányaddal.

2. A nyomószelés technológia

A nagytermelékenységgű technológiával feldolgozható öntőgyanta-kompozíció alapvetően két komponensből tevődik össze: nagy reaktivitású epoxigyantából és savanhidrid típusú térhálósítóból. Az alapkomponeensekhez töltőanyagot is kevernek, amely nemcsak gazdaságosabb, hanem egyben jobban feldolgozható kompozíciót eredményez és növeli a késztermék szilárdságát és hővezető képességét. Az alapgyanta a térhálósítóval összekeverve szobahőmérsékleten 7...8 h-n át is tárolható a viszkozitás jelentős változása nélkül, nagyobb hőmérsékleten (120...160 °C-on) pedig rend-



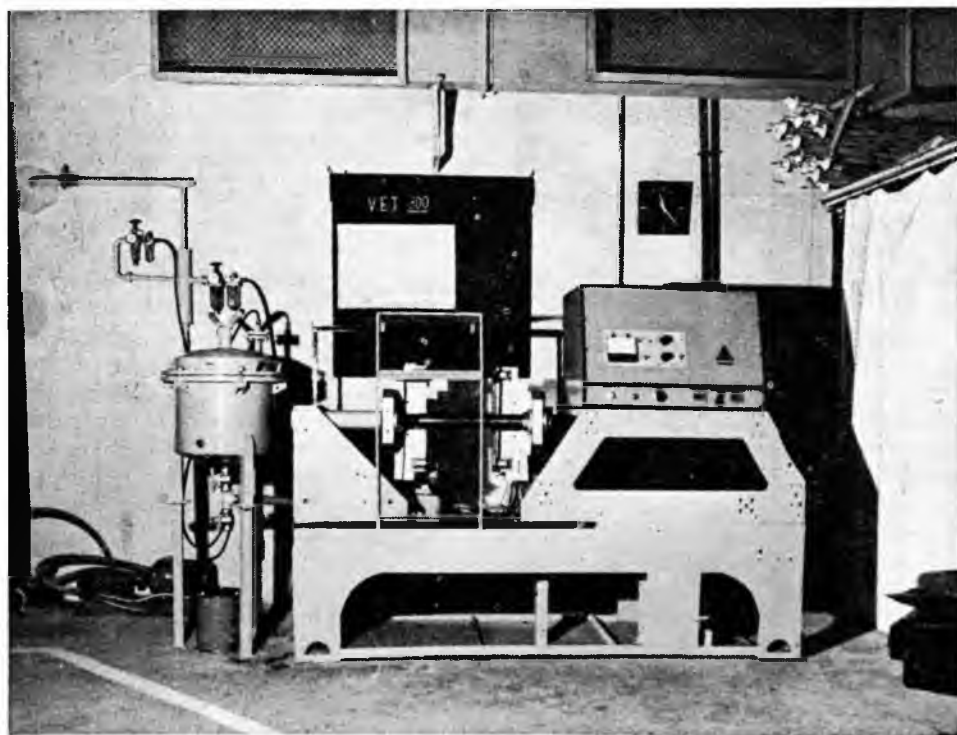
24-1. ábra. A gyanta viszkozitásának változása a hőmérséklet és az idő függvényében nyomószelés öntésnél

kívül gyorsan térhálósodik. Az epoxi öntőgyanta-kompozíciónak ez a tulajdonsága tette lehetővé a sajtolóanyagok feldolgozásához hasonló fröccsöntését.

A nyomószelés típusú öntőgyanta-kompozíció viszkozitása különböző hőmérsékleten az idő függvényében a 24-1. ábrán látható. A nyomószelés technológiával való feldolgozása során az adagolótartályból a szobahőmérsékletű, vagy 30...40 °C-ra felmelegített öntőgyantamassza túlnyomás segítségével egy automatikusan vezérelt öntőfejen keresztül alsó elárasztással a meleg szerszámba jut és ott gyorsan, mechanikai feszültségektől mentesen térhálósodik. A beömlő gyanta hőmérsékleténél 60...90 °C-kal magasabb szerszámhőmérséklet biztosítja, hogy a térhálósodás a hagyományos öntési eljárásnál tapasztaltaktól eltérően ne az öntvény belsejében, hanem a szerszám falánál induljon meg, ún. kéregkeményedés formájában. A térhálósodás iránya tehát a szerszám falától az öntvény belseje felé mutat. Ennek eredményeként szép felületű, lunkermentes szigetelők készíthetők.

3. Az első gyakorlati eredmények

Az Intézet finanszírozásában 1975-ben készült el a 24-2. ábrán bemutatott VET 300 típusú fröccsöntőgép, amely lehetővé tette laboratóriumi, illetve félüzemi körülmények között különböző típusú támszigetelők és egyéb szigetelők méretpontos, utómegmunkálást nem igénylő, nagytermelékenységű gyártását, illetve a technológiai paraméterek kikísérletezését próbatetek nyomószelés előállításával. A nyomószelés



24-2. ábra. VET 300 típusú műgyanta öntőgép

technológiával készült rúd, lap és korong alakú próbatestek a 24-3., 24-4. és 24-5. ábrákon láthatók. A próbatestek hajlítószilárdságának hőmérséklet-függőségét — az MSZ 1422-63 szerint vizsgálva — a 24-1. táblázat tartalmazza. Az ETB 35 típusú, 35 kV-os támszigetelő szerszámból való kiemelését a 24-6. ábrán mutatjuk be. Mind



24-3. ábra. VET 300 típusú géppel fröccsöntött rúd alakú próbatestek



24-4. ábra. VET 300 típusú géppel fröccsöntött lap próbatest



24-5. ábra. VET 300 típusú géppel fröccsöntött korong alakú próbatestek

24-1. táblázat

**Nyomószelés technológiával készült próbapálcák
hajlítószilárdsága, N/mm²**

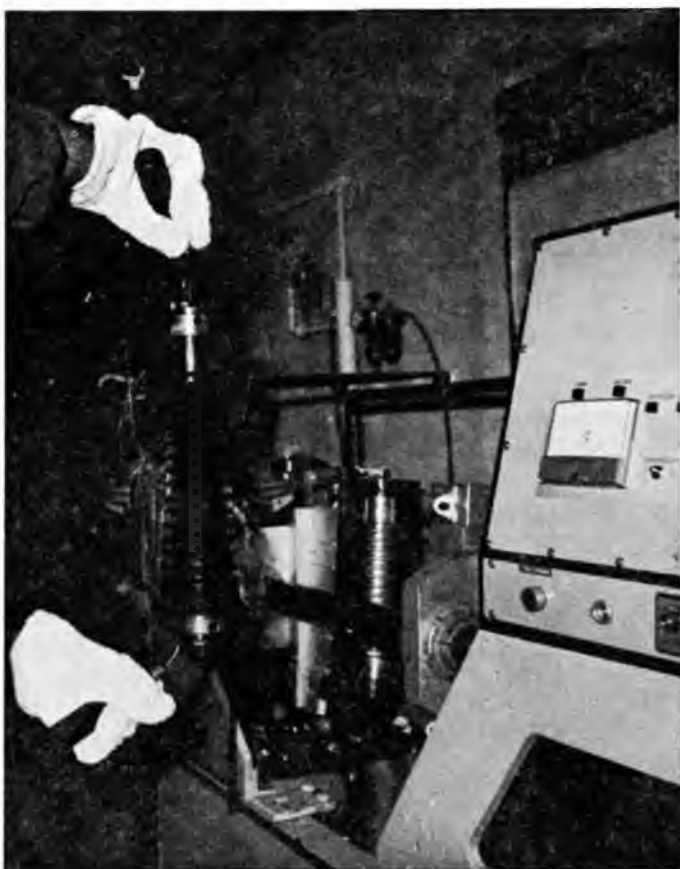
Hőmérsék- let, °C	Gyantarendszer			
	I	II	III	IV
25	121,0	110,6	101,0	112,0
60	107,0	96,0	96,0	85,2
70	104,0	94,0	47,0	90,0
90	68,4	79,5	14,0	75,2
120	16,9	39,2	6,6	31,2

I: CY 225
HY 225

II: CY 225
XB 2888

III: CY 227
HY 227

IV: X 287
Härter F



24-6. ábra. EFB 35 típusú tamszigetelő szerszamból történő kiemelése

a próbatestek, mind a szigetelők hajlító-törő vizsgálatának eredménye alapján 90 és 120 °C-on mechanikai szempontból az Araldit CY 225/XB 2888 (CIBA —GEIGY) és a Lekutherm X 287/Härter F (FURTENBACH CHEMIE) mutatta a legjobb eredményeket.

A támszigetelők kísérleti sorozatgyártásánál szerzett kedvező tapasztalatok alapján a VKI 1976-ban vállalkozott egy 100 t/év kapacitású, nyomószelés technológiával gyártó komplett üzem tervezésére, a szükséges berendezések legyártására és a Villamosszigetelő és Műanyaggyárban való telepítésére. Az üzem megvalósításához azonban igen jelentős fejlesztési munkára volt szükség. Nemcsak az üzemet kellett megtervezni, hanem az üzem csaknem valamennyi berendezését ki kellett fejleszteni. Ahhoz, hogy a laboratóriumi technológiából az ipar által elfogadott biztonságos üzemi technológia legyen, a következő feladatokat kellett megoldani:

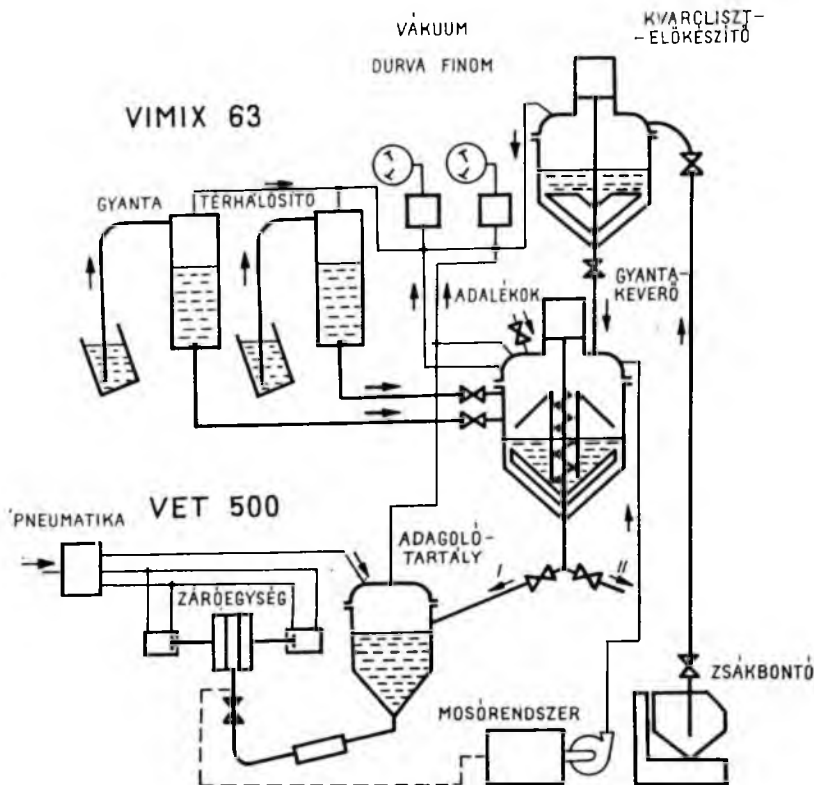
1. A por és a mérgező anyagok elleni védelem céljából meg kellett oldani a kvarcliszt és a gyantakomponensek zárt rendszerű beadagolását, valamint a gyantával szennyeződő készülékek hatékony zárt rendszerű mosását. Ehhez zárt rendszerű mosással tisztítható szelepeket kellett kifejleszteni.
2. A nagyobb termelékenység érdekében célszerű volt négyfeszkes szerszámot kialakítani cserekeretrendszerrel, és zónás gyanta-előmelegítőt kifejleszteni.
3. Csökkenteni kellett a nehéz fizikai munkát villamos daruk és pneumatikus anyagszállítás alkalmazásával.
4. Meg kellett akadályozni azt a környezetszennyezést, amelyet a mosáshoz alkalmazott mérgező oldószer elhasználása után idézne elő.

4. A berendezések ismertetése

A kialakított műgyanta-feldolgozó üzem berendezéseit technológiai sorrendben az üzem folyamatábrája (24-7. ábra) alapján mutatjuk be.

A *villamos konzoldaru* markoló segítségével emeli a *bontósiló* fölé a töltőanyag zsákot, ahonnan az csapóajtón át esik be a bontósiló késes vágószerkezetére. Ürítését rázószerkezet és kézi manipulációs lehetőség segíti. A bontósilóból a töltőanyagot vákuum juttatja beméréskor a kvarcliszt-előkészítőbe. A bontósiló optikai számki-jelzésű mérlegre van szerelve. Beméréskor a dolgozó az optikai mérleget figyelve kezeli a felszívóvezetékbe épített gömbcsapot. A bontósilóhoz tartozik egy zsáktároló a kiürített zsákok befogadására. A bontórendszer és a felette elhelyezett elszívó alkalmazása kiküszöböli a porszennyezést.

A *kvarcliszt-előkészítőbe* felszívott töltőanyagot megfelelően elő kell melegíteni, hogy a készítendő gyantakompozíció optimális hőmérsékletű legyen. A kettős falú, csigaszalagos keverőként kialakított kvarcliszt-előkészítőben a fűtést a fűtőköpenybe szerelt villamos csőfűtőtestek adják. A hőtadó közeg speciális hőközlő olaj, a hőmérséklet-szabályozás tirisztoros. A csőfűtőtestek fajlagos felületi terhelése a 140 °C maximális hőmérséklet biztosításához olyan kicsi, hogy az olaj krakkolódása nem következhet be. A keverő meghajtása villamos motorral történik fordulatszám-csökkentő hajtómű segítségével. A 20 ford/min fordulatszámú tengely tömítése teflon tömítőzsinórral ellátott tömszelencés megoldású. A töltőanyag melegítése közben a keverés szakaszos üzemű, a készülék nagyobb élettartama érdekében. A melegítés befejező szakaszában a kvarcliszt-előkészítőben létesített vákuum meggyorsítja a kvarclisztben abszorbeált víz elpárolgását, és így erősen lecsökkentett levegő- és víztartalmú töltőanyag jut a gyantakeverőbe. Az előkészített kvarcliszt beadagolása



24-7. ábra. A megvalósított műgyanta feldolgozó üzem folyamatábrája

a gyantakeverőbe vákuum segítségével történik, a keverő aljához csatlakozó leeresztő-szelepen keresztül, a kvarcliszt folyamatos keverése közben.

A vákuumrendszer védelme és a kvarclisztvesztés csökkentése céljából a keverő felső részébe zsugorbronz szűrőbetétsor van beépítve. Tisztításuk a belégzőszelep gyors nyitásával automatikus. A kvarcliszt-előkészítés ideje alatt beadagolják a gyantakeverőbe a gyantát és a térhálósítót. A folyékony komponensek beadagolását *bemérőtartályok* alkalmazása könnyíti meg. A bemérőtartályokba az alapgyanta és a térhálósító vákuum segítségével jut az üzem padlószintjére helyezett hordókból. A térfogatos bemérést a bemérőtartályokra kívül felszerelt állítható skála és állítható szintmutató teszi lehetővé. A bemérőtartályokból a gyantát és a térhálósítót vákuum továbbítja a gyantakeverőbe.

A *gyantakeverő* speciális kialakítású kettős falú keverő és gáztalanító berendezés, amely tág viszkozitáshatárok (5000...300 000 cP) között intenzív homogenizálást biztosít. A horgonykeverő tengelyén lemezből kialakított csiga felhordja a gyantakompozíciót a kúpos ernyőre, ahol az szétterülve, vékony rétegben csurog vissza a gyantakeverő aljára, elősegítve az intenzív gáztalanítást.

A keverő hajtása villamos motorral történik, fordulatszám-csökkentő hajtómű segítségével. A 100 ford/min. fordulatszámú tengely tömítése PACIFIC típusú csúszógyűrűs tömítés, amelynek olaj zárófolyadéka állandóan 1,6 kp/cm² túlnyomáson van és így mind depresszió, mind túlnyomás esetén kifogástalan tömítést biztosít.

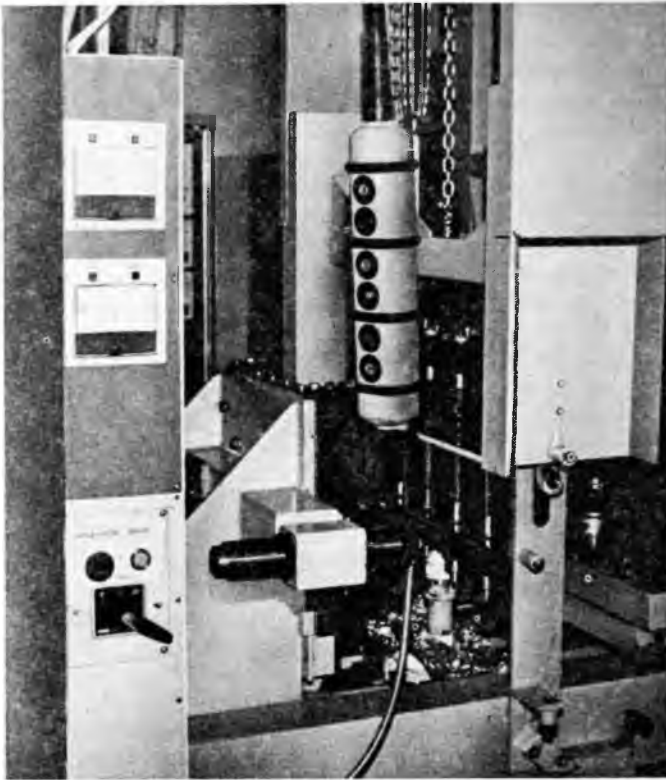
A gyantakeverő fűthető, a fűtés és a hőmérséklet szabályozása azonos a kvarcliszt-előkészítő keverővel. A gyantakeverőbe a kvarcliszt, a gyanta és a térhálósító betáplálása zárt rendszerben, vákuumban történik. A keverőtartályon töltőcsomók van az adalékanyagok betáplálására. Mind a fedél, mind a töltőcsomók nyitását, zárását Rathman-csavarok egyszerűsítik és gyorsítják. A 63 dm³ térfogatú töltet ürítése speciális kialakítású leeresztőszelepeken keresztül történik, amelyek közül három át-eresztőszelep, egy pedig a szabadba való leeresztést teszi lehetővé. A gyantakeverő ezáltal szükség szerint akár három öntőberendezés kiszolgálására is alkalmas.

Az elkészített gyantakompozíció a leeresztőszelepeken át a *műgyantaöntő gépekbe*, azok *adagolótartályaiba* jut. A gyantakompozíció leeresztésekor a gyantakeverő túlnyomáson van, az adagolótartályban pedig depresszió uralkodik. Feltöltés után az adagolótartályban túlnyomást hozunk létre. A tartály alulso leeresztőcsomokján keresztül össze van kötve az öntőfejvel, és ezért kiürülésig úgy működik, mint egy dugattyú nélküli adagolóhenger. Az adagolótartályból a gyanta a *VET 500 típusú műgyantaöntő gép* másik fontos egységébe, a *zónás előmelegítőbe* jut. Ennek feladata az adagolótartályból kiáramló öntőgyanta-kompozíció előmelegítése, viszkozitásának csökkentése, ezáltal az öntési ciklusidő rövidítése. Alkalmazásával nagymértékben csökkenthető a formaelárasztási idő is. Villamos fűtése öt fokozatban kapcsolható, így csak az egy öntési ciklushoz szükséges gyantamennyiséget melegíti elő. Az előmelegíthető gyanta mennyiségek 2, 3, 5, 7 és 9 kg. A hőmérséklet szabályozása tirisztoros. A szabályozási tartomány 5 °C-os fokozatban 20...80 °C. A zónás előmelegítőből a gyanta membránszelepen át jut az öntőfejbe, amelyet öntéskor pneumatikus munkahenger szorít a szerszám alulso felületén az osztósíkban kialakított beömlő nyíláshoz. A pneumatikus működésű membránszelep a gép elektropneumatikus vezérléséhez kapcsolódva automatikusan nyit és zár.

A két félből álló szerszámot egy-egy pneumatikus munkahenger nyitja és zárja. Az erőzárást két hidropneumatikus működésű szorítóelem végzi bebillenő húzókarok segítségével. Ez a megoldás 5 t szerszámzáró erőt biztosít alsó vezetékelrendezés és könnyű szerkezeti kialakítás mellett. Az alsó vezetékelrendezésre a szerszám könnyű tisztíthatósága érdekében van szükség. A gép elektropneumatikus vezérlése alapvetően követő vezérlésre épül: azaz az egyes pneumatikus munkahengerek csak akkor lépnek működésbe, ha egy másik munkahenger működése már befejeződött. A helyzet-érzékelő szelepek impulzumműködésű útszelepek segítségével juttatnak sűrített levegőt az egyes munkahengerekbe. A pneumatikus követővezérlést pneumatikus késleltetőszelepek és egy villamos időrelé egészíti ki, amellyel az öntési ciklus ideje pontosan beállítható. A gép vezérlése olyan kialakítású, hogy lehetőség van a membránszelep kézi vezérlésű nyitására és zárására. Erre a zónás előmelegítő gyantával való elárasztásakor és a rendszer zártrendszerű mosásakor van szükség. A félautomatikus működésű műgyantaöntő gép egy öntési ciklusa a következőképpen játszódik le. Az indítógomb megnyomása után a két szerszámfél összezár, az erőzáró húzókarok bebillennek, majd működésbe lépnek a szorítóelemek, és az öntőfej a szerszámhoz zár. Ezután nyit a membránszelep, s a nyomás alatt levő gyanta a szerszámba ömlik.

A membránszelep nyílásakor működésbe lépő időrelé az öntési ciklus végén feszültséget kapcsol egy mágnesszelepre, és a felsorolt mozgások fordítva mennek végbe. Az öntési idő hosszát minden szigetelőtípusra kísérletileg kell megállapítani.

A szerszám fűtését a felfogólapokba épített fűtőpatronok végzik. Az öntőszerszám hőmérsékletének szabályozása tirisztoros megoldású, ezáltal a kívánt hőmérséklet ± 2 °C pontossággal tartható. A műszeres kijelzés 20...180 °C között működik. A nagy darabszámban igényelt támszigetelők fokozott termelékenységgű gyártásához *négyfészkes szerszámot* fejlesztettünk ki, *cserekeretrendszerrel*. A keret azokat a



24-8. ábra. ETB 24 típusú támszigetelő négyfészkés szerszáma kerettel

formarészeket tartja, amelyeket nem lehet a gépre szerelt két szerszámfélen kialakítani: a támszigetelő fémbetéteit tartó alsó és felső tárcsákat. Ezeknek a fémbetéteknek a tárcsákra szerelése, illetve a szigetelők kiszerelése — különösen többfészkés szerszám esetén — cserekeretrendszer nélkül időigényes művelet és nagyon megnövelné a műgyantaöntő gép mellékidőit. Cserekeretrendszer alkalmazásával ezek a szerelési műveletek a gépi főidőben, az öntési ciklus alatt végezhetők el. Így a mellékidők csak a szigetelőkkal teli keret és egy előkészített keret cseréjéből, a szerszám tisztításából és formaelválasztóval való befűvéséből állnak.

A szigetelők kiszerelését, a keretre szerelt alsó és felső tárcsák tisztítását, valamint formaelválasztóval való befűvését, a fémbetéteknek a tárcsákra szerelését a három munkahelyes szerelőasztalon végzi a dolgozó. A szerelési műveleteket pneumatikus csavarhúzó gép, valamint a szerelővillában vízszintes tengely körül elfordítható keret könnyíti és gyorsítja meg. A *szerelőasztalon* a három munkahely ciklikusan változik. Amíg az egyik a szerelés folyik, a másikon a már előkészített keretet és fémbetéteit melegíti elő a hőharang, a harmadik pedig üresen áll: ide kerül a gépből az öntésben éppen részt vevő harmadik keret a szigetelőkkal. A *hőharang* a keretek és a fémbetétek előmelegítésére szolgáló, alul nyitott fűtőkészülék. Fűtése kerámia fűtőlapokkal történik. Hőmérsékletének szabályozása tirisztoros megoldású. Hőmérséklete a szerszáméval azonos. A kereteket és a hőharangot *villamos daru* és *futómacska* mozgatja. A daru segítségével a szerszámcsere is megoldható.

Az üzem eddig ismertetett tirisztoros hőmérséklet-szabályozású fűtőkészülékeinél automatikus fűtésletiltás van, ha az üzemi hőmérséklet a beállítható legnagyobb hőmérsékletet 10%-kal meghaladja. Ez a biztonságos kialakítás teszi lehetővé a készülékek felügyelet nélküli üzemeltetését. Így az első műszak előtt kapcsolóórával automatikusan bekapcsolható a fűtés a kvarcliszt-előkészítőben, a műgyantaöntő gép szerszámában, a gyanta-előmelegítőben és a hőharangban. Ezzel jelentős időmegtakarítást lehet elérni.

5. Mosórendszer

A gyantakeverőben az öntőgyanta-kompozíció a hőmérsékleti körülményeknek megfelelően aktivált állapotba jut és kedvezőtlen esetben, hosszú tartózkodási idő esetén, egyes helyeken beköthet. Ennek elkerülésére igen fontos naponta egyszer azoknak a készülékeknek a gyantamentesítése, amelyek a gyantakompozícióval érintkeznek, szennyeződnek. Ezek a gyantakeverő, az adagolótartály, a zónás előmelegítő, a membránszelep, az öntőfej és a közbülső anyagszállító vezetékek az öntőszerszámig. A tisztításra csak az oldószeres mosás megfelelő. A kifejlesztett mosórendszer az oldószert (metilénkloridot) centrifugálszivattyúval zárt rendszerben keringteti és a szennyezett oldószert regenerálására is alkalmas.

A mosórendszer három, kettős falú oldószertartályból, centrifugálszivattyúból, valamint nyomó- és visszafolyóvezetékéből áll. A tartályok hasznos térfogata egyenként 500 l. Az első tartályt mindig a mosási művelet elején kapcsolják a szivattyúra, emiatt ennek töltete a legszennyezettebb. A mosás elején azonban a szennyezettebb oldószert is hatásosan tisztít. A második, öblítőtartályt a mosás befejezése előtt kapcsolják a szivattyúra. A benne levő tisztább folyadékkal tökéletesebb gyantamentesítést lehet elérni. Az első két tartály az oldószerbepárló rendszer elpárologtatójaként van kialakítva: a fűtőköpenybe szerelt, villamos csőfűtőtestekkel fűthető. A hőmérséklet-szabályozás táglórudas hőmérséklet-szabályozóval történik. A harmadik tartály a bepárlórendszer kondenzátora. A hűtőközeg víz, amely részben a hűtőköpenyben, részben a tartályfedélre szerelt, hűtőbordákkal megnövelt felületű csőrendszerben áramlik. Az első két tartályban levő szennyezett oldószert szükség szerint külön-külön atmoszferikus bepárlással regenerálják. A visszamaradó gyantás kvarclisztet a tartályok alján elhelyezett tálcák segítségével távolítják el. A mosás eredményességéhez nagymértékben hozzájárul a tisztítandó készülékek helyes kialakítása. A mosófolyadék tangenciális bevezetése a készülékekbe még a nagy átmérőjű készülékekben is intenzív áramlást eredményez, ami megnöveli a folyadék mechanikus tisztítóhatását és lerövidíti a mosási időt.

A *vákuum rendszer* az üzem fontos kiegészítő berendezése. Egy durva és egy finom vákuumszivattyúból, két szűrőből, gömbcsapokból, mágnesszelepekből és vezetékekből áll. A durva vákuumszivattyút a kvarclisztnek a bontósíliból a kvarcliszt-előmelegítőbe való pneumatikus szállítására használják. A finom vákuumszivattyút a kvarcliszt víz- és gázmentesítésére, a gyantakomponenseknek a bemérő tartályokba, illetve a gyantakeverőbe való szivtatására, a gyantakompozíció gáztalanítására, valamint az adagolótartályba és a zónás előmelegítőbe való juttatására, továbbá mosás után a készülékekben maradó oldószert elpárologtatására használják. A vákuumszivattyúk védelmére beépített kettős szűrőkben a kvarcliszt leválasztását papírszűrőbetétek, az oldószert és egyéb gőzök megkötését aktív szén végzi.

6. A nyomószelés eljárás előnyei a hagyományos öntéssel szemben

- a) Az eljárás rendkívül termelékeny. A formabontási idő az öntvény volumenétől, a gyanta reaktivitásától és a forma hőmérsékletétől függően 3...60 min, míg a hagyományos eljárással 4...24 h.
- b) A jobb formakitöltés következtében nagyobb a szigetelők méretpontossága.
- c) A támszigetelők mechanikai szilárdsági értékeinek kisebb a szórása. A törőszilárdsági értékek szórása a hagyományos eljárásnál $\pm 20\%$, a nyomószelésnél $\pm 5\%$. Ez az ellenőrzött reakciólefoyásnak és ennek következtében a jobb mechanikai feszültségeloszlásnak köszönhető.
- d) A szigetelők villamos szilárdsága nagyobb, mert a nyomószelés eljárásnál nincsenek mechanikai feszültségkoncentrációk, amelyek mikrorepedéseket okozhatnak.
- e) Az utómegmunkálás minimális; a beömlőcsonkok géles állapotban (közvetlenül a szerszámból való kivétel után) levághatók.
- f) Terméktípusonként csak *egy* szerszámra van szükség, amely többfészes is lehet.
- g) Az öntőszerszámba épített tirisztoros hőmérséklet-szabályozású fűtés pontos hőmérséklettartást és energiatakarékosságot eredményez.
- h) *Egy* műszak anyagszükséglete a térhálósítóval és gyorsítóval összekeverve tárolható és nyomásálló tartályból, zárt rendszerben adagolható közvetlenül a szerszámba.

7. A nyomószelés technológia gazdaságossága

- A ciklusidő lerövidülésével az eljárás 35%-kal olcsóbbá válik a hagyományos öntésnél, mivel az utóbbinál a késztermék ára az anyagár négyszerese, a nyomószelés eljárásnál az öntvény ára az anyagár két és félszerese.
- Termelékenysége a fröccs-sajtolási eljáráséhoz hasonlít, a mérettartományok azonban jóval tágabbak.
- Nem kell számolni az eddigi gyakorlat szerinti 5...10% selejttel, mert az új technológiánál az 2% alá csökken.
- A méretpontos öntvény nem igényel további utómegmunkálást. A hagyományos technológiával készült terméket utólag még esztergálni kell, ami gép-és szakember-kapacitást igényel.

Ezeknek a műszaki és gazdasági előnyöknek a kiaknázására a KGST országokon belül elsőnek a Villamosszigetelő és Műanyaggyárnak nyílt lehetősége, mivel az Intézet kutatási és ipari tevékenysége révén itt vezették be először az új technológiát üzemi szinten. Az elvégzett kutatási és ipari bevezetési munka hatékonyságát mutatja, hogy 3 év alatt (a reaktív epoxigyantára vonatkozó első szabadalom benyújtása után alig 8 évvel) a VKI termelőüzemet valósított meg.

Az új technológia még az egész világon fejlődésben van. Ehhez a fejlődéshez az Intézet is hozzájárult: a gyantával szennyeződő készülékek korrekt gyantamentesítését a VKI oldotta meg először. Olyan zártrendszerű mosórendszert fejlesztett ki, amelyben a szennyezett oldószer bepárlással regenerálható.

Érdeemes ezen kívül kiemelni néhány eredeti megoldást: a műgyantaöntő gép erőzárását, az öntőgéphez kapcsolódó cserekeretrendszert és a zártrendszerű mosással tisztítható gyantaleeresztő szelepeket.

25.

Erősáramú kábelér-szigetelő poliolefinek tartós feszültségállósága

DÁVID PÉTER—ZELENYÁNSZKI ENDRE

ÖSSZEFOGLALÁS

A poliolefin érszigetelésű erősáramú kábelekben különböző jellegű hibahelyek fordulhatnak elő. Ezek jelentősen csökkentik a kábelek élettartamát. A Magyar Kábel Művek megbízásából a VKI szigetelésmodelleket vizsgál. A mérések alapján megállapítja a különböző típusú hibahelyeknek a szigetelő alapanyag villamos élettartamára gyakorolt hatását. A szerzők összehasonlítják három külföldi és egy hazai alapanyag tulajdonságait, négy különböző modellelrendezés viselkedése alapján. Az eredményeket a kábelgyártás a megfelelő anyagok kiválasztásánál használja fel, különös tekintettel az importkiváltás lehetőségére.

ДЛИТЕЛЬНАЯ СТОЙКОСТЬ НАПРЯЖЕНИЮ ПОЛИОЛЕФИНОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ МЕЖЖИЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ

П. Давид—Э. Железански

Резюме

В силовых кабелях с полиолефиновой изоляцией могут возникать повреждения различного рода. Эти повреждения в значительной мере понижают срок службы кабелей. По заказу Венгерского Объединения „Кабель“ (МКМ) в VKI ведутся испытания различных моделей изоляции. На основе измерений определяется действие различных типовых повреждений на электрический срок службы исходного изолирующего материала. Авторы сравнивают свойства трех зарубежных и одного отечественного исходного материала, на основе поведения четырех различных модельных схем. Результаты применяются в производстве кабелей для выбора подходящих материалов, особенно с точки зрения замены импортных изделий.

DAUERHAFTES SPANNUNGSBESTÄNDIGKEIT DER ADERISOLIERENDEN POLYOLEFINE DER STARKSTROMKABEL

P. Dávid — E. Zelenyánszki

Zusammenfassung

In dem Starkstromkabeln mit Polyolefin-Aderisolierung können verschiedene Fehlerstellen vorkommen. Diese verringern bedeutend die Lebensdauer des Kabels. Im Auftrag der Ungarischen Kabelwerke prüft das VKI Isoliermodelle. Auf Grund der Messungen stellt es die Wirkung fest, welche die verschiedenen Fehlerstellen auf die elektrische Lebensdauer des Isoliergrundstoffes ausüben. Die Verfasser vergleichen die Eigenschaften von 3 ausländischen und 1 einheimischen Grundstoffen auf Grund des Verhal-

tens von 4 verschiedenen Modellanordnungen. Die Kabelherstellung wendet die Ergebnisse bei der Auswahl entsprechender Materialien an, mit besonderer Rücksicht auf die Importmöglichkeit.

LONG-LASTING VOLTAGE ENDURANCE OF THE HEAVY-CURRENT CABLE CORE-ISOLATING POLYOLEFINE

By P. Dávid — E. Zelenyánszki

Summary

In the heavy-current cables of polyolefine coreisolation there can be different error spots. These reduce the endurance of the cables considerably. On behalf of the Hungarian Cable Works the Research Institute of the Electrical Industry investigates insulation models. On the basis of the measurement it establishes the effect practised on the electrical endurance of the insulating basic material of the different error spots. The authors compare the properties of 3 foreign and 1 home basic materials. The results are used in the selection of the suitable materials in the cable production, with special regard to the possibility of import reducing.

1. Bevezetés

A villamos szilárdság szempontjából a poliolefin szigetelőanyagok ideális kémiai modelt képviselnek. A gyakorlatban azonban a tartós feszültségállóságot sokszor nem annyira anyagjellemzők, mint inkább technológiai jellemzők szabják meg. A polietilén esetében pl. ez a „technológiai előélet” jelentheti mind az előállítás vegyipari művelete által megszabott tulajdonságokat (a molekulaméret-eloszlást stb.), mind a kábelgyártás (az extrudálás) anyagi, szerkezeti és mechanikai hatásait. Bonyolítja a helyzetet az üzemi igénybevételként ható villamos erőter elvileg elkerülhető, de a gyakorlatban végül is elkerülhetetlen tökéletlenségei: a helyi inhomogenitások és ezzel szoros kapcsolatban a villamos kisülések lehetősége. További meghatározó még az ún. segédanyagok hatása, amelyek a műanyagtechnológia igényei miatt kerülnek a szigetelőanyagba. Egy idő óta már „feszültségállóságot javító adalékanyagokat” is ismerünk, amely tény önmagában is bizonyítéka a kis mennyiségben jelen levő (segéd-, adalék- és szennyező-) anyagok számottevő szerepének.

Ezek a tények magyarázzák azt az igen kedvezőtlen helyzetet, hogy a polietilén (a továbbiakban PE) inherens villamos szilárdságát mind ez ideig távolról sem sikerült a gyakorlat számára kihasználni. Amíg ugyanis a PE közelítőleg számított átütési szilárdsága egyes közlések szerint [1] 400 kV/mm körüli érték, próbalemezeken végzett rövid idejű mérésekkel pedig 600...800 kV/mm átütési szilárdságot is tapasztaltak [2], [3], [4], addig a próbalemezek sem viselnek el tartósan 24 kV/mm-nél nagyobb térerősséget. Ugyanez a PE a kábelben már csak 3 kV/mm térerősséggel terhelhető [5], és még az ún. feszültségstabilizátor adalékanyagot tartalmazó PE sem visel el tartós üzemben 5...10 kV/mm-nél nagyobb térerősséget [6], [7], [8], [9], [10]. Elvileg tehát két nagyságrendnyi „tartalék” villamos szilárdság áll rendelkezésre, amelynek kihasználása döntő a fejlődés szempontjából.

Ha a kábelgyártás az előtt a döntés előtt áll, hogy a kínálatból melyik polietilén-típust válassza, két eset lehetséges:

- más kábelgyárak referenciájára támaszkodni, vagy
- vizsgálatok alapján válogatni.

(Optimális az elsőnek a másodikkal való ellenőrzése.)

Különösképpen aláhúzza a kérdés jelentőségét a hazai polietilén alkalmazásának

irányvonala, amire a lehetőséget az olefin-program termelési szakaszának megindulása, a nyomós okot pedig az importkiváltás szempontja adja.

A poliolefin-típusok tartós feszültségállóságát a kérdéses anyagból készült szigetelésmodellek élettartamának célszerűen kitűzött kritériumok alapján végrehajtott mérésével vizsgálják. A szigetelésmodell olykor igen szélsőséges körülményeket valósít meg (mint pl. a tús próbában), ami a vizsgált hatás szándékos felerősítésének következménye. A gyakorlatban háromféle modell terjedt el: a csúcs—sík, a tű—sík és az üreges modell. Mi e beszámolóban csak a csúcs—sík modellre térünk ki, de megemlítjük, hogy a PE felületi villamos tulajdonságainak vizsgálatára egy negyedik típust is kifejlesztettünk.

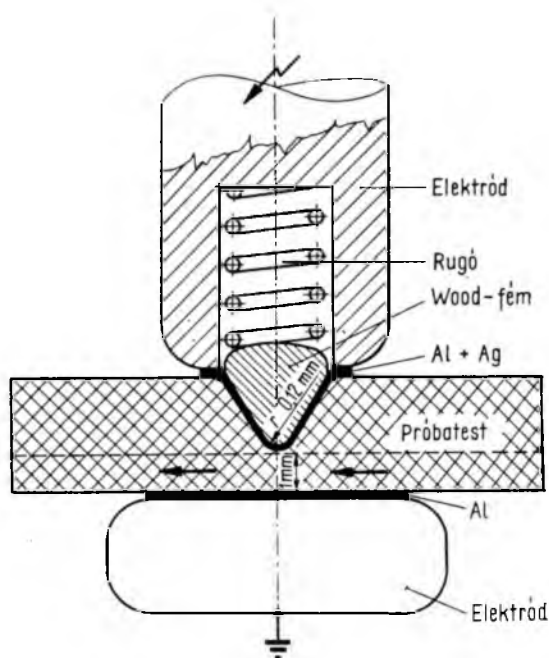
A feszültségállósági modellvizsgálatok eredményeit az anyagválasztékkal fölvetődő, felelősségteljes döntésekhez használják fel, ezeket pedig mennél rövidebb idő alatt és mennél kisebb kockázattal kell meghozni. E kettős követelményt csak úgy lehet kielégíteni, ha rövid idő alatt sok mérést végzünk el. Ehhez a szigetelésmodellek előállításának termelékeny és nagypontosságú technológiája, valamint a modellek tartós feszültségállósági vizsgálatának tömeges és szabatos végrehajtása szükséges. A technológia és a vizsgálat szigorúságát írja elő a tisztaság követelménye is, hiszen a szigetelésmodellek egyben inhomogenitásmodellek is. Így az előírt mértéken felül nem vihető be több vagy más inhomogenitás (pl. szennyezés) az anyagba, mert ez meghamisítaná az eredményeket.

Fölvetődhet a kérdés, hogy vajon érdemes-e sok ráfordítással modell-, ill. anyagvizsgálat jelleggel, tartós feszültségállósági vizsgálatokat kidolgozni és végezni? Miért nem próbálják ki a kérdéses anyagokat kész kábelszigetelésé feldolgozva?

Erre a kérdésre a választ a kísérleti kábelek gyártásának és próbájának igen magas költségei adják meg (bár ezt a fázist csak részben lehet átlépni, és csak akkor, ha az anyagvizsgálat során a variánsok már nagymértékben szelektálódtak). Ezt bizonyítja a nemzetközi gyakorlat, a modellvizsgálatok kiterjedt irodalma és a CIGRÉ 15.06 sz. munkabizottsága keretében külön e feladattal foglalkozó munkacsoport működése is.

2. Csúcs—sík típusú szigetelésmodell

A csúcs—sík típusú szigetelésmodell (röviden csúcs—sík próbatesszt) vázlatos képe a 25-1. ábrán látható. A csúcsot kúpos sülyeszték alkotja, amelynek felülete vezető bevonattal van ellátva: kontaktálva. Hasonló módon van kontaktálva a csúccsal szembeni felület. A csúcs hegyének lekerekítési sugara $r = 0,12$ mm, a névle-



25-1. ábra. Csúcs—sík próbatesszt

ges csúcs – sík elektródtávolság 1 mm. Az ilyen mérsékelt inhomogenitást megvalósító elektródelrendezést Feichtmayr és Würstlin [11] ajánlása alapján tekintjük a valóság és az anyagvizsgálati szempontok alkalmas összeegyeztetésének.

A 25-1. ábrán látható próbatest tehát kúpos süllyesztéket tartalmazó műanyag idomból és megfelelő vezető bevonatból (kontaktusból) áll.

Már itt kiemeljük, hogy az 1 mm-es csúcs – sík elektródközben levő anyagot tekintjük a vizsgálat, vagyis a tartós villamos igénybevétel tulajdonképpeni tárgyának, míg a PE-idom többi része csupán másodlagos jelentőségű.

2.1 Próbatestkészítés

A csúcs – sík típusú próbatestek tömeges készítése szigorú technológia kidolgozását és megtartását kívánja. Mivel a hőre lágyuló műanyagok tulajdonságai jórészt a technológiától függenek, nem közömbös, hogy milyen az alakítás módja. A műanyagtechnológiában elérhető tűrések és a feszültségállósági vizsgálatok megkívánta szigorúbb tűrések ellentmondásban vannak. Ennek számunkra eddig lehetséges, kompromisszumos megoldása az volt, hogy a próbatestek kritikus méretét (csúcs – sík elektródtávolság) egyedileg ellenőriztük és az élettartamadatokat is egyedileg tartottuk nyilván. Így, átszámítással, egységes alapon lehet az adatokat feldolgozni.

A próbatestkészítés a következő lépésekből áll:

- a PE-idom kialakítása, aminek során előbb extrudált rétegekből építjük fel a próbatestet, majd a rétegeket melegen sajtolva egyesítjük;
- méretellenőrzés, amelynek során a kúpos süllyeszték mélységét, tehát közvetve a csúcs – sík elektródtávolságot mérjük meg;
- kontaktálás, ami abból áll, hogy a próbatest kúpos süllyesztékének felületét és a vele szemközti sík felületet fémgőzölés segítségével vezető alumínium réteggel látjuk el, majd a kúpos süllyesztéket még Wood-fémmel is kítöltjük.

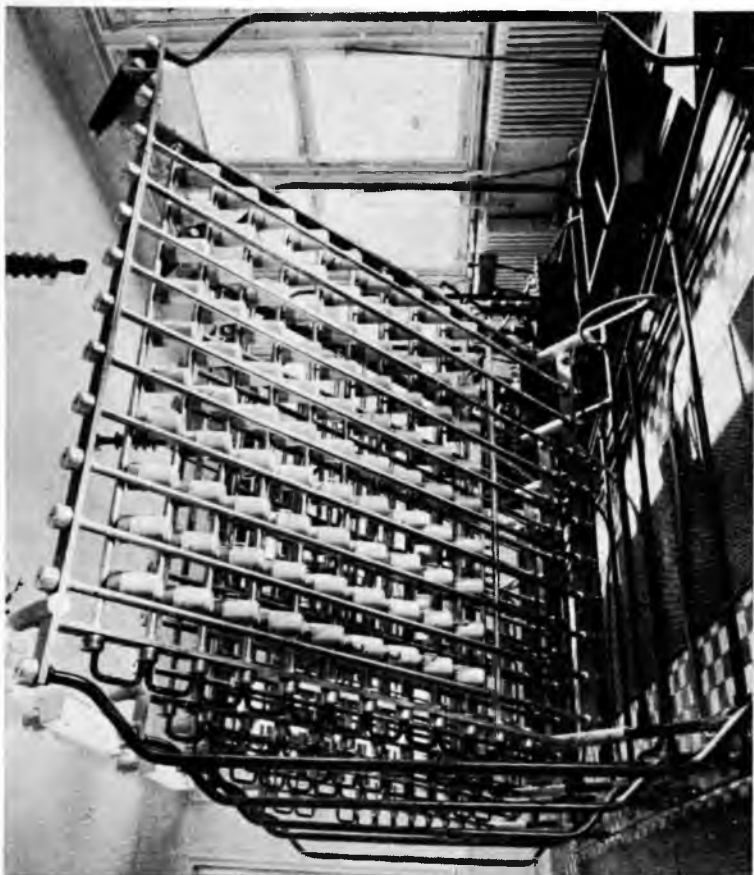
2.2 Próbatestvizsgálat

Elektródszerkezet (befogó)

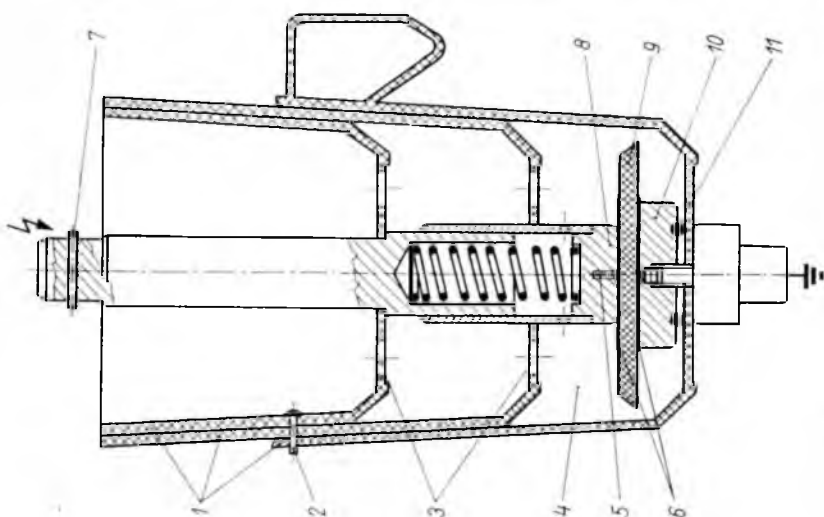
A próbatestek előállítási módszerének kidolgozásánál a megoldandó problémák a próbatestek nagy számából erednek, aminél a laboratóriumi szintről a tömeges készítésre áttérve, megőrzendő a lehető legnagyobb szigorúság. A tartós feszültségállósági vizsgálatnál ugyanez a helyzet. A próbatesteket tömegesen és egyidejűleg elektródok közé kell helyezni, reprodukálhatóan, könnyen kezelhetően és folyékony közegbe meríthetően is. Ezt a célt szolgálja a 25-2. ábrán bemutatott elektródszerkezet. Az egyes alkatrészek rendeltetését az ábrán is feltüntettük. Az elektród – mintabefogó szerkezet műanyag palásttal védett. Ezáltal az elektród – próbatest-befogó szerkezet egyrészt precíziós konstrukciója folytán a próbatest definiált és reprodukálható igénybevételét biztosítja, másrészt robusztus kivitelével az elektródtér védelmét és a próbatestek biztonságos, félüzemi körülmények közötti, tömeges kezelését is lehetővé teszi.

Nagyfeszültségű laboratórium és berendezései a tartós feszültségállóság meghatározásához

A villamos igénybevétel tömeges megvalósítása is a félüzemi szint problémája. A több száz minta (szigetelésmodell) nagyfeszültségű igénybevételét — az előljáróban kifejlesztett szempontok szerint — kívánatos megvalósítani. Ezt a feladatot a 25-3. ábrán



25-3. ábra. Nagyfeszültségű öregítő állvány



25-2. ábra. Elektroszerkezet metszeti rajza

1 műanyag palást; 2 bajonettzár; 3 lélegzőnyílások; 4 olajjal el-
 árasztható tér; 5 kontaktlőrugó; 7 bajonettcsatlakozó az öregítő-
 kocsihoz; 8 nagyfeszültségű elektród rugóterheléssel; 9 PE próba-
 test; 10 földelt elektród; 11 tomitás

látható állványokkal oldottuk meg. Látható a képen a csőhálózat, amely a villamos csatlakozásokat 50 kV-ig koronakisülés nélkül valósítja meg. A gördíthető kivétel, valamint a kocsik egymásba tolható megoldása a férőhely jó kihasználását és a kihasználás megkönnyítését szolgálja.

Egy kocsi egy adott feszültségen üzemeltethető, de a kocsik külön-külön, egyidejűleg más-más feszültség szinten használhatók. A kocsik lényegében két párhuzamos, sík rácsból állnak, amelyek közül a felülso a nagyfeszültségű, az alulso a földpotenciálon levő. Az egyes síkok egymással párhuzamos, vékonyfalú alumínium csövekből készültek, megfelelő szigetelő tartókeret és felfüggesztés által rögzítve. A próbatesteket befogó elektródszerkezetek a két, eltérő potenciálon levő rács közé vannak csatlakoztatva.

Csúcs—sík próbatestek átütésig mért élettartama, a tartós feszültségigénybevétel megvalósítása

Az előzőkben már ismertetett módon négy különböző anyagból készítettünk csúcs—sík próbatesteket. Ezek háromféle PE (úgy mint: kétfajta normál, NPE, egy feszültségre stabilizált, VSPE) és egyféle polipropilén, PP.

Az azonos körülmények között készült próbatestek mindegyikének 0,01 mm pontossággal ismertük a csúcs—sík távolságát, amely alapvető méret ingadozását később, az élettartamok kiértékelésénél, korrekcióval vettük figyelembe.

Anyagfajtánként és feszültség szintenként egyidejűleg 15...50 próbatestet öregítettünk (összesen 490 próbatestet), 50 Hz-es váltakozófeszültséggel. A feszültség effektív értéke egyugyanazon próbatestre nézve rögzített, állandó érték. A próbatestek egyedi élettartamát mértük, ami a feszültségigénybevétel kezdetétől az adott próbatest átütéséig eltelt idő.

A tartós feszültségállósági mérés eredményei, élettartam adatok

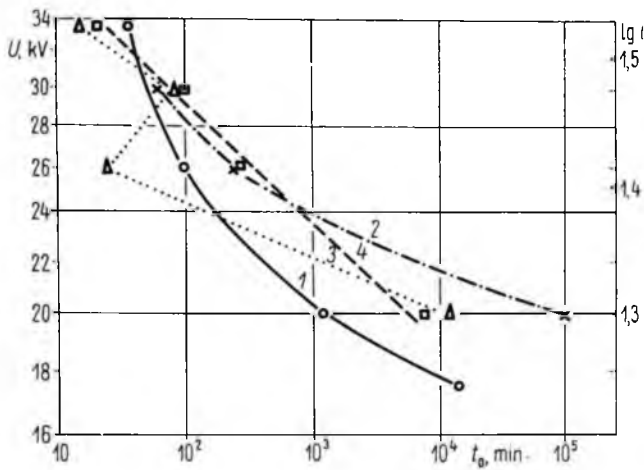
A próbatestek várható élettartamát a Weibull-féle eloszlás alapján határoztuk meg. A 25-4. ábrán log—log skálán látható a próbatestek 63%-ának kieséséhez szükséges t_0 idő az öregítőfeszültség effektív értékének függvényében, négy különböző anyag esetén.

A 25-4. ábra alapján megállapítható, hogy a próbatesteken megvalósított villamos igénybevétellel szemben az NPE típusú import PE a legkevésbé ellenálló, a VSPE típusú import PE pedig a legstabilabb. Ez az elkülönülés azonban csak a hosszabb élettartamoknál, 100 min felett válik határozottá. Rövid idejű átütésvizsgálatokkal nem is határozható meg az a különbség, amely pedig éppen az üzemi körülmények között, a szigetelés élettartama szempontjából döntő jelentőségű.

A 25-3. élettartamgörbe törése a hazai NPE típusú polietilén egyelőre tisztázatlan viselkedésére utal. Igaz ugyan, hogy kisebb feszültségen a próbatestek élettartama meghaladja az import NPE típusú próbatestek élettartamát, de nem hagyható figyelmen kívül, hogy az egyidejűleg öregített próbatestek jelentős része (16...30%-a) az elektródszéleknél részletörést mutatott. A korán jelentkező részletörés-csatornák hamarabb hatoltak át az 5 mm vastag anyagon, mint amennyi idő az 1 mm-es csúcs—sík elektródköz átütéséhez kellett. A többi anyagnál ilyen jelenség csak elvétve fordult elő. (Átlagosan a próbatestek 4%-ánál.)

A 25-4. élettartamegyenes azt mutatja, hogy a PP feszültségállósága jól jellemezhető, megbízható extrapolálásra látszik lehetőség és egységes romlási mechanizmusra lehet következtetni.

A felsorolt élettartamgörbék közös vonása, hogy igen kis meredekségűek, azaz a feszültség —, és ezzel kényszerkapcsolatban — a villamos térerősség kismértékű



25-4. ábra. Csúcs—sík próbatetek élettartama átütésig különböző feszültségeken

- Weibull 63,2%
- NPE import
- × VSPÉ
- △ NPE hazai
- PP

növekedése nagy élettartam-csökkenést eredményez. (20% térerősség-növekedés 1–2 nagyságrend élettartam-csökkenést okoz!) Ez szigorú követelményeket támaszt mind az erősáramú kábelek, mind a próbatetek gyártástechnológiájával szemben. A kábelek gyártásakor szennyezésként bekerülő, eltérő permittivitású idegen anyag, zárvány, helyi térerősség-növekedéshez és így jelentős „helyi élettartam” csökkenéshez vezethet. Az itt bekövetkező helyi villamos letörés az egész kábel korai meghibásodását okozza. A próbatetek oldaláról nézve pedig azt jelenti, hogy az elektródtávolságok csak igen kis mértékben szórhatnak. Mert ha pl. 1 mm névleges távolság helyett a csúcs—sík tényleges távolsága 1,05 mm, ez azonos feszültségre kapcsolt kb. 0,1 mm-es csúcs—rádusz esetében a térerősséget a névleges értékhez képest 1,7%-kal csökkenti. Mindez a próbatest élettartamát a névleges adatok alapján várható élettartam 1,6...2,7-szeresére növeli, feltételezve, hogy az élettartam-feszültség-görbe meredeksége 10 és 20 közötti érték.

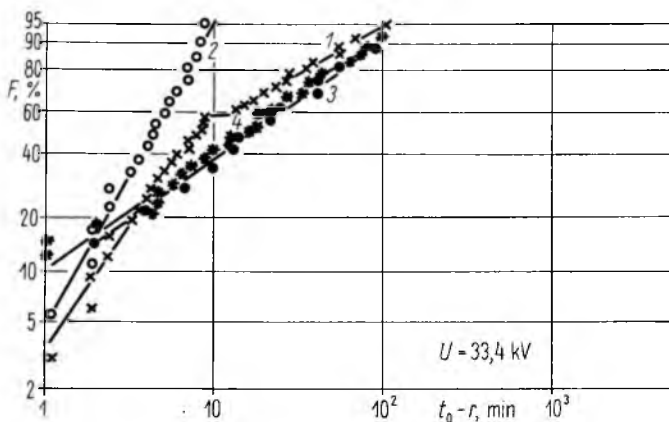
Mivel a hőre lágyuló műanyagok zsugorodásának statisztikus összetevője, és általában, a műanyagtechnológia jelenlegi állása miatt a vázolt szigorú követelményeket nem tudjuk kielégíteni, ezért a próbatesteket nem tekinthetjük egyenértékűeknek. A próbatesteket tehát egyedileg kell kezelni, meg kell mérni a tényleges egyedi élettartamokat. Az egyedi élettartamokat azután az elektródtávolság ismeretében át lehet számítani valamely névleges elektródtávolsághoz rendelt élettartamra, a statisztikus kiértékeléshez szükséges egységesítés céljából.

3. Romlási mechanizmus kutatása, hazai és import PE összehasonlítása

Tekintettel az importkiváltás időszerű irányzatára, megkíséreltük a hazai és külföldi PE típusoknak a 25-4. ábrabelinél jobb összehasonlítását. Erre a célra szerkesztettük meg a 25-5. ábrát, ahol a függőleges tengelyre a kiesett próbateteknek az összes pró-

batesthez viszonyított százalékos arányát, a vízszintes tengelyre pedig az egyes próbatetek (névleges elektródtávolságra korrigált) t_0 élettartamát vittük föl.

A 25-5. ábrabeli 1 görbe pontjai NPE típusú hazai PE fajtából készült próbatetek élettartam-eloszlását adják meg, 33,4 kV-on. Szembetűnő, hogy az eloszlásfüggvény 10 min tájékán megtörik; a kezdeti meredek szakaszt laposabb szakasz váltja fel. Feltéve, hogy az eltérő meredekségű szakaszok eltérő romlási mechanizmusokat tükröznek, a próbatesteket két csoportra választhatjuk. Az első csoport a



25-5. ábra. Csúcs—sík próbatetek élettartam-eloszlása

Weibull-eloszlásfüggvény

NPE hazai	×	1	γ , min
	○	2	0
NPE import	■	3	13
	*	4	12

10 min-nál rövidebb, a második pedig a 10 min-nál hosszabb élettartamú próbatetekből áll. Az egyes próbatestcsoportokat mint független statisztikai sokaságokat kezelve, külön-külön ábrázolható az élettartamok eloszlásfüggvénye. A 10 min-nál rövidebb élettartamok csoportjához a 2 eloszlásfüggvény, a 10 min-nál hosszabb élettartamok csoportjához pedig a 3 eloszlásfüggvény rendelhető.

A 10 min-nál hosszabb élettartamú csoport eloszlásfüggvényének ábrázolásánál nem közvetlenül a t_0 élettartamokat, hanem azoknak a Weibull-statisztika szerint csökkentett $t_0 - \gamma$ értékeit ábráztuk, ahol a γ -val jelölt Weibull-paraméter 13 min értéke tapasztalati úton adódott; ezáltal egyenesedett ki az eloszlásfüggvény képe a Weibull-papíron. Emögött az a fizikai értelem húzódik meg, hogy 33,4 kV hatására a második romlási mechanizmus csak 13 min elteltével kezd dominálni.

A 25-5. ábrabeli 4 egyenes a külföldi eredetű import NPE-ből készült próbatetek élettartam-eloszlásfüggvénye, szintén 33,4 kV-on. A γ értéke ennél az anyagnál 12 minnak adódott. Szembetűnő, hogy a 3 és a 4 eloszlásfüggvény csaknem teljesen azonos. Ez arra enged következtetni, hogy az import NPE-ben gyakorlatilag egyetlen romlási mechanizmus érvényesült, és ez igen közel áll a hazai NPE lassúbb romlásához tartozó mechanizmushoz.

A különböző poliolefin-típusok próbatetekkel való összehasonlítására az élettartam adatok fenti megjelenítése célszerűnek látszik, mert talán mélyebb bepillantást enged az anyag feszültségállóságába és nincs kizárva, hogy a jövőben ily módon is

kimutatható valamely ajánlott vagy fejlesztési eredményként jelentkező hazai PE szigeteléstechnikai alkalmazás szempontjából mértékadó tulajdonsága.

Köszönetünket fejezzük ki a Magyar Kábel Műveknek, mivel lehetővé tette számunkra a poliolefin szigetelőanyagok tartós feszültségállósági vizsgálatát.

Irodalom

- [1] *Spurr, O. K. et al.*: Treeing a PE szigetelésű erősáramú kábelekből: *Underground Engineering* (1972), 17.
- [2] *Delektorskij, G. P.*: Polietilén szigetelés átütésének egyes törvényszerűségeiről. *Elektricseszto* 11 (1961), 73.
- [3] *Müller, K.-B.*: Teilentladungen bei hohen Gleichspannungen in extrudiertem PE. *ETZ-A* 93 (1972) 3, 153.
- [4] *Kurtz, M.*: Elágazó kisülési csatornák a PE kábelszigetelésben. *Ontario Hydro Research Quarterly* (1972) 1, 19.
- [5] *Böttger, O.*: Langzeitdurchschlagverhalten von PE an Kabeln. *Bull. SEV* 64 (1973) 3, 143.
- [6] *Heinemann, H. J.*: Entwicklung, Prüfung und Einsatz von 110 kV-Kunststoffkabeln. *ETZ-A* 91 (1970) 3, 149.
- [7] *Charoy, M. A. et al.*: Very high tension cables with extruded PE insulation: *IEEE, PAS* 90 (1971) 2, 777.
- [8] *Wanser, G. et al.*: Cigré 1972 — Aktuelle Kabelfragen auf der Internationalen Hochspannungskonferenz. *Elektrizitätswirtschaft* 71 (1972) 26, 771.
- [9] *Geis, H. et al.*: Voraussetzungen für die Herstellung PE — isolierter Hochspannungskabel: *ETZ-B* 20 (1968) 11, 301.
- [10] *Feichtmayr, et al.*: PE als Hochspannungsisolierstoff für Energiekabel. *Bull. SEV* 61 (1970) 2, 64.

26.

Kémiaailag térhálósítható polietilén kompaundok fröccsöntése és tágitása

VIZÉR MÁTYÁS

ÖSSZEFOGLALÁS

A polietilén (PE) és a térhálósított polietilén (TPE) kiváló villamos tulajdonságaik miatt különleges helyet foglalnak el a kábeliparban.

A TPE kedvező tulajdonságainak eléréséhez megfelelő összetételű alapanyag és ezzel az anyaggal összehangolt szerszám, valamint feldolgozástechnológia szükséges.

Eddigi eredményeink, a szerszámtervezésnél és a technológiák kialakításánál szerzett tapasztalataink feljogosítanak arra a reményre, hogy az INTERELEKTRO-n belül elsőként valósítjuk meg a kábelszerelvények TPE-ből való gyártásának gazdaságos lehetőségét. A térhálósított polietilén kedvező tulajdonságainak eléréséhez megfelelő összetételű alapanyag és ezzel az anyaggal összehangolt szerszám- valamint feldolgozástechnológia szükséges.

ШПРИЦЕВАНИЕ И РАСШИРЕНИЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ КОМПАУНДОВ, СШИВАЕМЫХ ХИМИЧЕСКИМ ПУТЕМ

М. Визер

Резюме

Полиэтилен (ПЭ) и шитый полиэтилен (СПЭ), благодаря их хорошим электрическим свойствам занимают особое место в кабельной промышленности.

Результаты, достигнутые нами до сих пор, и опыты в области проектирования инструментов и разработки технологий позволяют нам надеяться, что в рамках Интерэлектро впервые у нас реализуется возможность экономного производства кабельных арматур из СПЭ. Этому поможет производство шитых ПЭ компаундов в рамках отечественной полиолефиновой программы. Для того, чтобы достичь хорошие свойства шитого полиэтилена необходимо применить исходный материал со соответствующим составом и также шприцформу согласованной с материалом и подходящую технологию.

SPRITZGIESSEN UND ERWEITERUNG VON CHEMISCH VERNETZBAREN PE-KOMPAUNDEN

М. Vizér

Zusammenfassung

Das Polyäthylene (PE) und das vernetzte Polyäthylene (TPE) nehmen wegen ihrer ausgezeichneten elektrischen Eigenschaften eine besondere Stelle ein. Um die günstigen Eigenschaften des TPE zu erreichen, werden ein Grundstoff entsprechender Zusammensetzung und ein mit diesem Stoff zusammengestimmtes Werkzeug, sowie Verarbeitungstechnologie gebraucht.

Unsere bisherigen Ergebnisse und unsere bei dem Werkzeugentwurf und der Ausbildung der Technologien gewonnenen Erfahrungen berechtigen uns auf die Hoffnung, dass wir innerhalb von INTERELEKTRO als erste die ökonomische Möglichkeit der Herstellung aus TPE bei den Kabelgarnituren verwirklichen.

INJECTION MOULDING AND EXPANSION OF PE-COMPOUNDS TO BE CROSS-LINKED CHEMICALLY

By M. Vizér

Summary

The polyethylene (PE) and the cross-linked polyethylene (TPE) take a special place in the cable industry because of their excellent electrical properties.

In order to achieve the favourable properties of the TPE a basic material of suitable composition and a tool combined with this material as well as a processing technology are needed.

Our results achieved up-to-now, our experiences obtained in the tool design and in forming of technologies entitle us to hope that we are the first to realize the economic production possibility of the cable fittings from TPE within the scope of INTERELEKTRO. This is promoted by the production of the cross-linked PE compounds within the scope of the home polyolefine programme, too.

1. Bevezetés

A műanyagok elterjedésével került előtérbe az a műszakilag és gazdaságilag indokolt kívánalom, hogy egyre több felhasználási területen igazolják a gyártók a műanyagok alkalmazhatóságát, sőt előnyét. A fejlesztés és kutatás eleve két fő irányt tűzött ki: egyrészt új alapanyagok szintézisét, másrészt a már ismertek tulajdonságainak a javítását.

A hőre lágyuló műanyagok területén ez a nagy felkészültséget és anyagi áldozatokat kívánó kutatómunka néhány évtized alatt egész sor új, ma már közzismert anyaggal gazdagította az ipar minden ágát, különösképpen a villamosipart. Kopolimerizációval és modifikáló adalékokkal a már ismert alapanyagok egyik-másik kedvezőtlen tulajdonságát változtatták meg tudatosan és előnyösen; besugárással, illetve kémiai módszerekkel térhálósított termoplasztokkal pedig olyan hibrideket állítottak elő, amelyek a hőre lágyulók és a hőre keményedők között foglalnak helyet.

Az USA-ban az 1950-es évek elején szabadalmaztatott térhálósító eljárás gyakorlatilag a polietilénnek (PE) nagy sebességű elektronokkal való besugárással alapult. 10 évvel később a Villamosipari Kutató Intézet (VKI) is végzett sikeres kísérletsorozatot a Műanyag alapú szigetelőanyagok sugáráskémiaja c. témában. Ennek során főleg PE fóliák szerkezetváltozását vizsgálták 10...40 Mr sugárdózis adagolása után és megállapították, hogy a besugárással a lineáris PE 50...70%-át térhálósítottá alakította. Ezt az eljárást a Műanyagipari Kutató Intézet fejlesztette tovább és eredményei tették lehetővé napjainkban az ipari bevezetést.

A PE kémiai térhálósításának kidolgozása évekig váratott magára, bár az eljárás lényege a gumiiparban alkalmazott vulkanizálás révén ismert volt. A besugárással elért sikerek és az a téves feltételezés, hogy a PE kémiai térhálósítása a molekulán belüli stabilitás miatt vagy egyáltalán nem, vagy csak nagy nehézségek árán oldható meg, késleltették a láncok közti reakciólehetőség tisztázását és ennek következményeként a megfelelő térhálósító komponensek kiválasztását, a szerszámkialakítás szem-

pontjait, a feldolgozástechnológia meghatározását, valamint a segéd- és töltőanyagok szerepének vizsgálatát.

A kezdeti megtorpanást fellendülés követte. Elsősorban a kábelipar érdeklődése hatott kedvezően az alapanyaggyártás mennyiségi és minőségi növekedésére. Tisztázódott a besugárzásos eljárás mellett a kémiai térhálósítás létjogosultsága is. Ennek hazai elősegítője a Magyar Kábel Művek, majd a Villamosszigetelő és Műanyaggyár megbízásából a VKI volt. Intézetünk 1972 óta folytat kutatásokat az alapanyag kiválasztásában, a feldolgozószerszám tervezésében, a fröccsöntési technológia kialakításában és a tömeggyártásra alkalmas paraméterek meghatározásában, a tágítási és zsugorítási eljárások összehasonlításában és a termékvizsgálatok egységesítésében.

A nemzetközi együttműködés, az ipar növekvő érdeklődése, a PE szigetelésű kábelek gyártása, az 1978. év végén meginduló, nagy szériában gyártásra kerülő, zsugorítható PE kábelszerelvények gazdaságos előállítása és nem utolsósorban a hazai alapanyag kifejlesztésében elért sikerek egyaránt indokolják, hogy öt éven át összegyűjtött tapasztalatainkat — a szakirodalomban közölt külföldi eredmények ismeretében — röviden összegezzük, annak előrebocsátásával, hogy a kémiailag térhálósítható PE kompaundok megismerése még tart, a fehér foltok felderítése napjainkban is folyik a kutatóintézetek és vállalatok laboratóriumaiban egyaránt.

2. A térhálósítható PE felépítése

Mindenekelőtt fel kell sorolnunk azokat az előnyöket, amelyek indokoltá tették a térhálós PE (TPE) kifejlesztését. Már itt fel kell hívnunk a figyelmet arra, hogy csak a tulajdonságok változásának tendenciáját ismertetjük, mert azok mértéke — azonos minőségű PE alapanyag esetében is — nagymértékben függ a térhálót kialakító oldalkötések számától és eloszlásától, valamint a töltőanyag típusától és mennyiségétől is. A TPE

- ütő—hajlító szilárdsága az alacsonyabb hőmérsékleten, szakítószilárdsága pedig a magasabb hőmérsékleten lényegesen kisebb mértékben csökken;
- hidegfolyása jelentéktelen;
- fokozottan ellenáll szerves oldószereknek;
- feszültségkorróziómentes és
- öregedésállóbb.

Ilyen kedvező tulajdonságok eléréséhez megfelelő összetételű alapanyag, gondosan kialakított feldolgozószerszám, szabályozható és vezérelhető fröccsöntőgép és mindezekkel összehangolt gyártástechnológia szükséges.

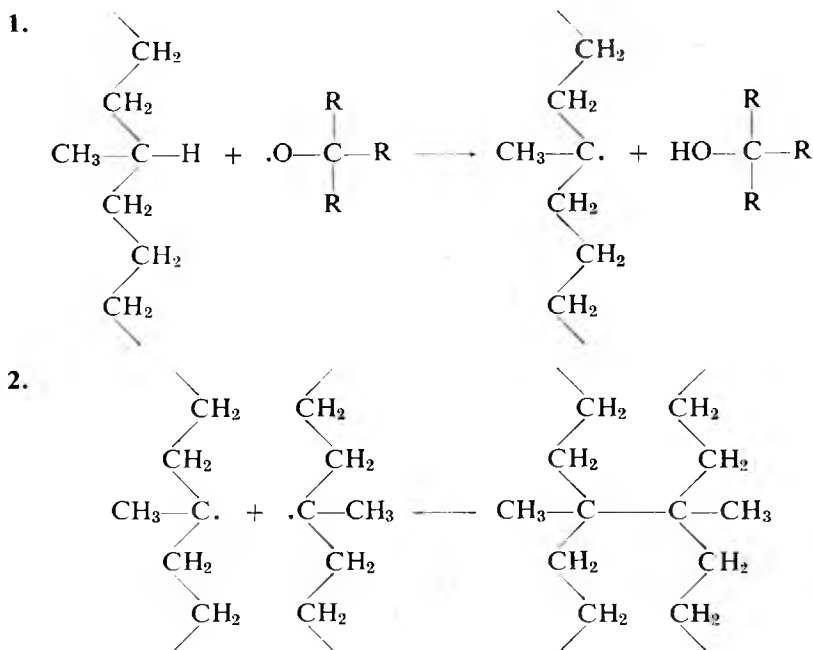
2.1 Polietilén

Elvileg bármilyen eljárással készült PE vagy kopolimerje alkalmas a térhálósításra. A nagynyomású, gyökös polimerizációval készült PE szerkezetében oldalelágazások — főleg metilcsoportok — vannak, és ezek egyrészt kinetikailag elősegítik a gyökképződés mechanizmusát, másrészt szterikusan gátolják az oldalláncok kialakítását. E típusú PE-nek kristályossági foka kisebb lévén, kisebb hőmérsékleten — gyakorlatilag 110 °C alatt — olvadnak meg és rugalmasabbak. Mivel a térhálós szerkezetet kialakító peroxidok bomlási hőmérséklete 130 °C körül van, ezért általában — a feldolgozás megkönnyítése érdekében is — a nagynyomású, kis sűrűségű PE-t részesítik előnyben a kisnyomású, nagy sűrűségű, illetve a Phillips-eljárással előállított PE-nel szemben.

A PE és vinilacetát, valamint PE és akrilát kopolimerjei is gyakran választott alapanyagok. A kémiai tisztaságon kívül más követelményt a PE komponenssel szemben nem támasztanak. Annál többet a szerves peroxidot illetően.

2.2 Peroxid

Ahhoz, hogy a lineáris szerkezetű PE molekulák között háromdimenziós szerkezet alakulhasson ki, gyökképző komponenst kell a kompaundba bevinni. Ezek speciális szerves peroxidok, mint pl. 1,3-bis(terc-butilperoxi)-izopropil-benzol, di-terc-butilperoxid, 2,5-dimetil-2,5-di(terc-butilperoxid)hexán, amelyek hő hatására oxigyökökre bomlanak, a legkisebb kötésienergiával rendelkező pontokon megtámadják a PE molekulát és H-atomot vonva el, gyökkhelyeket alakítanak ki azon. Ezek a gyökkhelyeken C—C kötésekkel jön létre a háromdimenziós, hálós szerkezet. Sematikusan:



Ezt a főfolyamatot számos mellékreakció kíséri. A láncmolekulán a gyökkhely is vándorolhat, és így nem csak az elágazásoknál jöhetnek létre hidak. A peroxidnak döntő szerepe van a szerkezet átalakításában. Hogy aktív gyökök csak a fröccsöntés adott szakaszában keletkezzenek, valamint a melléktermékek a feldolgozás során el is távozzanak a peroxid bomlása csak a saját és a PE olvadáspontja felett következhet be, mert ez feltétele az alapanyagba való bekeverhetőségének: oxigyökökre való bomlása a PE feldolgozási hőmérsékletén hevesen, maradéktalanul vagy illékony melléktermékek keletkezése mellett kell történjen; bomlási mechanizmusa nem függhet a környezet pH-értékétől és nem lehet mérgező, robbanásveszélyes, a tárolási körülmények között illékony.

A sémából és a felsorolásból egyöntetűen kitűnik a PE—peroxid rendszer hibrid volta: a peroxid bomlása előtt a TPE jellegzetesen plasztomer, a bomlás után elasz-

toomerhez hasonló. Ezt az egymást követő, szerkezetváltozással együttjáró átalakulást a közölt hő mennyiségével és a hőközlés sebességével irányíthatjuk. A megfelelő térhálósító anyagok száma igen kevés, ha figyelembe vesszük a PE olvadási és folyási tulajdonságainak alakulását a feldolgozás során. A választék tovább csökken, ha a kiindulási alapanyag közepes vagy kisnyomású PE. Így érthető, hogy a peroxid optimális mennyiségének meghatározása lényeges és sürgős feladat volt. Eredményként elfogadhatjuk, hogy a PE-re számított mennyisége 3...5%-nak adódott, amelyben a levegőtől elzárt alapanyagot zárt feldolgozási rendszerben folyamatosan felhasználják.

2.3 Antioxidáns

Térhálósítással a PE alaktartósága 100 °C felett is biztosítható, de ilyen hőmérsékleten az egyébként lassú oxidációs folyamat rendkívül felgyorsul. Ennek eredménye feltehetően a molekulák széttördelődése, ami makroméretekben repedések keletkezésében és ennek következtében a vegyi ellenállás rohamos csökkenésében, valamint a dielektromos jellemzők nagymértékű leromlásában nyilvánul meg.

Az oxidáció másik fajtája, amit megkülönböztetésül fotooxidációnak is neveznek, az UV sugárzás következménye és — ellentétben a levegő oxigénje okozta oxidációval — éghajlati hőmérsékleten is nagyon gyors folyamat. A fotooxidáció megakadályozására legalkalmasabb anyag mai ismereteink szerint a korom.

A fotonok energiája már 1...2% koromtartalomnál hővé alakul át, és a lebomlás folyamata a megnövekedett hőtől felgyorsult, egyszerű oxidáció függvényévé válik. (A korom szerepére a későbbiekben még visszatérünk.) Ez ellen az oxidáció ellen antioxidáns adagolásával védekezhetünk. Mivel a PE-hez kevert szokásos antioxidánsok kisebb-nagyobb mértékben késleltetik ugyan a levegő oxigénjének öregítő hatását, de ugyanakkor gátolják a peroxidok térhálót kialakító funkcióját is, a térhálósodást kevésbé zavaró, de hatékony öregedésgátlókat (pl. merkaptobenzimidazol cink-sóját; 2,2,4-trimetil-2-dihidrokinolint vagy nikkel-dibutil-ditiokarbamatot) kevernek 0,5...1,0% mennyiségben a PE-be.

2.4 Aktivátor

Robinson, Marra és Amberg [1] a térhálósítási sebesség és hatékonyság növelésére a peroxid mellé kis mennyiségben két kettős kötéssel rendelkező anyag, pl. allilmetakrilát vagy etilén-glikol-dimetakrilát alkalmazását ajánlják. Wolfe, Roche és Newman [2] kimutatták, hogy a PE peroxidos térhálósítását az egyetlen kettős kötést tartalmazó vegyületek, pl. a vinil-trietoxi-szilán is meggyorsítják. Szovjet kutatók kísérletsorozatban igazolták, hogy az aktivátorok halmazállapota — feltehetően kristályosodási göcök kialakulásában, ill. átrendeződésében való részvételük miatt — mérhetően befolyásolja a térhálósított termék néhány fizikai tulajdonságát. A hazai alapanyaggyártás kísérleti fázisában várhatóan erre a kérdésre is feleletet kapunk.

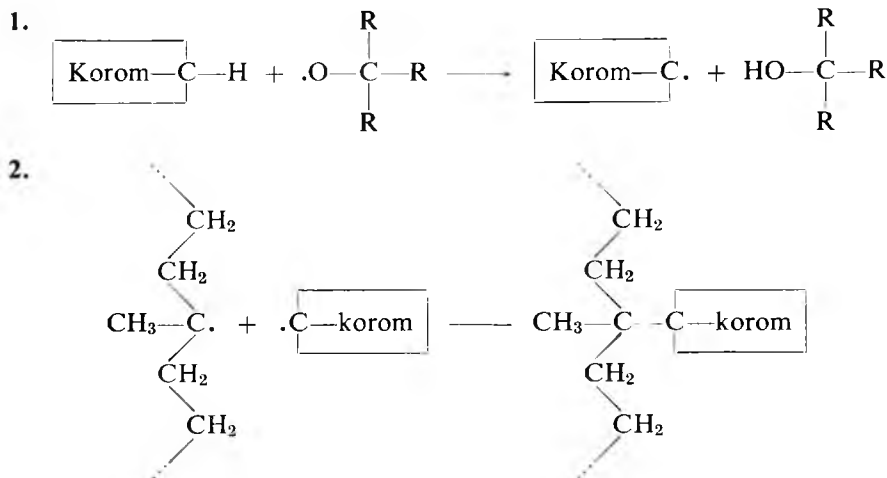
2.5 Töltőanyag

A töltőanyaggal kevert PE elridegedik, többnyire könnyen morzszálódó, hasznavehetetlen terméket eredményez. Ezzel szemben a TPE-be kevert speciális minőségű korom — mint a számításba jövő töltőanyagok egyike — sok feladatot tölt be. Nevezetesen:

- 1...3% mennyiségben meggátolja a fotooxidációt, amint erről már említett tettünk;

- 30...40%-os adagolásban félvezetővé teszi a TPE-t;
- megkönnyíti a feldolgozást, és
- beépülve a térhálós szerkezetbe, javítja a termék öregedés- és kopásállóságát, valamint termikus alaktartóságát, de rontja a fagyállóságot és a villamos tulajdonságokat.

Danneberg és munkatársai [3] mutatták ki először, hogy az aktív koromnál is ugyanúgy megvan a gyökképződés lehetősége, mint a PE-nél, és a két anyagnál a gyökök kombinációja a korom beépülését eredményezi a TPE térszerkezetébe. Vázlatosan:



A félvezető TPE-nél felhasznált speciális acetilénkorom olyan kis szemcseméretű és egyenletes szemcseeloszlású, hogy 30...40 súly% mennyiségben a termék rezisztivitását 20 °C-on mérve 10 Ωcm nagyságrendűvé csökkenti.

A színezhetőség érdekében 1...5 μm nagyságú kalcinált kaolint is alkalmaznak töltőanyagként. Ennek mennyisége általában nem lépi túl az 50%-ot. Felhasználása fotooxidációs problémák és ára miatt korlátozott.

3. A térhálósítható PE fröccsöntése

3.1 Feldolgozógép

A térhálósítható PE feldolgozására minden olyan műanyagfröccsöntő gép alkalmas, amelynek érzékeny és megbízható a hőmérséklet-szabályozása. Az alapanyag hibrid tulajdonsága itt a legszembetűnőbb, amennyiben a gép csigahengerében — a peroxid bomlási hőmérséklete alatt megolvastva — lineáris PE-ként viselkedik.

3.2 Feldolgozószerszám

A térhálósodási és a formaadási folyamat a szerszámban játszódik le. Ez az alapanyagnak meglehetősen bonyolult viszkozitásváltozását jelenti. A megolvadt PE a csigahengertől a fúvókán keresztül — nyomás alatt — a 180...210 °C-os szerszám be-

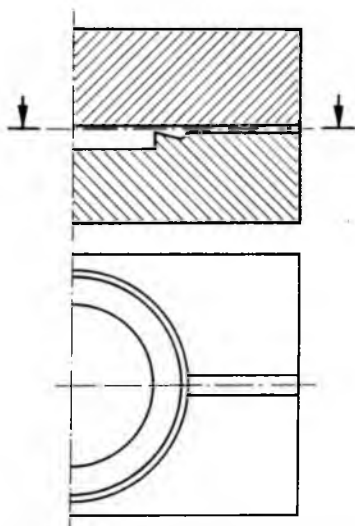
ömlőcsatornájába kerül. Ezen a hőmérsékleten a PE viszkozitása nagymértékben lecsökken, de ezzel egyidőben — a peroxidbomlás következtében — megindul a térhálós szerkezet kialakulása, a viszkozitás gyors növekedése is. Ezt a folyamatot a kialakítandó darab geometriájától és az alkalmazott alapanyag tulajdonságaitól függően olyan technológiával kell szabályozni, hogy a térhálósodás akkor váljék pillanatszerűvé, amikor a folyékony PE hiánytalanul kitöltötte a szerszámüreget és áramlása megszűnt.

A szerszám tervezésekor figyelembe kell venni, hogy

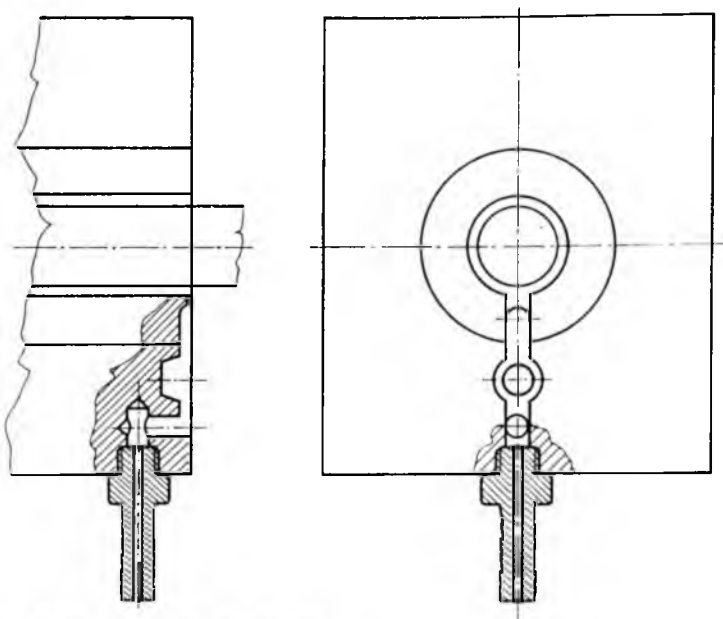
- a szerszámüregek és az ezt körülvevő héjnak lehetőleg azonos és ingadozásmentes hőmérsékletet kell biztosítanunk;
- az alacsony viszkozitású anyag, a még lineáris PE, ne szökhesse meg az illesztéseknél;
- a szerszámüregben levő levegő és a térhálósodás során keletkező illékony melléktermékek maradéktalanul eltávozhatnak;
- a várható formaszugorodás 5...6% és
- a térhálósodás hőmérséklete 170...210 °C.

A szerszám fűtését — történjék az akár cirkuláltatott olajjal, akár villamos árammal — több helyen és egymástól független módszerrel állandóan ellenőrizni kell. A szabályzott és vezérelt körön kívül célszerű higanyos hőmérőt is alkalmazni. A hővesztés csökkentésére a szerszámfelek és a fröccsöntőgép felfogólapjai közé hőszigetelést kell iktatni. A cserélhető patronfűtéssel megvalósított fűtőrendszer avval az előnnyel jár, hogy tetszés szerinti teljesítményű és egymástól független fűtőáramkörök alakíthatók ki. A jobb hővezetés elősegítésére berilliumbronzot is lehet használni szerkezeti anyagként.

A szerszám szellőztetésének megoldása a termék alakjától és a szerszám konstrukciós megoldásától függ, a fröccsöntött anyag összekapcsolási pontjának mindenkor figyelembevételével. Kisebb darabok fröccsöntésénél a körkörös és sugárirányú csatornák kombinációját találtuk megfelelőnek (26-1. ábra). Nagyobb vagy bonyolult



26-1. ábra. Szellőzőcsatorna-rendszer



26-2. ábra. Szerszám légtelenítése

formájú termék esetén célszerűbb a gumi fröccsöntésénél is alkalmazott vákuumozható szerszám megvalósítása (26-2. ábra).

A szellőzőrendszer megtervezésekor figyelembe kell venni, hogy a granulált TPE-alapanyag szemcseméretének különbözősége miatt kissé az adagsúly is változik. Az esetenkénti anyag többlet részben-egészben eláraszthatja a szellőzőcsatornákat és ott térhálósodhat, ezért minden szerszámnyitás után a csatornarendszert ki kell tisztítani. Ez viszont csak akkor lehetséges, ha könnyen hozzáférhető és az eltömődés hártávékony. Vákuum alkalmazása esetén feltétlenül anyagcsapdát kell kialakítani, azaz olyan szerkezeti üreget, amiben a levegővel együtt kiszívott anyag megreked.

3.3 Feldolgozástechnológia

Feltétlenül figyelembe kell venni, hogy a szerszámból deformáció nélkül kivehető TPE termék térhálósodási ideje hosszabb, mint a lineáris anyag dermedési ideje, ezért az előbbi fröccsöntése lényegesen tovább tart. A ciklusidőt a kívánt átlagos térhálósodási fok határozza meg.

A feldolgozás általános irányelvei:

- a csiga-henger és a benne áramló anyag hőmérséklete: max. 120 °C;
- a fröccsnyomás: 900...1100 kp/cm²;
- a szerszám hőmérséklete: 180...210 °C;
- a térhálósodás ideje: 60...180 s.

Peroxiddal térhálósítható PE-ből általában tagoltabb, vastagfalú és eredeti keresztmetszetének többszörösére feltágítandó idomokat fröccsöntenek. A termék a tágításnál és a későbbi visszazugorításnál fellépő mechanikai igénybevételt csak

abban az esetben képes elviselni, ha a térhálós szerkezet egyenletes, és ha az anyagban a gyártás során nem halmozódik fel nagy belső feszültség. Ennek két előfeltétele van: egyrészt a granulált kompaundban a peroxid homogén eloszlása, másrészt a közölt hő egyenletessége. Mindkét feltételt csak megközelítően tudjuk kielégíteni, de a megközelítés mértéke döntő a gyártási selejt mennyisége és a termék öregedésállósága szempontjából.

Mérésekkel igazoltuk, hogy a fröccsöntés során a szerszámban az anyag áramlására merőlegesen fellépő hőmérséklet-változás a térhálósodás fokában 8...12% eltérést okozhat. Ezt a különbséget a nem térhálósodott rész dekalinnal való kioldásával mutattuk ki. Ha a térhálósodási időt kétszeresére növeltük, a térhálósodási fok különbsége 3...5%-ra csökkent.

3.4 Tágítás

A fröccsöntéssel előállított üreges darabot, a 180...210 °C-ú szerszámból kivéve, át-mérőjének többszörösére tágítjuk. Ez történhet mechanikus vagy pneumatikus eljárással, esetleg a kettő kombinálásával. A pneumatikus tágítás előfeltétele, hogy a fel-



26-3. ábra. Zsugorítható esőterelő tányér
a) fröccsöntés után; b) tágítás után



26-4. ábra. Zsugorítható kábelvégelező
fröccsöntés után; tágitás előtt; tágitás után és szerelésre kész állapotban



26-5. ábra. Zsugorítható kábelvégelező
tágítás előtt; tágitás után és szerelésre kész állapotban

tágítandó termék ne hűljön le $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá, valamint, hogy homogén felépítésű legyen. A feltágított idom méreteit gyors lehűtéssel rögzítjük.

A fényképeken a Villamosipari Kutató Intézetben készült kábel szerelvények (zsugorítható esőterelő tányér, kábelvégelező és kábelelágazó) láthatók fröccsöntés, ill. tágitás után (26-3–26-5. ábra).

Irodalom

- [1] Robinson, A. E.—Marra, J. V.—Amberg, L. O.: Industr. and Engng. Chem. Prod. Res. Developm., 1, 70 (1962).
- [2] Wolfe, J. R.—Roche, I. D.—Newman, N. F.: Rubber World. 194., No. 2, 62 (1963); No. 6, 54 (1964).
- [3] Dannenberg, E. M.—Jordan, M. E.—Cole, H. M.: J. Polymer Sci. 31. (1958) S. 127.

27.

Újabb kutatási eredmények a tömör korund kerámiai anyagok területén

OLCHVÁRY GÉZÁNÉ

ÖSSZEFOGLALÁS

A tömör korund kerámiai anyagból előállított termékek jelentősége az ipar számos területén — így a villamosiparban is — egyre fokozottabb. Alkalmazását igen jó villamos szigetelőképesége, hővezető képessége, valamint nagy mechanikai szilárdsága indokolja. Gyártása azonban, részben a megfelelő minőségű alapanyagok viszonylag magas ára, részben az 1700 °C-ot meghaladó égetési hőmérséklet miatt igen költséges.

A cikk keretében ismertetjük a hazai timföldfelhasználással, az adalékanyagok alkalmas magválasztásával már 1600 °C-on tömörre égő, nagy korundtartalmú anyagunk kifejlesztésére irányult kísérleteink eredményeit.

НОВЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ПЛОТНЫХ КОРУНДОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Г. Олчвари

Резюме

Изделия из плотных корундовых керамических веществ в ряде отраслей промышленности имеют все более повышенные значения, в том числе и в электротехнической промышленности. Их применение обосновано хорошей электроизоляционной и теплопроводящей способностью и большой механической стойкостью. Однако их производство неэкономно из-за высокой стоимости исходных веществ соответствующего качества и высокой температуры обжигания — выше 1700 °C.

В рамках статьи изложены результаты, направленные на разработку материала, достигающего плотность при обжиге на 1600 °C, содержащего большого количества корунда, и изготовленного с применением отечественного глинозема и хорошо выбранных добавочных материалов.

NEUERE FORSCHUNGSERGEBNISSE AUF DEM GEBIET DER SINTERKORUND-KERAMIK

Frau G. Olchváry

Zusammenfassung

Die Bedeutung der aus Sinterkorund-Keramik hergestellten Produkte ist auf zahlreichen Gebieten der Industrie — so auch in der Elektroindustrie — immer grösser. Ihre Anwendung wird durch ihre sehr gute elektrische Isolationsfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit sowie durch ihre grosse mechanische Festigkeit begründet. Ihre Herstellung ist aber teils wegen des verhältnismässig hohen Preises der Grundstoffe guter Qualität, teils wegen der 1700 °C übersteigenden Sintertemperatur ziemlich kostspielig.

Im Rahmen des Aufsatzes berichten wir über unsere Versuche, mit denen wir — durch Anwendung einheimischer Tonerde und die entsprechende Auswahl der Zusätze — hohe korundhaltige Keramik mit Sinteremperatur von 1600 °C entwickelt haben.

NEWER RESEARCH RESULTS IN THE FIELD OF SINTERED CORUNDUM CERAMICS

By Mrs. G. Olchváry

Summary

The importance of the products made of sintered corundum ceramics is in many fields of the industry — in the electrical industry, too — greater and greater. Their use is required by their very good electrical insulating capability, their thermal conductivity as well as their high mechanical strength. Their production is, however, very expensive partly because of the relatively high price of the adequate basic material, partly because of the sinter-temperature exceeding 1700 °C.

In the paper our experiments are discussed with development of our material possessing high corundum content, sintering at 1600 °C by using home-mined alum earth and choosing adequate additive agents.

1. Bevezetés

A technika nagyarányú fejlődésével a kerámiai termékek iránti követelmények is egyre fokozottabbak. Az igénybevétel sok esetben olyan, hogy a széles körben alkalmazott „klasszikus” kerámiai anyagok (pl. porcelán, szteatit stb.) már nem képesek azokat kielégíteni, így ezeken a helyeken más, előnyösebb tulajdonságú anyagfajtákat kell alkalmazni. A tömör korund anyagok mechanikai szilárdsága, kopásállósága, hővezető képessége, hőállósága többszöröse sok ismert szilikát bázisú kerámiai anyagénak, magas hőmérsékleten mutatott szigetelési ellenállása (1000 °C-nál is $10^7 \Omega \text{ cm}$), pedig gyakorlatilag az ismert kerámiai anyagok mindegyikét felülmúlja. Ezzel magyarázható az az egyre fokozódó érdeklődés, ami alkalmazásukat, állandó kutatásukat és fejlesztésüket világszerte kíséri.

Az említett kimagasló tulajdonságok (elsősorban a mechanikai és elektromos jellemzők értéke) azonban csak a nagy tisztaságú, nagy Al_2O_3 tartalmú, mikrokristályos szövetszerkezetű anyagot jellemzik; ennek szinterelése viszont csak igen magas, 1700 °C-ot meghaladó hőmérsékleten valósítható meg. Ez a hőmérséklet a jelentős égetési költségeken túlmenően hátrányos a kerámiai anyag szövetszerkezetére is. A szinterelődést létrehozó bonyolult, szilárd fázisban végbemenő kristályosodási folyamat során az égetési idő és hőmérséklet növelésével ugyanis a kristályhatárok már káros mértékű vándorlása indul meg, amelynek következménye a kristályméretek jelentős növekedése és a szövetszerkezet „durvulása”. Ennek megakadályozását, valamint a szinterhőmérséklet csökkentését célozzák azok az erőfeszítések, amelyeket a tömör korund anyagok fejlesztésével, minőségének javításával kapcsolatban világszerte tettek és tesznek még ma is. Napjaink egyik legfontosabb feladata még az is, hogy a korundtermékek gyártását gazdaságosabbá tegyék, ezáltal is elősegítve mind több iparágban szélesebb körű elterjedését. A gazdaságos gyártás részben a szinterhőmérséklet csökkentésével (adalékok, mineralizátorok megfelelő alkalmazásával), részben pedig a kiindulási alapanyag alkalmas megválasztásával biztosítható. Tulajdonképpen e kettő nem választható külön, mivel az Al_2O_3 alapanyag, illetve annak fizikai állapota (morfológiája, szemcsézete, szennyezettsége) önmagában is befolyá-

solja a szinterhőmérsékletet, a felhasznált adalékanyagoknak pedig tömörödést elősegítő hatásukon túlmenően jelentős kristályosodást irányító, kristálynövekedést gátló szerepük is van. A végtermék minőségére, a végső égetési hőmérsékletre hatáskukat mindezek együttesen fejtik ki.

A múlt évben megkezdett fejlesztési kísérleteinkkel célunk éppen az volt, hogy a hazai alapanyagok minőségének jobb megismerése, fizikai állapotuk (szemcsézett-ség, fajlagos felület stb.) megfelelő kialakítása, az adalékanyagok alkalmas megválasztása révén a korundtermékek gazdaságos gyártását, így hazai viszonylatban is szélesebb körű elterjedését — új alkalmazásterületeket is figyelembe véve — tegyük lehetővé.

Az eddig elvégzett fejlesztési munkáink teljes ismertetése meghaladná e cikk kereteit, így most az adalékanyagok kiválasztására folytatott kísérleteinkre nem térünk ki. Részletesen ismertetjük viszont a hazai timföldfajták körében folytatott vizsgálati eredményeinket, az egyes minőségi jellemzők befolyását a szinterelhetőségre.

2. A kísérletek és vizsgálatok ismertetése

Korundkerámiák kiindulási nyersanyagaként legáltalánosabban a timföldet alkalmazják. Ennek előállítására az alumíniumkohászathoz felhasznált timföldekhez hasonlóan, a Bayer-eljárással történik. Kerámiai célú felhasználás esetén azonban az alumíniumgyártásnál egyébként nem zavaró szennyeződések (elsősorban alkáliák) eltávolítását gondos tisztítási műveletekkel végzik. Az alkalmazott technológiától függően a végtermék így is tartalmaz több-kevesebb alkálishennyeződést (általában 0,2...0,5%) ami a kerámiai anyag minőségét is befolyásolja. Ugyanígy meghatározó a korundtermékek minőségére — elsősorban a tömör korundok esetén — magának az Al_2O_3 képződésének folyamata, a kalcinálás. Ennek vég hőmérséklete (általában 1150...1350 °C között változik), mineralizátorok alkalmazása jelentős hatással van a timföld kristályos szerkezetére.

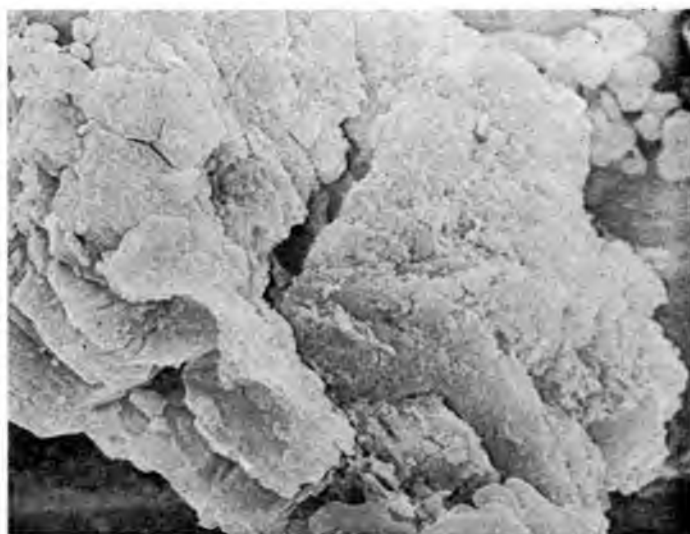
A kalcinálás alatt a timföldhidrát termikus disszociációja során először $\gamma-Al_2O_3$ képződik, amelyből átkristályosodási folyamatokkal 1000 °C körül kezd kialakulni az α -fázis, ismert ásványtani nevén a korund. A hőmérséklet növelésével az α -fázis mennyisége nő, de a mennyiségi változáson túlmenően a már kialakult kristályok minőségében is jelentős változások mennek végbe. A hőmérséklet emelésével, átkristályosodási folyamatokkal jelentős kristálynövekedés is megindul, ugyanakkor a kisebb kristályszemcsék laza agglomerátumokat képeznek. 1300 °C felett ez a szerkezet egyre tömörebbé válik, és a kristálynövekedési folyamatokban mint önálló szemcse „óriássá” is képes megnőni. Így alakulhatnak ki a finom timföldhidrát-kristályokból (ezeknek mérete 0,1...1 μm között van) 40...60 μm átlagos méretű $\alpha-Al_2O_3$ kristályok is. Ezért, attól függően, hogy a kalcinálást milyen körülmények között és milyen hőmérsékleten végezték, a keletkezett, túlnyomórészt α -fázist tartalmazó timföld jellemző szemcseeloszlása, fajlagos felülete, a kristályok egymáshoz viszonyított elhelyezkedése, így a további őrlés során mutatott viselkedése igen eltérő lehet.

Hazai timföldfajtáink közül a Mosonmagyaróvári Timföld és Műkorundgyár T₀ jelű és az Almásfüzitői Timföldgyár T1 α -S jelű timföldjét vetettük részletes vizsgálat alá. A két timföldfajta fontosabb jellemzőit a 27-1. táblázat tartalmazza.

Mindkét anyaggal azonos körülmények között őrlési kísérletsorozatot végeztünk 10, 20, 30, 40 h őrlési idővel, majd az őrleményeken szemcseeloszlást és Blaine-készülékkel fajlagos felületet határoztunk meg. A szemcseeloszlások átlagértékeit a 27-2.



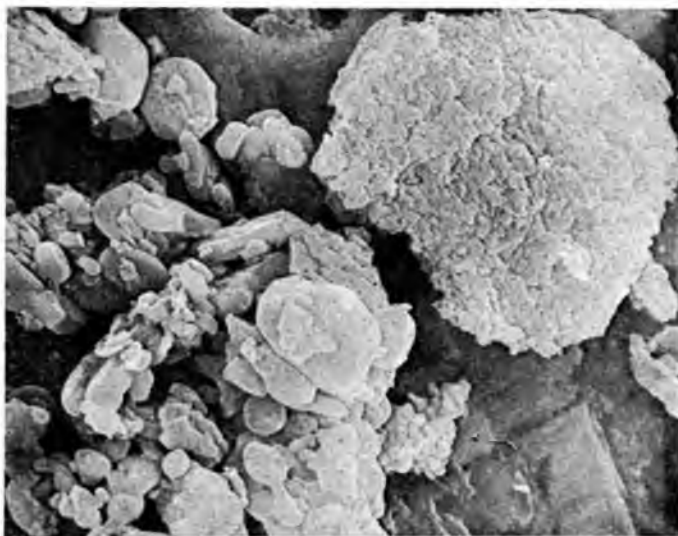
27-2. ábra. Öröletlen T1 α -S timföld SEM felvétele
N = 3300 \times



27-3. ábra. Öröletlen T₀ timföld SEM felvétele
N = 3300 \times



27-4. ábra. 40 órát őrölt T1 α -S tímfd SEM felvétele
N = 3300 \times



27-5. ábra. 40 órát őrölt T₀ tímfd SEM felvétele
N = 6600 \times



27-6. ábra. 72 órát őrölt T1 α -S timföld SEM felvétele
N = 6600 \times

okoz, ami kerámiai termékek méretpontossága szempontjából némi hátrányt jelent. Ezt azonban a kerámiai anyag igen szép felülete, áttetszősége, felületi finomsága (amelyek a mikrokristályos szövetszerkezetre vezethetők vissza) és nem utolsósorban igen kedvező égetési hőmérséklete kiegyenlíti. Ezért alkalmazása egyéb timföldfajtákkal szemben előnyösebb, a technológiai időszükséglet, valamint a kisebb égetési hőmérséklet miatt gazdaságosabb is.

3. Összefoglalás

Összefoglalva kísérleti eredményeinket, kimondhatjuk, hogy a hazai timföldfajták megfelelő megválasztásával igen előnyös tulajdonságú, a nyugati nagy korundtartalmú termékek minőségét megközelítő kerámiai anyagot fejlesztettünk ki. Az anyag tulajdonságai révén lehetőség van arra, hogy a jelenleg még tőkés importból származó termékek kiválthatók legyenek. Ennek érdekében már lépéseket tettünk és reméljük, hogy további fejlesztési — elsősorban feldolgozástechnikai és utómegmunkálási — kísérletekkel sikerül elképzeléseinket valóra váltani, ami népgazdasági szinten jelentős valutamegtakarítást eredményezne.

MÉRÉSTECHNIKA

28.

Kis elmozdulások és deformációk vizsgálata az interferometrikus lézerholográfia módszereivel

GYIMESI FERENC — PILINYI ANDRÁS — TANOS ERVIN

ÖSSZEFOGLALÁS

A holografikus interferometria egy évtizedes fejlődése során napjainkban kezd ipari mérési módszerré válni. Használatával fényhullámhossznyi pontossággal térképezhető fel a vizsgált tárgy deformáció, illetve rezgési állapota; sőt lehetőség nyílik a változások folyamatos követésére is. A rendkívüli érzékenység folytán a vizsgált tárgy nagyon kis behatásokra adott válaszai is kiértékelhetőek, s ez az információ mind konstrukciós, mind hibakeresési szempontból felbecsülhetetlenül fontos. A különböző interferometriai technikák adaptálása során célunk az ipari mérésekhez legjobban alkalmazható eljárások kiválasztása volt. Vizsgálataink tárgyául mechanikai modelleket és villamos készülékeket (kontaktor, biztosító) választottunk.

ИСПЫТАНИЕ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ МЕТОДАМИ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ ГОЛОГРАФИИ

Ф. Димеши—А. Пилини—Э. Танос

Резюме

Голографическая интерферометрия, развиваясь за одно десятилетие, в настоящее время находится в стадии перехода к промышленному методу измерения. С ее применением возможно снять карту о состоянии деформации или колебания испытуемого предмета с точностью длины волны света, и кроме этого возможно непрерывно следить за изменениями. Благодаря чрезвычайно большой чувствительностью, оцениваемы реакции испытуемого предмета на чрезвычайно малые возмущения, и эта информация является неоценимо важной с точки зрения конструкции и поиска дефектов. В ходе адаптации различных интерферометрических технических решений нашей целью явился выбор методов, наилучшим образом применяемых в промышленных измерениях. Предметам наших испытаний выбраны механические модели и электрооборудования (контактор, предохранитель).

PRÜFUNG KLEINER VERSCHIEBUNGEN UND DEFORMATIONEN MIT DEN METHODEN DER INTERFEROMETRISCHEN LASERHOLOGRAPHIE

F. Gyimesi — A. Pilinyi — E. Tanos

Zusammenfassung

Die holographische Interferometrie beginnt im Laufe ihrer jahrzehntelangen Entwicklung in unseren Tagen zu einer industriellen Messmethode zu werden. Durch ihre Anwendung kann der Deformations-, bzw. Schwingungszustand des Prüflings mit Lichtwellenlängen-Genauigkeit registriert werden; sogar ist es auch möglich, die Änderun-

gen kontinuierlich zu verfolgen. Infolge der ausserordentlich hohen Empfindlichkeit können die auch auf die sehr kleinen Einwirkungen gegebenen Antworten des Prüfings ausgewertet werden und diese Information ist sowohl aus Konstruktions als auch fehlersuchendem Gesichtspunkt ausserordentlich wichtig. Im Laufe der Adaptation der verschiedenen interferometrischen Techniken hatten wir den Zweck, den zu den industriellen Messungen am meisten anwendbaren Verfahren auszuwählen. Zum Gegenstand unserer Prüfungen wurden mechanische Modelle und elektrische Geräte (Schütze, Sicherungen) gewählt.

INVESTIGATION OF SMALL DISPLACEMENTS AND DERORMATIONS BY THE METHODS OF THE INTERFEROMETRIC LASER HOLOGRAPHY

By F. Gyimesi — A. Pilyiny — E. Tanos

Summary

Recently the holographic interferometry starts to be — after its 10-year-old development — an industrial measuring method. By using it the deformation and vibration state of an object can be measured with light wave length accuracy; and what is more there is a possibility to follow the changes continuously. Because of the fairly high sensitivity the reactions of the object given on very small influence, can also be evaluated and that information is very important both in construction and in non-destructive testing respect. During the adaptation of the different interferometric techniques our aim was to choose the processes most adaptable to the industrial measurements. As test sample mechanic models and electric switchgears (contactor, fuse) were chosen.

1. Bevezetés

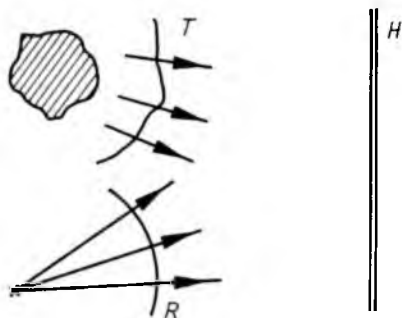
Napjaink iparának gyors ütemű fejlődése nem képzelhető el a mérés technika egyidejű fejlődése nélkül. A modern ipar megköveteli a sokoldalú ellenőrzést a termelési folyamat különböző fázisaiban is, de különösen támaszkodik az új mérés technikai lehetőségekre a termékek kikísérletezése terén. A holografikus interferometria az optikai mérési módszereknek új ága, amely egy évtizedes fejlődése során most jutott el arra a fokra, hogy laboratóriumokból kikerülve ipari mérési módszerré váljon. Egyedülállóan alkalmas kis elmozdulások, deformációk és rezgési amplitúdók eloszlásának fényhullámhossznyi pontossággal való feltérképezésére, és rendelkezik az optikai mérési módszerek általános előnyeivel: roncsolásmentesen és a vizsgált objektummal való közvetlen mechanikai kapcsolat nélkül dolgozik. Kiemelkedik viszont az optikai mérési módszerek közül azért, hogy nem igényli, hogy a vizsgált objektum felülete optikai simaságú legyen.

2. A holografikus interferometria

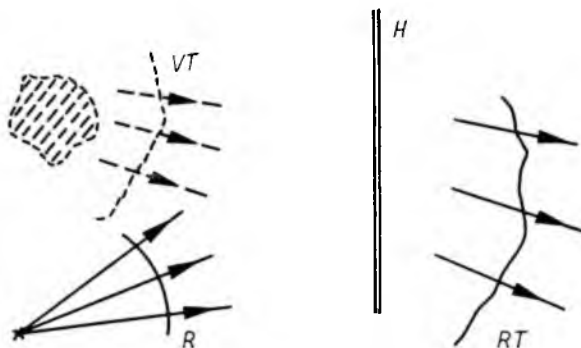
A kétexpozíciós technika

Mind a klasszikus, mind a holografikus interferometriában a végeredmény egy interferogram, egy térbeli — ill. síkban rögzítve síkbeli — csíkrendszer, az összehasonlítási alapul szolgáló hullámfront és a vizsgálandó hullámfront interferenciájának képe. Az interferogram csíkjai mentén a fáziskülönbség külön-külön állandó, két szomszédos sötét vagy világos csík között 2π -vel változik, és ebből az információból lehet esetenként visszakövetkeztetni a vizsgált hullámfrontot kialakító tárgy egyes tulajdonságaira.

A holografikus hullámfront-rekonstrukció — koherens fényben — lehetőséget nyújt hullámfrontok szinte tökéletes hűséggel való megőrzésére, majd úraelőállítására. A három fő lépésre bontható eljárás szerint először nagy felbontású fotolemezen rögzítjük a vizsgált tárgyról kiinduló hullámfrontot, az ún. tárgyhullámfront és egy ismert, reprodukálható, ún. referenciahullámfront interferenciájának képét (28-1. ábra). Második lépésként a fotolemezt a szokásos módon előhívjuk, s végső lépésként eredeti helyére visszahelyezve a változatlan referenciahullámmal megvilágítjuk (28-2. ábra). Ekkor a fotolemezen rögzített interferenciárácson a referenciahullám olyan elhajlást szenved, hogy az eredeti tárgyhullámfrontot hozza létre néhány zavar-



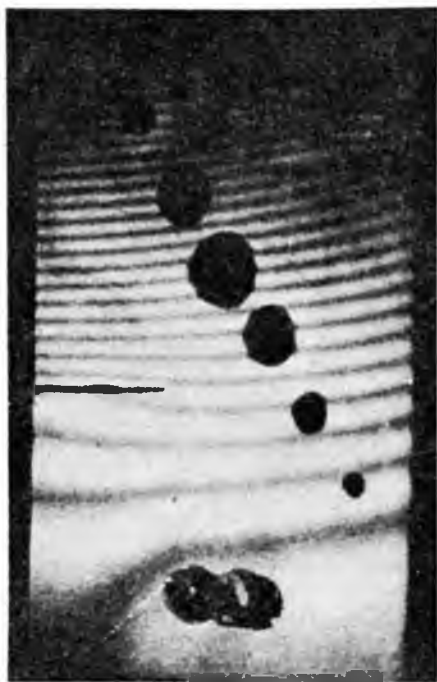
28-1. ábra. Holografikus felvétel
H hologramlemez; *R* referenciahullám; *T* tárgyhullám



28-2. ábra. Holografikus rekonstrukció
H hologramlemez; *R* referenciahullám; *RT* rekonstruált tárgyhullám;
VT virtuális tárgyhullám

jellegű hullámfronttól eltekintve, amelyek az alkalmazott felvételi és rekonstruálási elrendezésben irány szerint elkülönülnek, így nem zavarók. A megfigyelő a fotolemezen, az ún. hologramon áttekintve a tárgyat — pontosabban a tárgy képét — eredeti helyén látja. Megfigyelési helyét változtatva a tárgy perspektívája is változik a hologramlemez mint ablak által határolt keretek között.

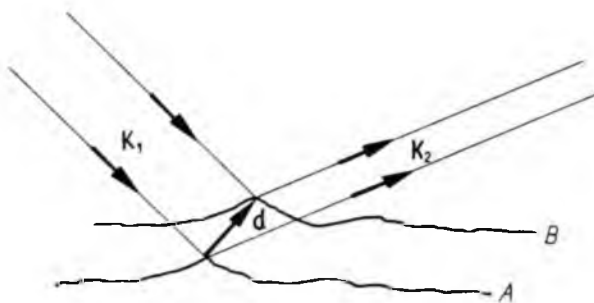
Ha a tárgy két különböző állapotát rögzítjük egymás után a fotolemezen a referenciahullám segítségével — ez az ún. „double exposure”, azaz kétexpozíciós technika — akkor az előbbi eljárás (előhívás, visszahelyezés, megvilágítás) után mind a két, időben külön-külön létezett állapot képe egyszerre rekonstruálódik és interferálni



28-3. ábra. Lemez előrehajlásának kétexpozíciós technikájú holografikus interferogramja

túrájú megfigyelőszekőzt használunk. A diffúz tárgy felületének változó mikrostruktúrája miatt látható interferenciára minden tárgypont csak önmaga elmozdult változatával képes. Kis apertúrájú távoli megfigyelés esetén e pontpárokból is csak az apertúra irányába kiinduló párhuzamos sugarak interferálnak a leképezett — és a megfigyelő optikai eszköz felbontásában összeeső — közös képpontban. Így a tárgy K_1 irányú párhuzamos sugárnyalábbal való megvilágítása és K_2 irányú megfigyelése esetén a leképezett képpontban interferáló sugarak fáziskülönbsége ($\exp(i\omega t)$ időfüggés esetén)

$$\Delta\varphi = (\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1)\mathbf{d},$$



28-4. ábra. $(\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1)$ irányú elmozduláskomponens kiértékelése
 A, B tárgy kezdeti és elmozdult állapota; $\mathbf{K}_1, \mathbf{K}_2$ megvilágítási és megfigyelési irány;
 \mathbf{d} vizsgált tárgypont elmozdulásvektora; $\Delta\varphi$ fáziskülönbség

képes. Ha a két tárgyállapot csak kicsit különbözik egymástól, például a tárgy a két expozíció között néhány μm körüli deformációt vagy elmozdulást szenved, akkor az interferencia eredményeképpen jól látható csíkrendszer jelentkezik a két állapot közös képén.

A 28-3. ábrán egy hátulról, felső harmadában bimetállal terhelt alumínium lemez előrehajlásának fenti technikával készült interferogramja látható. A képen jól kivehető a deformációra jellemző csíkrendszer.

3. A kiértékelés

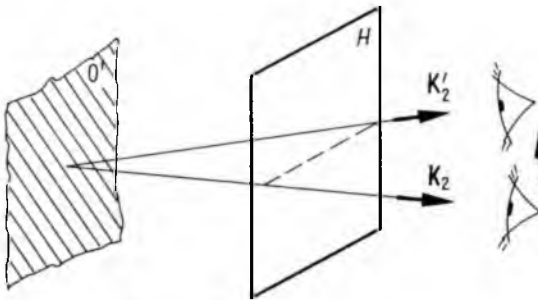
A 28-4. ábrán látható a holografikus rekonstrukció során egyidőben rekonstruálódott két tárgyállapot sematikus rajza. A fényt diffúzan szóró felületű tárgyak esetén az interferenciacsíkok a térben lokalizáltak — hasonlóan a klasszikus interferometriában a kiterjedt fényforrásokkal végzett interferenciakísérletekhez. A lokalizáció megszüntethető, a tárgykép és az interferometrikus csíkrendszer egyszerre is élesre állítható, ha megfigyeléskor kis aper-

ahol \mathbf{d} a tekintett tárgy pont elmozdulásvektora és a \mathbf{K} hullámvektorok abszolút értéke $2\pi/\lambda$, ahol λ az eljárásnál használt lézerezény hullámhossza.

A részletesebb matematikai leírás a Függelékben (8. pont) található.

$|\Delta\varphi|$ -t az interferogramról leolvastva, az elrendezés geometriájának ismeretében a \mathbf{d} elmozdulásvektornak a $(\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1)$ ún. érzékenységi vektora vett vetülete számítható, előjelétől eltekintve. Három különböző \mathbf{K}_2 irányból tekintve a csíkrendszert, ugyanazon \mathbf{d} elmozdulásvektornak három $(\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1)$ vektorra eső vetülete számítható, és ha a \mathbf{K}_2 vektorok lineárisan függetlenek, akkor ezek a komponensek \mathbf{d} -t meghatározzák. A komponenseknek csak abszolút értéke számítható, ezért ha előjelük előre nem ismert, még egy negyedik nézet is szükséges \mathbf{d} egyértelmű meghatározásához. Végül is megmarad azonban ekkor az eredő elmozdulás előjelének tisztázatlansága, mert a negyedik nézet csak a komponensek relatív előjelét dönti el. Ez a bizonytalanság a kétexpozíciós holografikus interferometria lényegi tulajdonsága: a fotolemez nem „emlékezik”, hogy a két expozíció közül melyik volt az első.

A 28-3. ábrán a $(\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1)$ vektor az alumínium lemez felületére merőleges volt, azaz összeesett a várt előrehajlás irányával. A rugalmasságtan szerint az ilyen lehajlást egy harmadfokú parabola írja le, s ez a jelleg jól látható a csíkrendszeren. A csíkok felfelé sűrűsödnek, s a felső harmadolópont után, ahol már a lemez vége nem deformálódott, hanem merev egészként együttmozgott, előrehajolt, a csíkok távolsága állandósul. A csíkok ferdesége arra utal, hogy a lemez nemcsak előrehajolt, hanem kissé el is fordult. Két csík között az előrehajlás kb. $0,4 \mu\text{m}$ -rel nőtt. A lemez alján, a rögzítőcsavaroknál a csíkok meggömbülnek, a levágásoknál és lyukaknál is látható a csíkrendszer kismértékű megváltozása, jelezvén a lemez eltérő viselkedését a deformáció alatt ezeken a különleges helyeken.



28-5. ábra. $(\mathbf{K}'_2 - \mathbf{K}_2)$ irányú elmozduláskomponens kiértékelése
H hologramlemez; O' tárgy rekonstruált, csíkos képe; $\mathbf{K}_2, \mathbf{K}'_2$ szélső megfigyelési irányok

Két különböző \mathbf{K}_2 és \mathbf{K}'_2 irányból tekintve egy csíkrendszert (28-5. ábra), közvetlenül meghatározható az elmozdulás $(\mathbf{K}'_2 - \mathbf{K}_2)$ vektorra eső komponense is. Ugyanis a két megfigyelésnél leolvastott

$$\Delta\varphi = (\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1)\mathbf{d}$$

és

$$\Delta\varphi' = (\mathbf{K}'_2 - \mathbf{K}_1)\mathbf{d}$$

értékekhez tartozó egyenletek kivonásából

$$\Delta\varphi' - \Delta\varphi = (\mathbf{K}'_2 - \mathbf{K}_2)d.$$

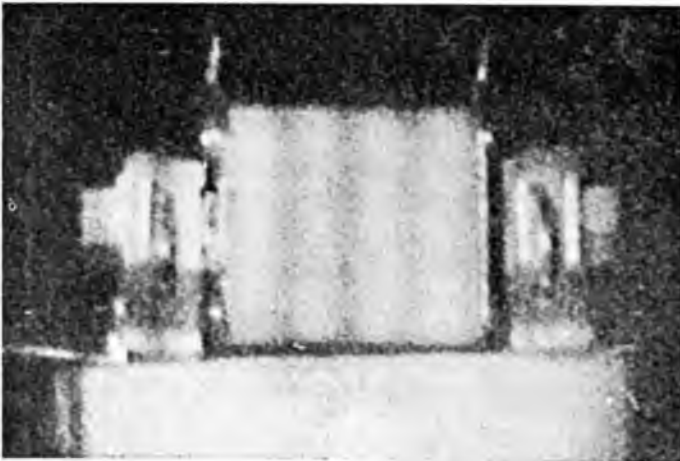
Ha a két nézet két különböző hologramon keresztül történik, akkor mindkét $\Delta\varphi$ értékét ismerni kell — míg ha egy nagy hologramon keresztül is elég nagy $(\mathbf{K}'_2 - \mathbf{K}_2)$ különbségvektor képezhető, akkor \mathbf{K}_2 iránytól folyamatosan mozogva \mathbf{K}'_2 felé és közben a csíkokat számlálva a csíkrendkülönbség, azaz a fáziskülönbség megváltozása azonnal leolvasható, és nem szükséges egy el nem mozdult pont megkeresése a fáziskülönbségek pontos értékének meghatározásához. Ez a kiértékelési módszer különösen jól használható elmozdulások csíkrendszerének kiértékeléséhez, ahol többnyire nincs is nyugvó pont.

4. A „real time” technika

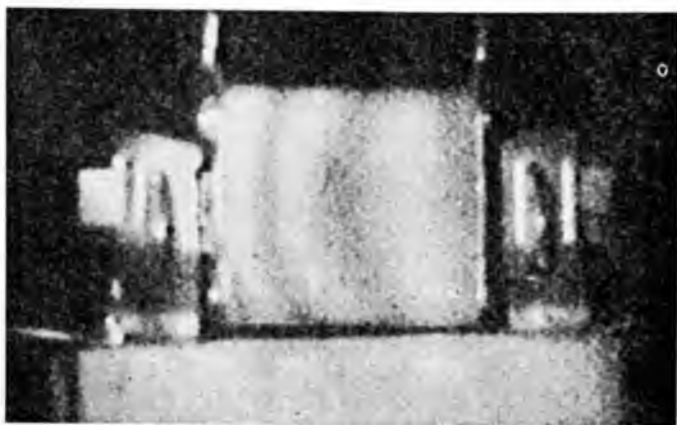
A holografikus interferometria keretén belül lehetőség van ún. „real time” állapotelemzésre is, mikor a deformáció alatt folyamatosan figyelhető meg az interferometrikus csíkrendszer, azaz közvetve a vizsgált tárgy állapota. Ekkor csak egy expozícióval rögzítjük a tárgy kiindulási, deformálatlan állapotát, és a fotolemezt előhívás után pontosan az eredeti helyére visszatéve világítjuk meg a rekonstruáló referencianyalábbal. Ha most a rekonstrukció közben a tárgyat is megvilágítva hagyjuk, akkor a megfigyelő egyszerre és egyazon helyen látja a tárgyat és a tárgy holografikus képét. A tárgyat a kívánt deformációnak vagy elmozdulásnak alávetve, az eredeti állapot holografikusan rekonstruált képe és a tárgy pillanatnyi, „élő” képe interferál — a változás interferometrikus képe folyamatosan nyomon követhető.

Ez a folyamatában való nyomon követhetőség a „real time” technika nagy előnye a kétexpozíciós technikához képest. Nagyon gyakran numerikus kiértékelés nélkül is leolvasható a kívánt információ az interferometrikus csíkrendszer változását figyelve.

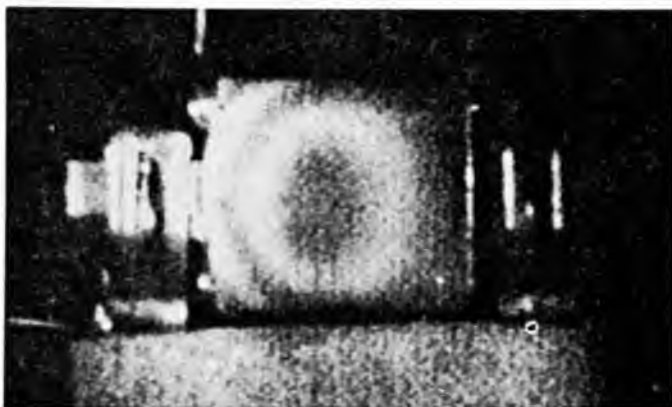
A 28-6—28-9. ábrákon egy 10 A-es VNOLGD típusú biztosító melegeedés közbeni deformációjának egyes fázisai követhetők nyomon. A biztosító terhelése a névleges áram másfélszerese volt, s a felvételek a bekapcsolást követő 10 min alatt ké-



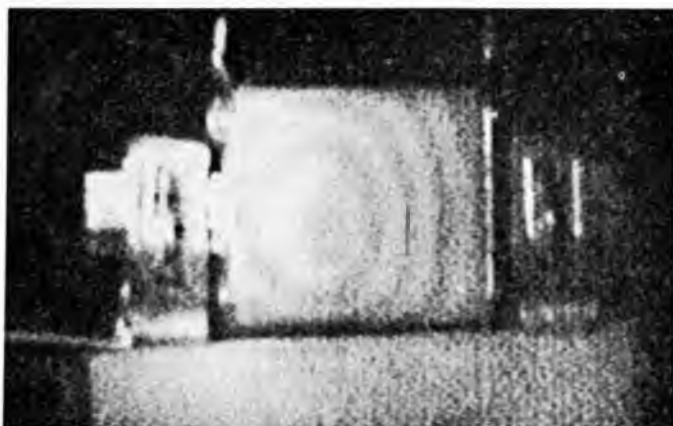
28-6. ábra. Biztosító kezdeti, alapállapotú képe



28-7. ábra. Biztosító termikus deformációja I.

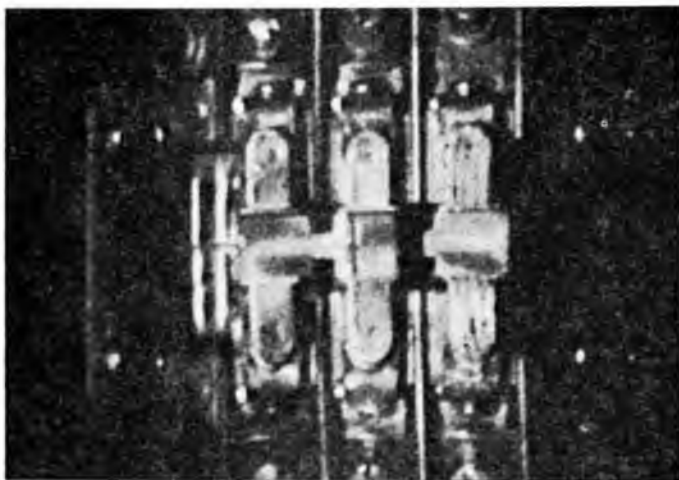


28-8. ábra. Biztosító termikus deformációja II.

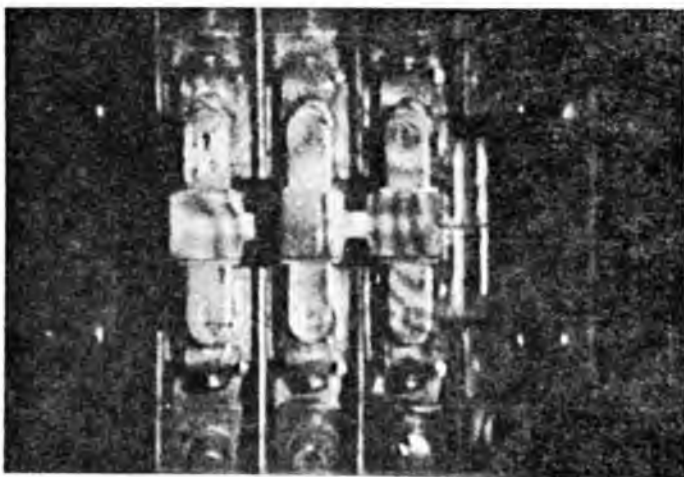


28-9. ábra. Biztosító termikus deformációja III.

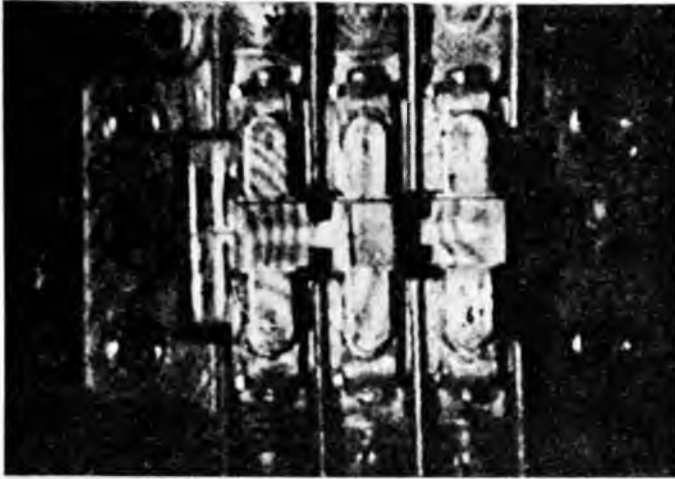
szültek. A sorozat első képén a kiindulási, deformálatlan állapot látható — az egyenletes csíkrendszer a fotolemez nem tökéletes visszahelyezésének az eredménye, ami pontosabb pozicionálás vagy helyben való előhívás esetén eltüntethető lenne, de jelen esetben a kvalitatív következtetések levonását nem zavarja. A középről kifelé vándorló csíkok, majd e centrumnak balra való eltolódása egyértelműen jelzik, hogy a biztosító bal vége deformálódott erősebben, ami azonos tulajdonságú anyagot feltételezve erősebb felmelegedést is jelent. S valóban a rátétfém is a bal végén helyezkedett el, ami a nagyobb felmelegedést indokolja. Maga a csíkrendszer jellege a porcelánház hordószerű kidudorodására utal. Pontos kiértékelés azonban csak a kiértékelésről szóló részben említett többirányú megfigyelés esetén lehetséges. A 28-10—28-13. ábrán egy hasonló „real time” képsorozat látható, ahol egy VMK 40 A-es kontaktor



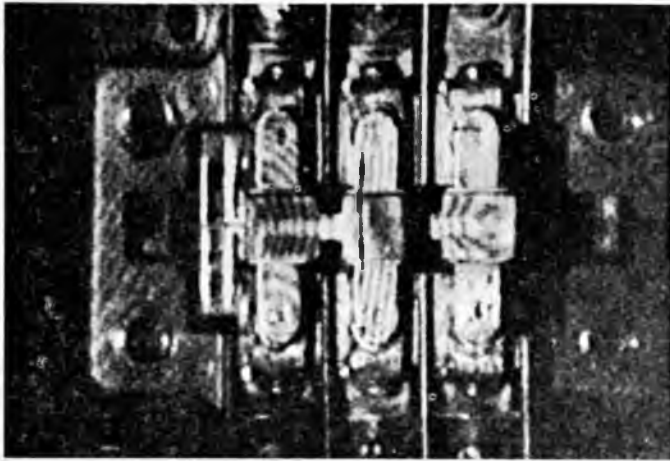
28-10. ábra. Kontaktor melegedésének fázisai I.



28-11. ábra. Kontaktor melegedésének fázisai II.



28-12. ábra. Kontaktor melegedésének fázisai III.



28-13. ábra. Kontaktor melegedésének fázisai IV.

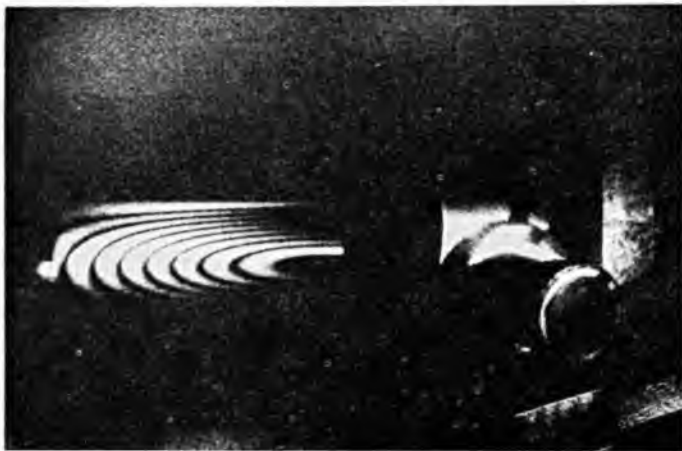
volt a vizsgálat tárgya, melynek két szélső érintkezőjét 47 A terhelte. A középső érintkező volt az összehasonlítási alap, ezért terhelésmentes maradt. A behúzó mágnest zárt állásában mechanikusan rögzített.

A képsorozaton jól nyomon követhetőek a melegedés egyes fázisai. Először a jobb szélső lemez csíkosodott be, s tényleg az volt az elhasználtabb felületű érintkező, ami a gyorsabb felmelegedést és az ezzel járó deformációt indokolja. Majd a bal szélső lemez csíkosodott, míg a jobb szélső csíkrendszer már felbonthatatlanul sűrű lett, eltekintve a kissé elkülönült középső részétől, ami szintén kezdett csíkosodni. Végül a terheletlen középső lemezen is csíkok jelentek meg, mert részben átvette a hőt szomszédjaitól, részben az egész kontaktorhíd és a ház is deformálódott már, ezt jelzik a házon látható csíkok. A melegedés és a deformáció fokozódását jelzi a csíkok további sűrűsödése is.

5. A „time average” technika

Rezgések, tehát folytonosan változó állapotú tárgyak esetén az ún. „time average;” azaz időátlagolási technika segítségével határozható meg a tárgy rezgési amplitúdójának értéke a különböző tárgypontokban. Ekkor a periódusidőhöz képest hosszú expozícióval rögzítjük a rezgő tárgy állapotainak sokaságát, és a szokásos rekonstrukciós eljárás során a sok állapot képe egyszerre jelenik meg és interferál. A kapott interferometrikus kép első közelítésben úgy tekinthető, mint a két leghosszabb ideig fennálló állapot, a szélső rezgési fordulópontoknak megfelelő képek interferenciája. A részletesebb matematikai leírás ismét a Függelékben található.

A 28-14. ábrán egy 2,5 kHz-cel rezgő acélcső időátlagolási technikával készült interferogramja látható. Az interferogram kiértékelése a deformáció esetében vázolt-hoz hasonló.



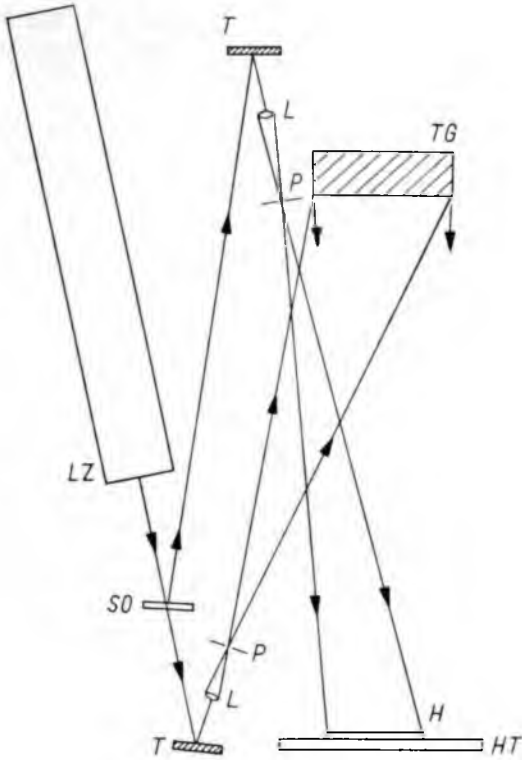
28-14. ábra. Rezgő acélcső „time average” technikával készült holografikus interferogramja

6. A gyakorlati megvalósítás

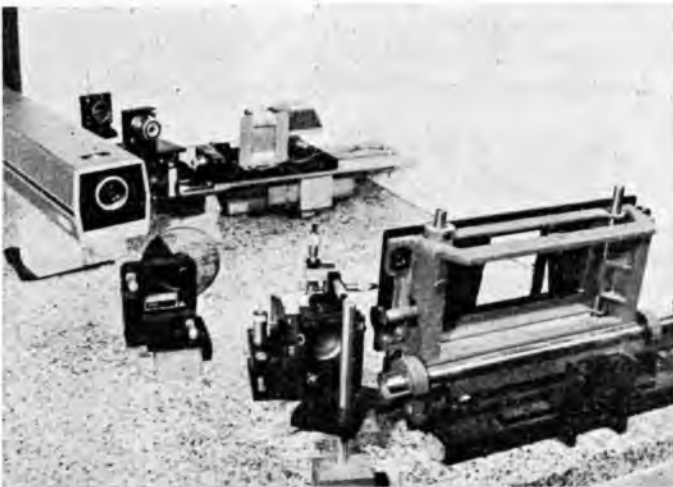
A gyakorlati megvalósítás részleteinek áttekintésére a 28-15. és 28-16. ábrán egy tipikus holografikus elrendezés sematikus rajza, ill. fényképe látható.

Az egész elrendezést egy légrugókkal rezgésmentesített márványlapra helyeztük. A rezgésmentesség a hologramkészítés előfeltétele, mivel a hologramlemezen interferáló hullámok nem mozdulhatnak el egymáshoz képest az expozíció ideje alatt, mert különben interferenciájuk csíkrendszere elmosódna, s ez megghiúsítaná a rekonstrukciót. Kismértékű elmozdulások esetén ez az elmosódás csak csökkenti a rekonstrukció minőségét, így nyugodt környezetben néha a szokásos asztalokon is készíthető elfogadható minőségű hologram.

A koherens fényforrás egy argon—ion lézer, melynek fényét egy féligáteresztő tükör osztja két részre. Mind a tárgyat, mind a hologramlemez egy-egy mikroszkópobjektívvel kitértített fénynyaláb világítja meg. A mikroszkópobjektívek fókuszában elhelyezett kis lyuk (ún. pinhole) szűri ki a keletkező gömbhullámot torzító sugarakat, s így a megvilágítás csíkmentes, egyenletes intenzitású lesz.



28-15. ábra. Holografikus elrendezés vázlata
 SO sugárelosztó; H hologramlemez; HT hologramlemez-tartó;
 TG tárgyasztal; LZ lézer; T tükör; L lencse; P „pinhole”



28-16. ábra. Holografikus elrendezés fényképe

A holografikus felvétel akkor a legjobb, ha a tárgyról a hologramlemezre eső szórt fény a hologramlemez megvilágító referenciahullámmal egyenlő intenzitású, ezért a tárgyat megvilágító nyalábot lényegesen erősebbre kell beállítani, mint a közvetlenül a hologramlemezre irányított referenciahullámot. A pontos beállításhoz minden optikai elemnek jó pozicionálási lehetőségekkel kell rendelkeznie, hasonlóképpen a tárgynak és a hologramlemeznek is. Ez utóbbit a több irányban mozgatható tárgyasztal, illetve a hologramlemez-tartó biztosítja. A holografikus felvétel speciális, nagy felbontású (3000 vonal/mm) fotolemezre történik.

A megfelelő technikával készített felvétel, illetve felvételek rekonstruálásakor keletkező interferogram fényképezőgéppel, filmfelvevővel vagy kényelmesebben képmagnóval rögzíthető.

7. Összefoglalás

A fentiekben bepillantást szándékoztunk nyújtani a holografikus interferometria főbb lehetőségeibe, és ezeket néhány saját gyakorlati példával illusztráltuk. Mindezek azonban nem merítik ki a holografikus interferometria képességeit — az egy évtizedes múlt alatt technikák, kiértékelési módszerek sokasága fejlődött ki, mindegyikük eltérő előnyökkel és hátrányokkal. E módszer alkalmazhatósági területe is lényegesen tágasabb, mint a deformációk és rezgések vizsgálata. Az iparba való általános betörés azonban ezen a területen tűnik a legközelebbinek.

A cikk végén felsorolt szakirodalmi utalások a holográfia és a holografikus interferometria néhány összefoglaló jellegű művére vonatkoznak.

8. Függelék

A kétexpozíciós és a „time average” technika matematikai alapjai

Az azonos tárgyalásmód kedvéért tekintsük a kétexpozíciós technika d elmozdulásvektorát a

$$d(x_0, y_0, t) = L(x_0, y_0) \operatorname{sgn}(t)$$

alakban, ahol L az egész elmozdulás felével megegyező „amplitúdó” és $\operatorname{sgn}(t)$

$$\operatorname{sgn}(t) = 1, \quad \text{ha } t > 0;$$

$$\operatorname{sgn}(t) = -1, \quad \text{ha } t \leq 0$$

alakú időfüggvény, (x_0, y_0) pedig a tekintett felületi tárgypontra koordinátái. Az (x_0, y_0) függés kiírásával azt kívántuk kihangsúlyozni, hogy a d elmozdulásvektor a tárgy felületén pontról pontra változhat.

A kiértékelési részben levezetett

$$\Delta\varphi = (\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1)d$$

fáziskülönbség egy

$$(1/T) \int_{-T/2}^{T/2} \exp [i(\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1)d] dt = \cos [(\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1)L]$$

komplex fázisfaktorhoz vezet a két hullámfront eredőjében, aminek négyzetével arányos az interferogram intenzitáseloszlása:

$$I(x_1, y_1) \sim \cos^2 [(\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1) \mathbf{L}(x_0, y_0)],$$

ahol (x_1, y_1) az (x_0, y_0) rekonstruált tárgyponth képe a megfigyelő optikai eszköz kép síkjában.

A „time average” technika esetében a \mathbf{d} elmozdulásvektor szerepét a

$$\mathbf{d}(x_0, y_0, t) = \mathbf{L}(x_0, y_0) \cos [\omega t + \varepsilon(x_0, y_0)]$$

pillanatnyi rezgési kitérés veszi át,

ahol \mathbf{L} a rezgés amplitúdóvektora;

ω a rezgés körfrekvenciája;

ε pedig a fáziskésés.

Egy teljes rezgési periódusra átlagolva, az eredő komplex fázisfaktor

$$(1/T) \int_0^T \exp [i(\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1) \mathbf{d}] dt \sim J_0 [(\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1) \mathbf{L}],$$

ahol J_0 a nulladrendű Bessel-függvény:

$$J_0(x) = (1/2\pi) \int_0^{2\pi} \exp(ix \cos \omega t) dt.$$

Így a megfigyelőeszköz által leképezett képpontban

$$I(x_1, y_1) \sim J_0^2 [(\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1) \mathbf{L}(x_0, y_0)]$$

lesz az intenzitás.

A két technika intenzitásképletét összehasonlítva látható, hogy argumentumuk teljesen megegyezik, eltérés csak a függvények alakjában van. Így a két technika eredményeképpen keletkező interferogramok nagyon hasonlóan értékelhetők ki: mindkét esetben az intenzitásértékekhez tartozó megfelelő argumentumértékek adják \mathbf{L} -nek a $(\mathbf{K}_2 - \mathbf{K}_1)$ érzékenységi vektorra vett vetületét.

Irodalom

- [1] Collier, R. J.—Burckhardt, C. B.—Lin, L. H.: Optical Holography. Academic Press, New York—London (1971).
- [2] De Vellis, J. B.—Reynolds, G. O.: Theory and Applications of Holography. Addison-Wesley Publ. Comp., Reading, Mass. (1967).
- [3] Menzel, E.—Mirandé, W.—Weingärtner, I.: Fourier—Optik und Holographic. Springer Verlag, Wien—New York (1973).
- [4] Erf, R. K.: Holographic Nondestructive Testing. Academic Press, New York—London (1974).

Vasveszteségmérő berendezés kifejlesztése

PÁDÁR ISTVÁN—ERDÉLYI FERENC

ÖSSZEFOGLALÁS

A berendezés a hidegen hengerelt dinámó- és transzformátor szalagacélok mágneses jellemzőinek automatikus mérését teszi lehetővé. A cikk ismerteti a mágneses jellemzők méréséhez szükséges új rendszerű mérőjármot, a vastagságmérő rendszert, az automatizált méréshez szükséges áramköröket, valamint az alkalmazott elektromechanikus, pneumatikus és mechanikai megoldásokat.

A berendezés a Forges de Gueugnon francia vállalatnál került ipari alkalmazásra. A cikk röviden ismerteti a fejlesztés további irányát.

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ, НАПРАВЛЕННОГО НА ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРИ В СТАЛИ

И. Падар—Ф. Эрдейи

Резюме

Описанное оборудование позволяет автоматически измерить магнитные характеристики холоднокатанных динамных и трансформаторных ленточных сталей. В статье описываются измерительное ярмо новой системы; система измерения толщины; схемы, необходимые для проведения автоматизированного измерения, а также примененные электромеханические, пневматические и механические решения.

Это оборудование нашло применение во французском предприятии „Форж де Гэньон“.

В статье кратко излагается дальнейшее направление усовершенствования оборудования.

DIE ENTWICKLUNG EINER EINRICHTUNG FÜR EISENVERLUSTMESSUNG

I. Pádár — F. Erdélyi

Zusammenfassung

Die Einrichtung ermöglicht die automatische Messung der magnetischen Kennwerte des kaltgewalzten Dynamo — und Transformator — Bandstahles. Der Aufsatz berichtet über das zur Messung der magnetischen Kennwerte benötigte neuartige Messjoch, das Dickenmesssystem, die zur automatischen Messung erforderlichen Stromkreise, sowie die angewandten elektromechanischen, pneumatischen und mechanischen Lösungen.

Die Einrichtung wurde bei dem französischen Unternehmen in Forges de Gueugnon industriell verwandt.

Der Aufsatz legt kurz die weitere Richtung der Entwicklung dar.

DEVELOPMENT OF AN EQUIPMENT USED FOR MEASURING CORE LOSS

By I. Pádár — F. Erdélyi

Summary

The equipment makes possible to measure the magnetic characteristics of the cold-rolled dynamo and transformer band steels automatically. It introduces the new-type measuring yoke needed for measuring the magnetic characteristics, the thickness-measuring system, the circuits needed for automatized measurement as well as the applied electromechanical, pneumatic and mechanical solutions.

The equipment was put into operation with the French firm Forges de Gueugnon. The paper outlines the further directions of the development.

1. Bevezetés

Intézetünk életében hosszú múltra tekint vissza a mágneses anyagok mérési módszereinek, valamint ezek elvégzésére alkalmas mérőkészülékeknek, mérőberendezéseknek a kutatása. [6], [7], [8].

Az első automatikusan mérő berendezés 1954-ben valósult meg. Áramkörei elektromechanikus és hagyományos elektromechanikus wattmérőre voltak felépítve. Az elektroncsöves rendszert többszöri fejlesztés, korszerűsítés mellett mintegy 20 éven át bocsátottuk az ipar rendelkezésére [4], [7], [8].

A továbbfejlesztés igénye az elektroacélok fejlődésével szinte egyidőben jelentkezett. A mennyiségi növekedés, valamint az irányított struktúrájú izotrop transzformátort, a hidegen hengerelt anizotrop dinamó- és a szilíciumban szegény szalagacél anyagok megjelenése a mérőberendezésekkel szemben is új követelményeket támasztott.

A megoldásokra korszerű áramköri elemek adtak kitűnő lehetőségeket, tranzisztorok, integrált áramkörök, digitális kijelzésű műszerek és elektronikus wattmérő célszerű alkalmazásával [6].

2. A mérőrendszer felépítésének szempontjai

Elektroacélok mágneses tulajdonságainak mérésére szolgál a több évtizede elismert és szabványosított 25-cm-es Epstein-keret.

Ismeretes, hogy a mérendő anyagot szabványos csíkokra kell darabolni, majd az előírt mérési eredmények alapján kiszámítható a vasanyag veszteségi száma. Az eredményt W/kg-ban kapjuk meg.

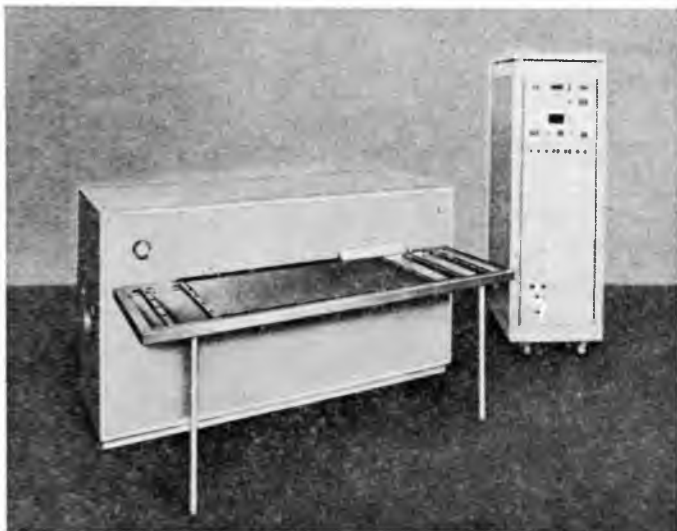
A mérés előkészületei hosszadalmasak, a roncsolás következtében az anyag mágneses tulajdonságai változnak, a próbacsíkokat nem lehet egyéb célokra felhasználni.

Mi indokolta egy más rendszerű, és viszonylag drága mérőberendezés kifejlesztését? Az elektroacélok gyártó szempontjai:

- a) Nagy mennyiségű vagy többféle anyag gyártása.
- b) Homogén, kiforrott gyártási eljárásnál folyamatos mérés, azzal a céllal, hogy észrevett minőségi eltérés esetén azonnal be lehessen avatkozni a gyártás elején, pl. az alkotók adagolásával.
- c) Nem homogén technológia esetén, mágneses jellemzők vagy vastagság alapján történő válogatás.

- d) A gyors eredmények és hulladék nélküli mérési eljárás érdekében roncsolásmentes, egész táblákon, vagy szalagokon történő vizsgálatok.
- e) Szempont lehet még a mérési eredmények számítógépes gyűjtése és feldolgozása.

Mindezek alapján, konkrét ipari igényre fejlesztettük ki a 29-1. ábrán látható berendezést.



29-1. ábra. TR-9851/A típusú, hidegen hengerelt lemez- és szalagacélok üzemi mérésére alkalmas automatikus, közvetlen mutatós wattvesztésmérő berendezés

Az elektroacélokat felhasználó szempontjai:

Lényegében a d) és az e) pontokban foglaltak, nagy mennyiségű, vagy nagy értékű gyártmányok esetén.

A méréshez nem szükséges a vizsgálandó anyagot feldarabolni, hanem egész tábla, vagy szalagból vett nagyméretű mintadarab mérhető. E cikkben ismertetendő berendezés különböző méretű, hidegen hengerelt szalagacélok mágneses jellemzőinek vizsgálatára alkalmas a hengerlés irányában, vagy arra merőlegesen mérve.

3. A berendezés fő részei

A *kezelőállványba*, amely magába foglalja az áramköröket, be vannak építve a kezelőszervek, kapcsolók, nyomógombok, a kijelzőkészülékek, jelzőlámpák, műszerek.

A *mérőállvány* a mérendő lemez elhelyezésére és a mérőjárumba való bevezetésére szolgál. Erre van felszerelve a mérőjáróm, a vastagságmérő és az ezek mozgatására szolgáló pneumatikus szerkezetek.

Hozzáépíthető egy *kártyalyukasztó berendezés*, melyet a rendelő kívánságának megfelelően interface segítségével lehet a berendezéshez csatlakoztatni.

25 cm-es *Epstein-keret*. A berendezés hitelesítésére szolgál. A keret megfelel az MSZ 9247 és az EURONORM 118. szabványoknak.

4. Mérhető értékek

4.1 Vastagságmérés

- Abszolút vastagság mérése 0,20...0,99 mm között.
- Relatív vastagságmérés, a névlegestől való eltérés $\pm 20\%$ -ig. A berendezésen előre beállítható a vizsgálandó lemez névleges vastagsága 0,38, 0,50, 0,70 mm névleges méretekre. Ha az eltérés a névleges vastagságtól $\pm 20\%$ -nál nagyobb, a mágneses jellemzők mérését a készülék letiltja és a letiltást a kezelőállványon jelzi.

4.2 Fajlagos veszteség mérése

A berendezés a $v_{1,0}$ és a $v_{1,5}$ veszteségi számot méri és a mért értéket W/kg egységekben digitálisan jelzi. $v_{1,0}$ mérésénél 1,0...5,0 W/kg, $v_{1,5}$ mérésnél 2,3...19,99 W/kg a méréstartomány.

4.3 Mágneses indukció mérése

A berendezés alkalmas az indukció mérésére $H = 2500$ A/m térerősségnél.

4.4 A mágneses jellemzők mérési pontossága

A berendezés pontosságának ellenőrzése a berendezéshez tartozó 25 cm-es Epstein-kerettel, $v_{1,0}$, $v_{1,5}$ és B_{2500} mérési pontokon.

5. A berendezés mérési funkciói

A berendezés egyes mérési funkcióinak ismertetéséhez tekintsünk át néhány alapösszefüggést. 50 Hz-es tiszta szinuszos indukció mellett, 1 kg tömegű vasban keletkező veszteséget a veszteségi számmal fejezhetjük ki. Az indukció értékét indexszel jelöljük:

$$v_{1,0} = \frac{V}{m_v}, \quad \text{illetve} \quad v_{1,5} = \frac{V}{m_v},$$

ahol $v_{1,0}$ a veszteségi szám 1 tesla indukcióértékhez, W/kg;

$v_{1,5}$ a veszteségi szám 1,5 tesla indukcióértékhez, W/kg;

V a mért villamos teljesítmény, W

m_v a mért anyag tömege, kg.

A villamos teljesítmény középértéke:

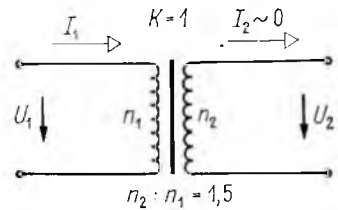
$$V = \frac{1}{T} \int U_2 I_1 t \, dt$$

az ábrán szereplő feltételezésekkel (29-2. ábra). A teljesítményt tehát a primer kör áramával és a szekunder kör feszültségével mérhetjük. A B indukció csúcserőértéke ará-

nyos az U_2 szekunder feszültség effektív értékével, ha a formatényező $F = 1,11$

$$B = \frac{U_{2 \text{ eff}} \cdot 10^{-8}}{A_v n_2 \cdot 4,44f},$$

ahol A_v a mérőjáromban levő vizsgálandó anyag keresztmetszete, m^2 ;
 n_2 a szekunder menetszám;
 d a lemez vastagsága, mm ;
 $A_v = l_n d$ a névleges hossz- és vastagságértékek számítása.



29-2. ábra. A mérés elve ideális mérőtranszformátoron

Mérés előtt a névleges értékek a berendezésen beállíthatók, de a névlegestől való eltérés ismerete is szükséges.

$$A_v = (l_n + \Delta l) (d_n + \Delta d).$$

A lemez, illetőleg szalag gyártástechnológiájából következően a szélességi méret változása oly kicsi, hogy a vizsgálat során elegendő az l_n névleges érték beállítása. A vastagság névleges értéktől való eltérését viszont az indukciómérés pontossága érdekében, minden vizsgálatkor mérni kell és a mért d értéket mint beavatkozó jelet be kell vinni a berendezésbe. $B = \text{const.}$ esetén az összefüggés:

$$B = \text{const.} \cdot \frac{U_{2 \text{ eff}}}{l_n \left(1 + \frac{\Delta d}{d_n}\right)},$$

tehát a vizsgálathoz be kell állítani l_n névleges szélességet, d_n névleges vastagságot és mérni kell U_2 -t és a $\frac{\Delta d}{d_n}$ vastagságtérést. A megvalósított berendezésen $\frac{1}{l_n}$ és $\frac{1}{d_n}$ a kezelőszervekkel beállíthatók, az $\frac{1}{1 + \frac{\Delta d}{d_n}}$ elektronikus osztó segítségével van megvalósítva.

6. Szerkezeti megoldások

Mint láttuk, a vizsgálandó lemez vastagságát minden egyes vizsgálatkor mérnünk kell. A vastagságmérésre egy mágneses és egy induktív adóval működő rendszer szolgál. A két rendszer közül kapcsolóval lehet bármelyiket kiválasztani.

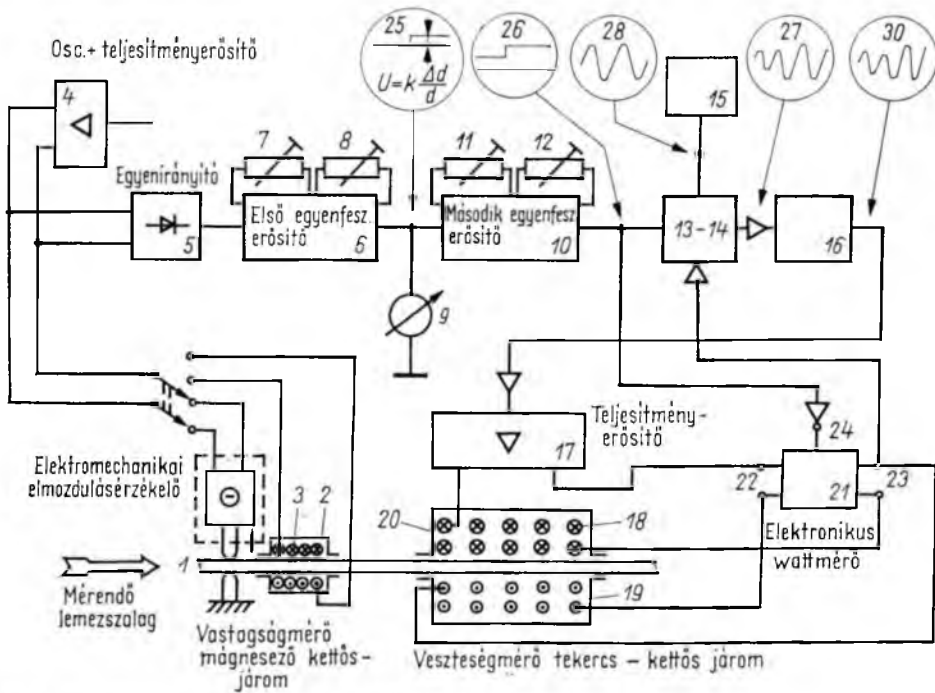
6.1 A mágneses vastagságmérő rendszer

Mint az előzőkben kifejtettük, a mérőjárom által határolt vizsgált lemezrész m_v tömege nem állandó, hanem a lemez szélességi és vastagsági méretének szórása miatt változó. A sűrűség általában állandónak vehető. A méretingadozások hatása kettős:

- Változik a vizsgált anyag átmágnesezett keresztmetszete, ezért az előre beállított indukció megváltozik.

- b) A tömegváltozással változik a vizsgált anyagban keletkező veszteség. A klaszikus megoldást a vizsgált anyagok tömegének darabonkénti mérése és ennek megfelelően a gerjesztés 1,0, illetve 1,5 T-ra történő beállítása adja. Az előbbi a mérés folyamatosságát, mindkettő pedig a gyorsaságot gátolja. A szabványok a vastagságingadozásokra $\pm 10\%$ -ot engedélyeznek, ez a mérést már nagymértékben befolyásolja.

A veszteségi szám a vastagságtéreléssel több, mint négyzetesen változik. A lemezszélesség-változás, mint említettük, közvetlenül mérhető és annak beállítása jól kézben tartható. A vizsgálandó anyag tömegének mérése végül is vastagságmérésre korlátozható. A mérés folyamatossá és automatikussá tételére olyan villamos jelet kell előállítani, mely a vizsgált szalag vastagságának a névlegestől való eltérése esetén az



29-3. ábra. Mágneses vastagságmérő rendszer

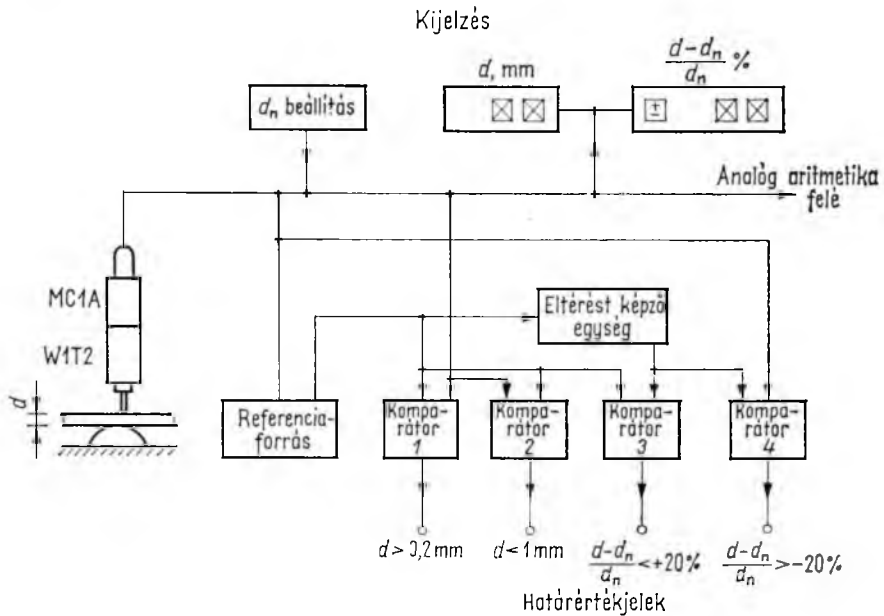
eltéréssel arányos, és ezzel kell a gerjesztést beszabályozni az indukció kívánt értékének elérésére. Ezen kívül a mért veszteségi számnál a súlyeltérésből származó helyesbítést kell végrehajtani. Ez a szabályozástechnikai feladat a berendezésben mágnesező kettős járomrendszerrel van megoldva (29-3. ábra).

Az ábrán vázolt megoldás biztosítja a folyamatos mérés alatt a vizsgált anyag vastagságtérelésétől függetlenül a veszteségi szám pontos mérését az indukció állandó értéken tartása mellett [6].

6.2 Vastagságmérés inductív adóval

A rendelő kívánságára beépítettünk egy más megoldású vastagságmérő rendszert is (29-4. ábra). Ezzel a rendszerrel szemben támasztott követelmények lényegében azonosak a másik rendszerrel szemben támasztottakkal:

méréstartomány $0,2 \dots 0,99 \text{ mm} + 23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklet határok között, $\pm 1\%$ pontossággal.



29-4. ábra. Induktív vastagságmérő rendszer

A megoldás lehetőségét az alkalmazott mérőadó pontossága, a befogó-mozgató mechanizmus megbízhatósága, hőmérséklet-függetlensége, valamint a beállított 0 pontra történő visszaállási képessége rejt magában. A mérőadó Hottinger Baldwin (NSZK) W1 T2 jelű inductív adó, a vele szoros mechanikai kapcsolatban levő MC1A típusú mérőátalakítóval.

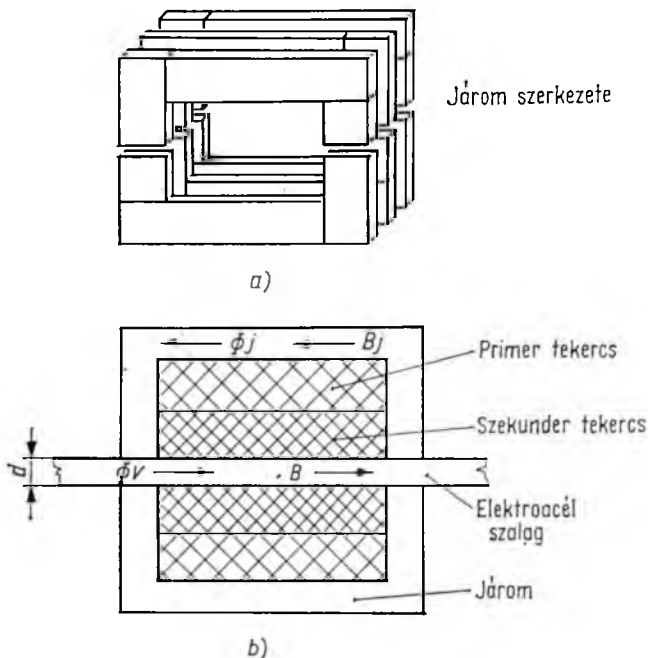
A mérések pontossága és reprodukálhatósága érdekében rendkívül precíz mechanizmusra van szükség. A mérések ismétlődésekor mikron pontosságra vissza kell állnia a mechanizmusnak ahhoz, hogy a teljes mérőlánc pontossága $\pm 1\%$ -on belül maradjon. Az alsó határon ez az abszolút érték $\pm 2 \mu\text{m}$. A befogómechanizmusnak mérettartónak kell lennie a mérésnél alkalmazott szorítóerőtől és a környezeti hőmérséklet változásától függetlenül.

6.3 A mérőjárom

A mérőjárom két azonos méretű féljáromból áll, melyek 0,3 mm vastag transzformátorlemez csíkokból vannak felépítve (29-5a ábra). A csíkokat darabolás után hőkezelésnek vetettük alá, hogy a roncsolás következtében megváltozott mágneses tulajdonságait normalizáljuk. Ezután erre a célra készített ragasztószablonba szorítva ösz-

szeragasztottuk. Mivel a mérőjárom méreteinek változása alapvetően befolyásolja az egész mérés pontosságát, a ragasztáson kívül merev, acélból készült tartószerkezet is biztosítja a mechanikai és a mágneses tulajdonságok állandóságát.

A mérőjármok belsejében foglal helyet alumínium csévetestre tekercselve a mérőtekercs, olyan elrendezéssel, hogy a primer és a szekunder tekercsek csatolása minél szorosabb legyen. A mérőtekercs belsejében a két féljárom által körülfogva helyez-



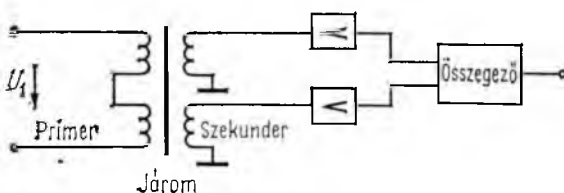
29-5. ábra. A mérőjárom
a) a mérőjárom szerkezete; b) a mérőjáromba helyezett lemez-szalagacél és mérőtekercsek elvi rajza

kedik el a mérendő vasanyag (29-5b ábra). Mivel a szekunder tekercs A_t keresztmetszete csak úgy képezhető ki, hogy sokkal nagyobb a mérendő vasanyag A_v keresztmetszeténél, elkerülhetetlen, hogy a szekunder tekercs belsejében a levegőben záródó erővonalak is részt vegyenek a szekunder feszültség indukálásában [5], [6].

A teljes fluxus:

$$\Phi_t = (B_v + \mu_0 H) A_v + \mu_0 H (A_t - A_v).$$

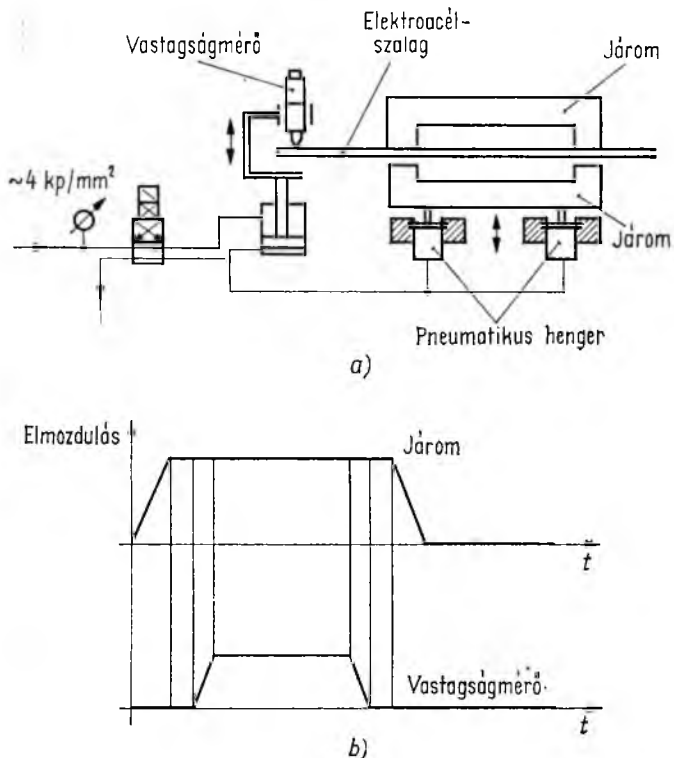
A levegőben levő fluxus hatását kompenzálni kell. A megoldás a 29-6. ábrán látható.



29-6. ábra. Légréskompenzáció elve

6.4 A pneumatikus rendszer

A mérőjárom és a vastagságmérő mechanikájának mozgatására pneumatikus működtetésű automatika van beépítve. A pneumatikus szelepek működtetése, továbbá a mechanikák véghelyzetének érzékelése villamos szerkezeti elemekkel (behúzóágnes, végálláskapcsoló) van megoldva, így lehetséges a villamos jelekkel történő vezérlés és helyzetérzékelés.



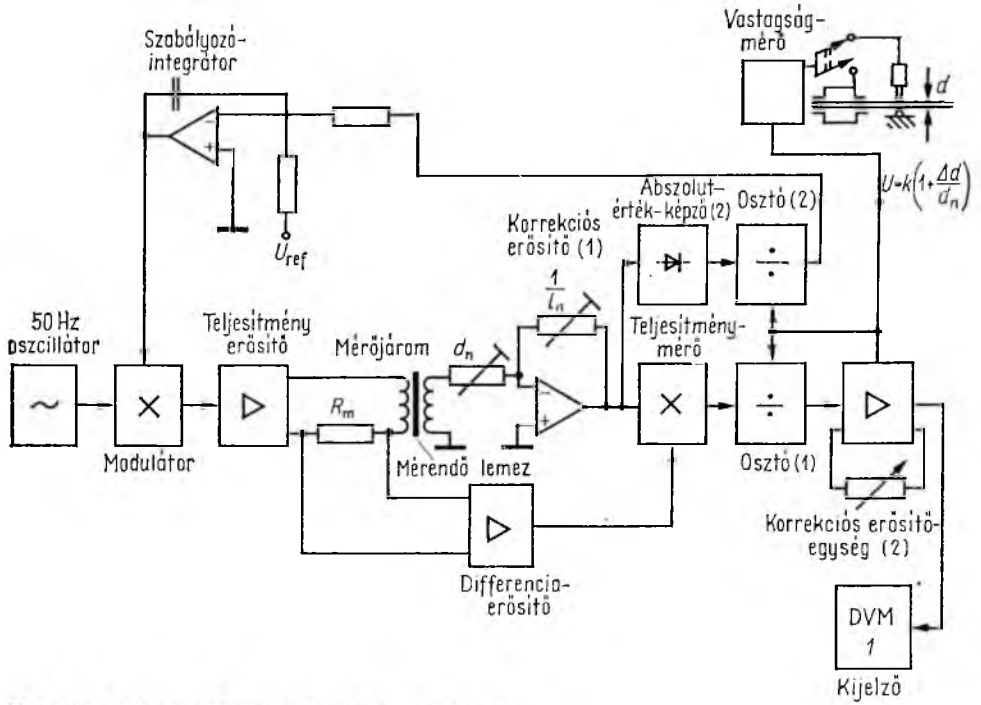
29-7. ábra. A pneumatika működése
a) elvi működés; b) vastagságmérő időbeni mozgása

Az egyes elemek időrendi késleltetése pneumatikus fojtószelepek beállításával van megoldva. A működést egy leegyszerűsített elvi rajzon mutatjuk be (29-7a ábra). A vastagságmérőt pneumatikus henger mozgatja, az alsó féljárom mozgatása 4 db gumimembránnal van megoldva, a kis elmozdulás miatt. A szerkezet időbeni mozgását a 29-7b ábra mutatja.

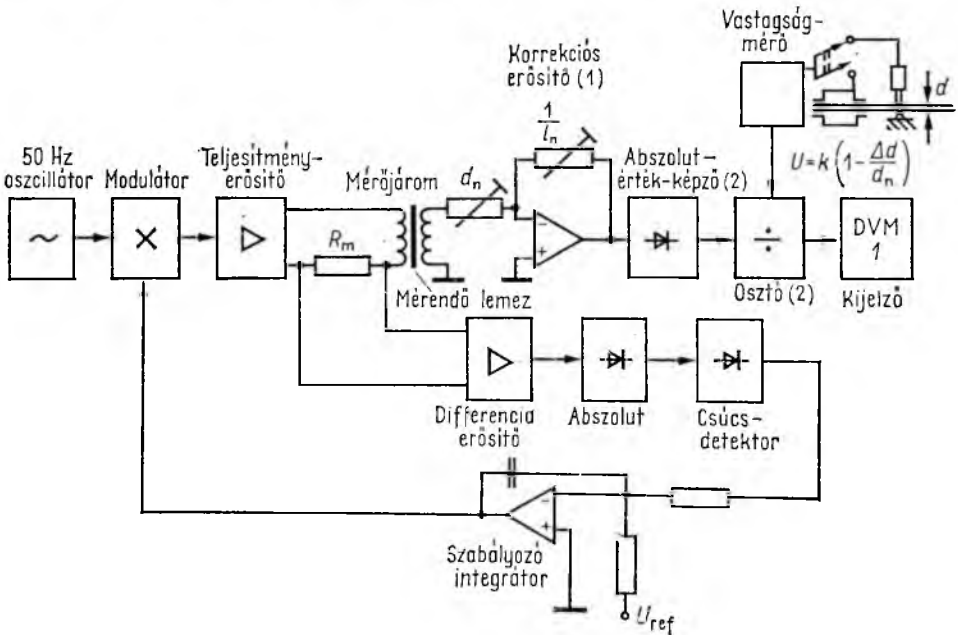
7. Mérőkörök

7.1 Fajlagos veszteségi szám

A berendezés 1,0 és 1,5 T indukciós értékénél méri a vizsgált lemez $v_{1,0}$ és $v_{1,5}$ fajlagos veszteségi számát. E mérési funkció során a berendezés áramkörei a 29-8. ábrán látható tömbvázlat szerint kapcsolódnak össze. Az összekapcsolás sorrendjét és a mérés



29-8. ábra. Fajlagos vattvesztésmérés tömbvázlata



29-9. ábra. A mágneses indukció mérésének tömbvázlata

lefolytatását a berendezés vezérlőegysége határozza meg. Az előírt 1,0 és 1,5 T indukció automatikus szabályozása a mérőtranszformátor szekunder tekercséről nyert feszültségnek a gerjesztőkörbe való visszacsatolásával érhető el [5], [6], [7], [8].

7.2 A B_{2500} mágneses indukció mérése

E mérési funkció során a berendezés áramkörei a 29-9. ábrán látható tömbvázlat szerint kapcsolódnak össze. Az összekapcsolás sorrendjét és a mérés lefolytatását a berendezés vezérlőegysége határozza meg. A felépített szabályozórendszer a primer csúcsmáramot megfelelő referenciafeszültség segítségével az előírt $H = 2500 \text{ A/m}$ -nek megfelelően állítja be. A B_{2500} mágneses indukció mérése a kettős járom szekunder feszültségének mérésével történik. A névleges I_n lemezszélességeknek és a névleges d_n vastagságnak megfelelő korrekció a korrekciós erősítőn (I) állítható be.

Az elektronikus osztó (2) kimenetén levő egyenfeszültségű jel a B_{2500} mágneses indukció értékével arányos és ezt a $DVMI$ jelzésű digitális feszültségmérő egység méri és jelzi.

7.3 A mágneses jellemzők mérésének ellenőrzése Epstein-kerettel

A mágneses jellemzők mérésére vonatkozó helyes működés ellenőrzésére egy 25 cm-es Epstein-keret szolgál, melyben az EURONORM 118. szerint előkészített lemezcsíkok vannak. Az Epstein-keret B_{2500} , $v_{1,0}$ és $v_{1,5}$ -nél van előre bemérve.

Az ellenőrzés során a $v_{1,0}$ és $v_{1,5}$ fajlagos vasvesztés mérése úgy történik, hogy a mérőjárom helyett az Epstein-keret van bekapcsolva. Az Epstein-keret szekunder tekercsét követő korrekciós erősítőbe (29-9. ábra) a d_n és I_n állítható korrekció helyett az Epstein-keret geometriájára jellemző állandó értékű korrekció van beépítve. Az elektronikus osztók a névleges lemezvastagságnak megfelelő értékű egyenfeszültséget kapnak, a járomkorrekció és anizotrópia szabályozási lehetőség kiiktatódik. Ezeket a beállításokat hitelesítés üzemmódban a vezérlőegység végzi el.

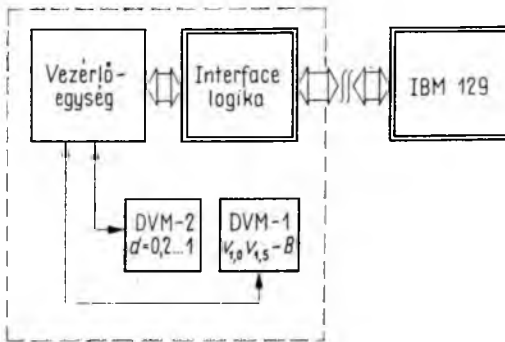
A hitelesítés üzemmódban az összes áramkör működése — a korrekciókat kivéve — azonos az előzőekben leírtakkal, így a berendezés helyes működése bármikor ellenőrizhető [6], [7].

7.4 Vezérlőegység

A berendezés vezérlését meghatározott logikai sorrendben digitális vezérlőegység végzi. A mérőberendezés és IBM 129 kártyalyukasztó kapcsolatát a mérőberendezésben megvalósított illesztőegység-logika biztosítja. Az illesztőegység csatlakozását a mérőberendezés egységeihez, valamint az IBM 129 kártyalyukasztó készülékhez a 29-10. ábra mutatja.

8. A berendezés működése

A berendezés működése a 29-11. ábra tömbvázlata, valamint a 29-12. ábra áramköri működési vázlata alapján követhető. A részletes áramköri ismertetés e cikk keretében nem célunk.



29-10. ábra. Interface logika

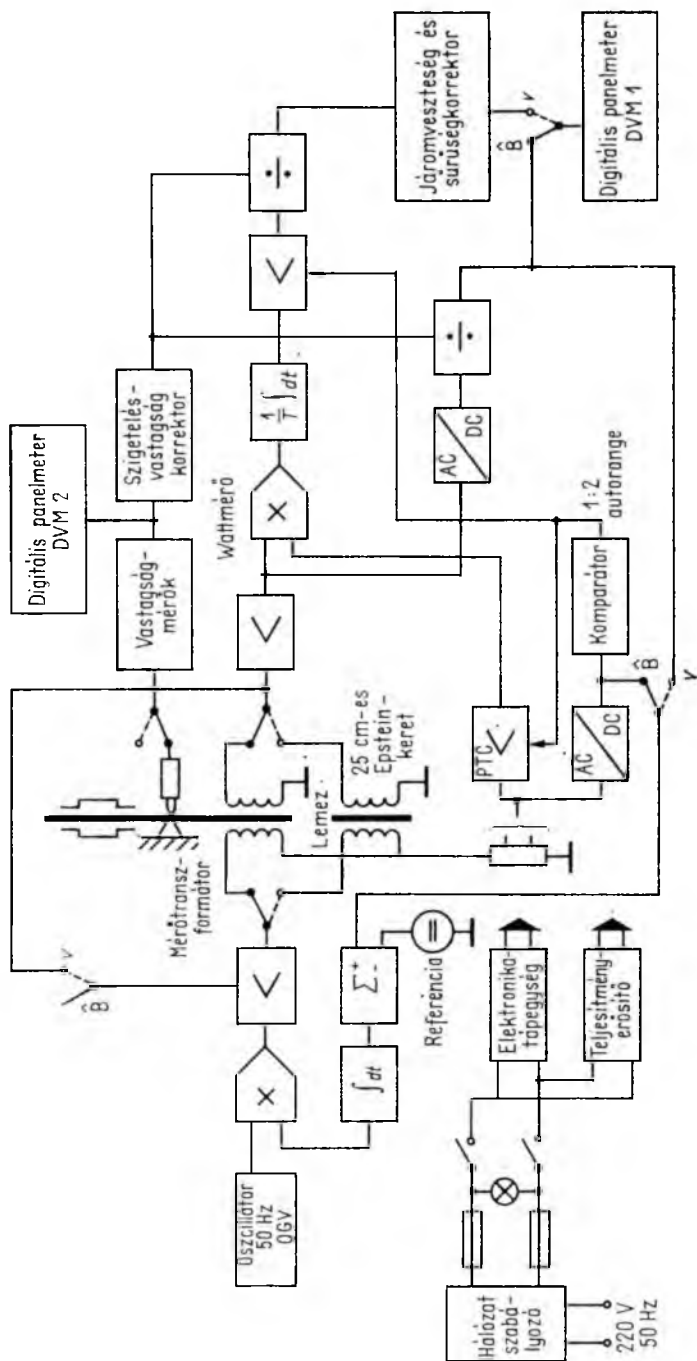
9. A fejlesztés további iránya

A vizsgálati módszereket lényegében két nagy csoportra oszthatjuk :

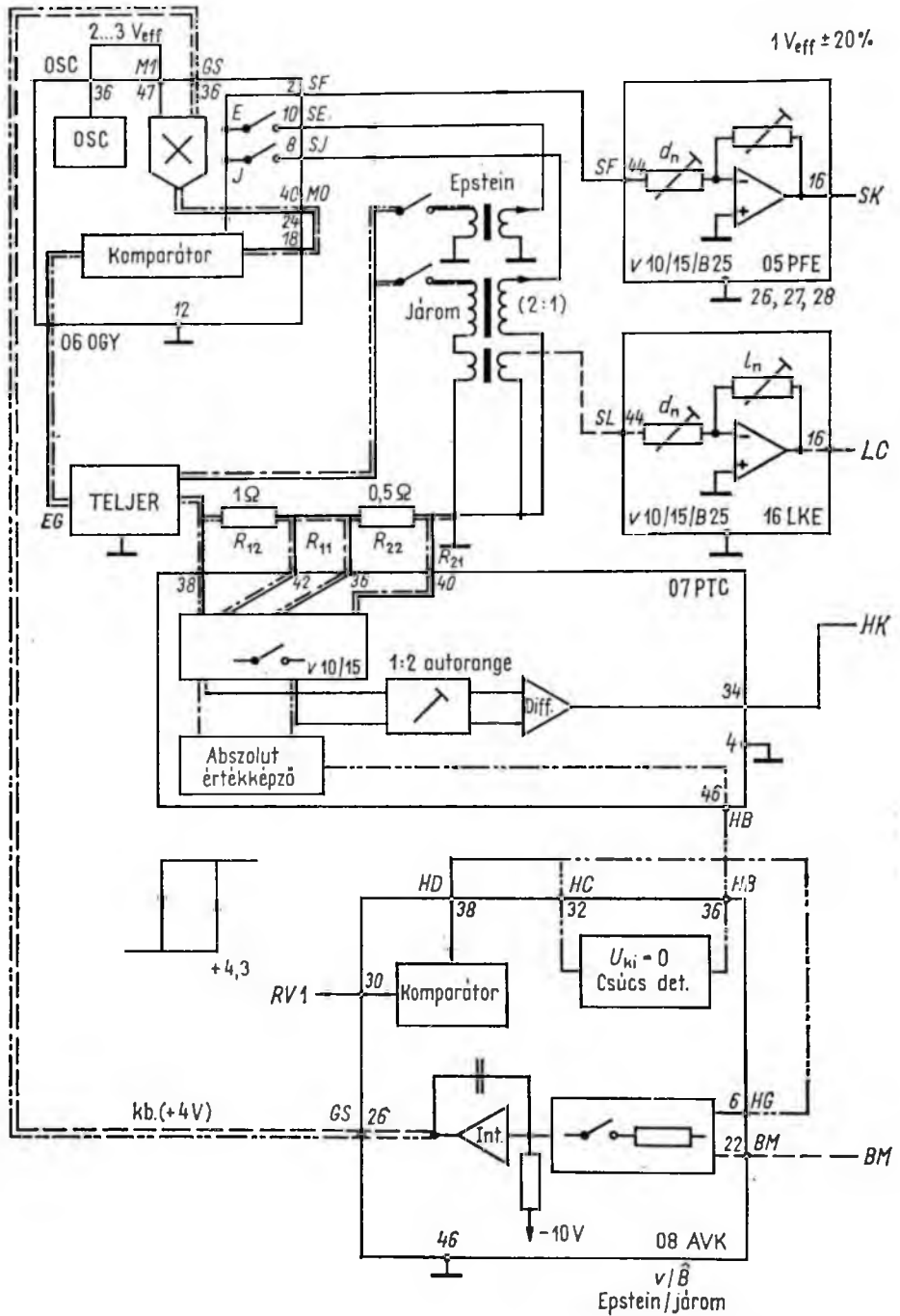
- a szabványos Epstein-keretben történő vizsgálat,
- az egész táblás, roncsolásmentes vizsgálat.

A vizsgálat elvégzésére kifejlesztett berendezések beruházási költségei között lényeges különbség van, s az eddig forgalomba hozott berendezések műszakilag is különböznek egymástól.

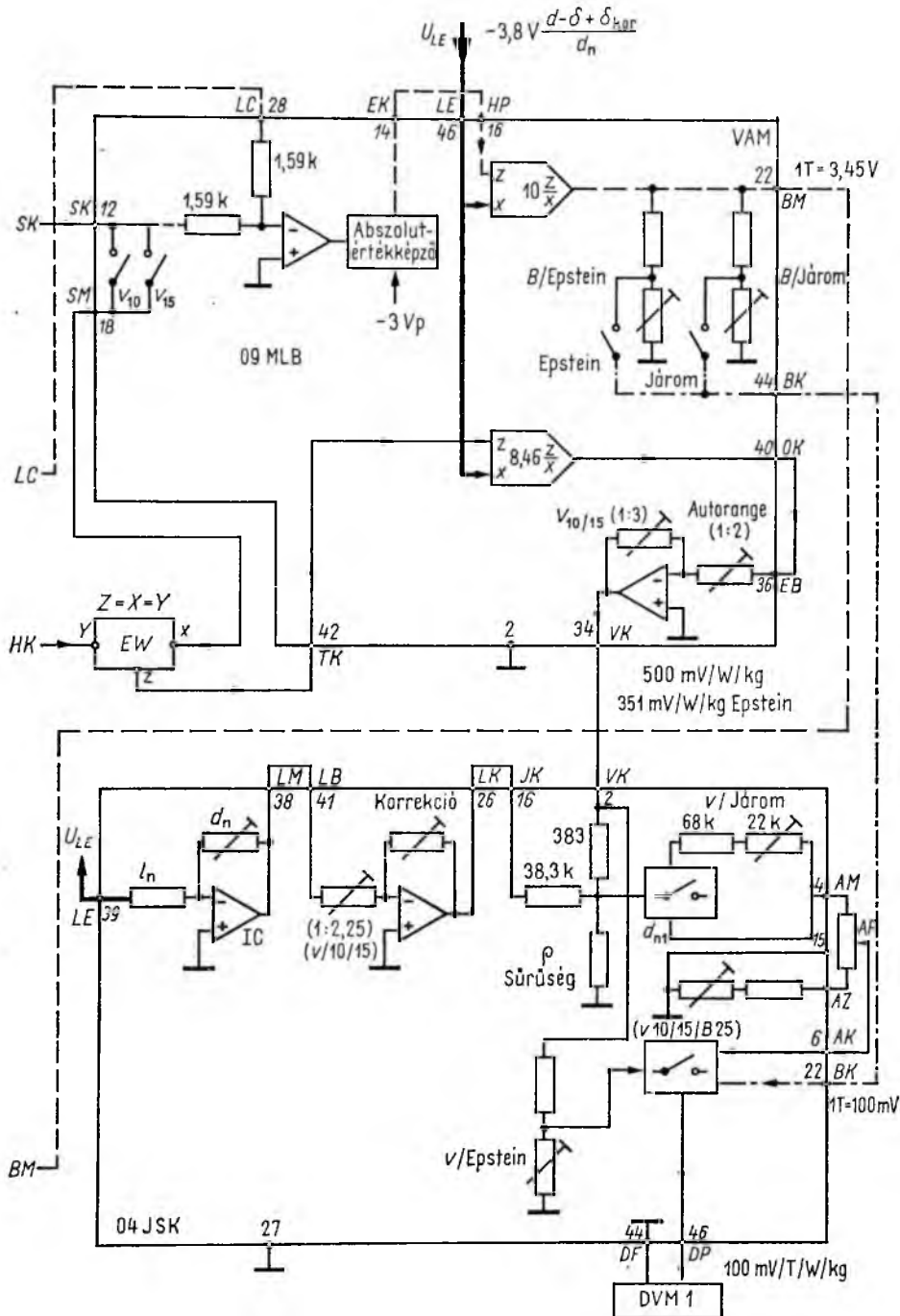
A mikroprocesszorok elterjedése ismét új fejlesztési lehetőségeket hozott magával. A további fejlesztés célja egy olyan berendezés, mely 25 cm-es Epstein-keretben, vagy egész táblás vizsgálatra egyaránt alkalmas. A mérések előkészítését és az eredmények numerikus jelzését, regisztrálását mikroprocesszor vezérli. A mérési feladatok felhasználói programokban adhatók meg, billentyűzettel vihetők be a készülékbe. A bebillentyűzött programok, kiindulási adatok és a mérés eredményei alfanumerikus kijelzőn és beépített mátrixnyomtatón jeleníthetők meg. A berendezés modulokból épül fel, amely egy berendezéscsalád kifejlesztésének alapja.



29-11. ábra. A fajlagos vattvesztesség mérőberendezés tömbvázlata



29-12. ábra. A berendezés működésének tömbvázlata



Irodalom

- [1] *Pádár István*: Hidegen hengerelt lemez és szalagacélok üzemi mérésére alkalmas automatikus, közvetlenmutató wattvesztésmérő berendezés. KGMFTI — Iparpolitikai tájékoztató 1975. N° 4 p. 51.
- [2] *Becker Lajosné—Pádár István*: Elektroacél lemezek mágneses vizsgálatának modellezése. Kandó KVMF III. Tudományos ülésszak. 1978. április p. 158.
- [3] *Dr. Kohut—Pádár—Tóth—Dr. Scultéty*: Hidegen hengerelt acéllemezek mágneses tulajdonságainak mérésére alkalmas automatikus berendezés rendszertechnikája és elektronikus egységei. Kandó KVMF. III. Tudományos ülésszak 1978. április p. 177.
- [4] *Shenk, W. E.*: The absolute measurement of energy loss in single strip of sheet iron or steel under alternating magnetization. Proc. ASTM vol. 42. pp 595–621, 1942.
- [5] *Harris, Mac Farlene*: The control of flux waveforms in iron testing by application of feedback amplifiers techniques. Proc. I.E.E. part A, volt 108. 1958.
- [6] *Pádár István—Dr. Scultéty László—Tapasztó István—Tar Ferenc*: Folyamatos wattvesztésmérő berendezés. 167.197 lajstromszámú magyar szabadalom.
- [7] *Pádár István—Fábián Tibor*: Közvetlenmutató elektronikus 1 kg-os Epstein-mérőkészülék. 156.097 lajstromszámú magyar szabadalom. Külföldi szabadalmak (francia—angol—jugoszláv—NDK—lengyel).
- [8] *Pádár István – Fábián Tibor – Dr. Horváth János – Vécsei István*: Hall-hatáson alapuló teljesítménymérő különös tekintettel a vasvesztég mérésére történő alkalmazásokra. 156. 344 lajstromszámú magyar szabadalom.

Tartalom

A 30 éves Villamosipari Kutató Intézet köszöntése (<i>Müller István</i>)	5
A 30 éves Villamosipari Kutató Intézet tevékenysége és eredményei (<i>Dr. Lukács József</i>)	7

Erősáramú elektronika és irányítástechnika

1. <i>Bencze János—dr. Török István</i> : Áramforrás-inverterről táplált aszinkron motoros hajtás üzemviszonyai és fordulatszám-szabályozása	13
2. <i>Bogosi György—László János</i> : Vizsgálatok vontatási célú váltakozóáramú hajtások hálózati visszahatásának csökkentésére	25
3. <i>Nattán Péter—Verebélyi György</i> : Inverter üzemben dolgozó hálózati kommutációjú áram-irányító kényszeroltású zárlatvédelme	33
4. <i>Molnár Károly—Bognár Endre</i> : Középfrekvenciás, rezgőkörös inverter 15 kV-os, szinuszos kimeneti feszültséggel	45
5. <i>Soós László—Vörös Miklós</i> : Külső impulzussal kommutáló inverter	59
6. <i>Husztai György—dr. Nagy László</i> : Követőszabályozással ellátott szinuszos kimeneti feszültségű inverterek analízise	71
7. <i>Dr. Nagy László—Prágai György</i> : Közepes és nagyteljesítményű híradástechnikai szünetmentes váltakozóáramú áramellátó rendszerek	81
8. <i>Kőhalmy Sándor—Pápai Zoltán</i> : Folytonos és diszkrét szabályozási rendszerek modellezése és digitális szimulációja	91

Nem kötőtpályás villamos járművek

9. <i>Glofák Péter—Halmai Géza—Kiss Miklós</i> : Modern csuklós trolibusz	109
10. <i>Pálfy Miklós—Kerényi István</i> : Középteljesítményű közúti villamos járművek hatótávolságnövelésének racionális lehetőségei	125

Villamos energia közvetlen előállítása

11. <i>Horváth Pál</i> : A cink elektrokémiájának néhány problémája	139
12. <i>Ágh János—Horváth Pál—Kulcsár Sándor</i> : Járműhajtási célra tervezett kémiai áramforrások kutatása	149
13. <i>Dr. Lukács József—Gadányi Péter</i> : Kis energiájú oxigénionok kölcsönhatása szilárd szén és platina targetekkel	163

Félvezető-, villamos- és hőtechnológiák

14. <i>Molnár István—Sztrókey István</i> : Korszerű hűtés alkalmazása a teljesítményelektronika területén	171
---	-----

15. <i>Török Tivadar—Keleti József—Katona Ábris</i> : A hővezető csövek méretezése és alkalmazása	189
16. <i>Böhönyi Ferenc—Palotai Géza</i> : Glimm-plazmatechnológiák fejlesztése és alkalmazása a VKI-ben	205
17. <i>Erdős József—Krajcsovics Ferenc—Mlinkó Tamás</i> : Plazmatechnológiai berendezés a házigyári betonpanelek hőkezelésére	219
18. <i>Pócsy Ferenc</i> : Nagyteljesítményű, sűrített levegővel működő plazmagenerátor	235
19. <i>Dr. Bogoly István—Francois Gézáné—Gyimóthy Kálmánné</i> : Vezérelt SiC-varistor vizsgálata a dinamikus karakterisztika visszatérő ágában	247

Villamos készülékek

20. <i>Dr. Néveri István</i> : Villamos érintkezők íveróziója	269
21. <i>Dr. Polgár Tibor—Szauter Ferenc</i> : Vákuumkontaktor-kutatás.	281

Szigeteléstechika

22. <i>Dr. Miszlivetz József—Bardócz László</i> : Villamos kis- és törpemotorok alapszigetelésének korszerű technológiája	297
23. <i>Dr. Leyrer Richárd</i> : Epoxigyanták öregedése napfény hatására	311
24. <i>Szaplonczay Pál—Koltai András</i> : Új eljárás a melegen térhálósítható öntőgyanták feldolgozására	325
25. <i>Dávid Péter—Zelenyánszki Endre</i> : Erősáramú kábelér-szigetelő poliolefinnek tartós feszültségállósága	337
26. <i>Vizér Mátyás</i> : Kémiaailag térhálósítható polietilénkoumpaundok fröccsöntése és tágítása	347
27. <i>Olchváry Gézáné</i> : Újabb kutatási eredmények a tömör korund kerámiai anyagok területén	357

Méréstechnika

28. <i>Gyimesi Ferenc—Pilinyi András—Tanos Ervin</i> : Kis elmozdulások és deformációk vizsgálata az interferometrikus lézersholográfia módszereivel	367
29. <i>Pádár István—Erdélyi Ferenc</i> : Vasvesztésgmérő berendezés kifejlesztése	381

Содержание

С 30-и летием Научно-Исследовательского Института Электрической Промышленности (И. Мюллер)	5
Деятельность и результаты 30-и летнего Научно-Исследовательского Института Электрической Промышленности (Д-р И. Лукач)	7

Силовая электроника и регулировочная техника

1. Рабочие характеристики и регулирование числа оборотов и привода асинхронного двигателя, питаемого от инвертора тока (Я. Бенце—Д-р И. Терек)	13
2. Испытания направленные на уменьшение обратного воздействия на сеть приводов переменного тока для тяговых целей (Д. Богоши—Й. Ласло)	25
3. Защита с вынужденным гашением от короткого замыкания в преобразователе тока с сетевой коммутацией, работающем в инверторном режиме (П. Намтан—Д. Вербейи)	33
4. Инвертор с среднечастотным колебательным контуром и 15 кв-ным синусоидальным выходным напряжением (К. Молнар—Э. Богнар)	45
5. Инвертор, коммутирующий посредством внешнего импульса (Л. Шош—М. Вораш) ...	59
6. Анализ инверторов с синусоидальным выходным напряжением, снабженных следящим регулированием (Д. Хусты—Д-р Л. Надь)	71
7. Системы непрерывного питания переменным током радиотехнических систем средней и большой мощности (Д-р Л. Надь—Д. Прагаи)	81
8. Моделирование и цифровая симуляция непрерывных и дискретных систем регулирования (Ш. Кёхалми—З. Папаи)	91

Шосейные свободные электрические транспортные средства

9. Современный сочленный троллейбус (П. Глофак—Г. Халмаи—М. Киши)	109
10. Рациональные возможности увеличения дальности действия дорожных электротранспортных средств средней мощности (М. Палфи—И. Керени)	125

Непосредственная выработка электрической энергии

11. Некоторые проблемы электрохимии цинка (П. Хорват)	139
12. Исследование химических источников тока для тяговых целей (Я. Аг—П. Хорват—Ш. Кульчар)	149
13. Взаимодействие кислородных ионов низкой энергии с твердой мишенью из угля и платины, часть II. (Д-р Й. Лукач—П. Гадани)	163

Полупроводниковые, электрические и тепловые технологии

14. Применение современного охлаждения в области силовой электроники (*И. Молнар—К. Строкаи*) 171
15. Расчет и применение теплопроводящих трубок (*Т. Терек—Й. Келети—А. Катона*) 189
16. Разработка и применение плазменных технологий с тлеющим разрядом в ВКИ (*Ф. Бёхёнеи—Г. Палотаи*) 205
17. Плазменно-технологическое оборудование для поверхностной обработки демонстрационных бетонных панелей (*Й. Эрдёш—Ф. Крайчович—Т. Млинко*) 219
18. Мощный плазмотрон, работающий с использованием сжатого воздуха (*Ф. Почи*) 235
19. Испытание управляемого варистора из карбида кремния в возвращающей ветви динамической характеристики (*Д-р И. Боголь—Ц. Франсуа—К. Димоти*) 247

Электрические приборы

20. Дуговая эрозия электрических контактов (*Д-р И. Нэвери*) 269
21. Исследование вакуумного контактора (*Д-р Т. Полгар—Ф. Саутер*) 281

Изоляционная техника

22. Современная технология основной изоляции малых и миниатюрных электродвигателей (*Д-р Й. Мисливец—Л. Бардоц*) 297
23. Старение эпоксидных смол под влиянием солнечного излучения (*Д-р Р. Лейпер*) ... 311
24. Новый метод обработки литевых смол, сшиваемых в горячем состоянии (*П. Саплонцаи—А. Кольтаи*) 325
25. Длительная стойкость напряжению полиолефинов, применяемых для межжильной изоляции в силовых кабелях (*П. Давид—Э. Зеленьски*) 337
26. Шприцевание и расширение полиэтиленовых компаундов, сшиваемых химическим путем (*М. Визер*) 347
27. Новейшие результаты исследований в области плотных корундовых керамических веществ (*Г. Олчвари*) 357

Измерительная техника

28. Испытание малых перемещений и деформаций методами интерферометрической лазерной голографии (*Ф. Димеши—А. Пилини—Э. Танош*) 367
29. Разработка оборудования, направленного на измерение потери в стали (*И. Падар—Ф. Эрдейи*) 381

Inhalt

Wir grüssen das 30-jährige Forschungsinstitut der Elektroindustrie (<i>I. Müller</i>)	5
Tätigkeit und Ergebnisse des 30-jährigen Forschungsinstituts der Elektroindustrie (<i>Dr. J. Lukács</i>)	7

Leistungselektronik und Regelungstechnik

1. Betriebsverhältnisse und Drehzahlregelung von umrichter gespeisten Asynchronmotoren mit eingepägtem Ständerstrom (<i>J. Bence—Dr. I. Török</i>)	13
2. Prüfungen zur Verminderung der Netzurückwirkung der für Traktionszwecke angewandten Drehstromantriebe (<i>Gy. Bogosi—J. László</i>)	25
3. Thyristor-Schnellschalter für netzgeführte Stromrichter (<i>P. Nattán—Gy. Verebély</i>)	33
4. Mittelfrequenz-Wechselrichter mit sinusförmiger 15 kV-Ausgangsspannung und Schwingkreislöschung (<i>K. Molnár—E. Bognár</i>)	45
5. Zwangkommutierter Wechselrichter mit äusserer Löschung (<i>L. Soós—M. Vörös</i>)	59
6. Analyse der mit Relais-Folgeregelung versehenen Wechselrichter mit sinusförmiger Ausgangsspannung (<i>Gy. Huszti—Dr. L. Nagy</i>)	71
7. Unterbrechungsfreie Mittel- und Hochleistungs-Wechselstrom-Stromversorgungssysteme für die Nachrichtentechnik (<i>Dr. L. Nagy—Gy. Prágai</i>)	81
8. Modellierung und digitale Simulation der kontinuierlichen und diskreten Regelungssysteme (<i>S. Köhalmi—Z. Pápay</i>)	91

Elektrische Fahrzeuge

9. Moderner Gelenk-Obus (<i>P. Glofák—G. Halmi—M. Kiss</i>)	109
10. Rationale Möglichkeiten der Reichweiteerhöhung bei den elektrischen Mittelleistungs-Strassenfahrzeugen (<i>M. Pálfi—I. Kerényi</i>)	125

Direkte elektrische Energieumwandlung

11. Einige elektrochemische Probleme des Zinkes (<i>P. Horváth</i>)	139
12. Forschung von elektrochemischen Stromquellen für Elektrofahrzeuge (<i>J. Ágh—P. Horváth—S. Kulcsár</i>)	149
13. Wechselwirkung von Sauerstoffionen niedriger Energie mit festem Kohlen- und Platintarget II. Teil (<i>Dr. J. Lukács—P. Gadányi</i>)	163

Halbleiter-, Elektro- und Wärmetechnologien

14: Anwendung der zeitgemässen Kühlung auf dem Gebiet der Leistungselektronik (<i>I. Molnár—I. Sztrókay</i>)	171
--	-----

15. Bemessung und Anwendung von Wärmeröhren (<i>T. Török—J. Keleti—Á. Katona</i>)	189
16. Entwicklung und Anwendung von Glimm-Plasmatechnologien im VKI (<i>F. Böhönyi—G. Palotai</i>)	205
17. Plasmatechnologische Einrichtung für Oberflächen-Wärmebehandlung der durch die Hausfabrik hergestellten Betonpaneele (<i>J. Erdős—F. Krajcsovic—T. Mlinkó</i>)	219
18. Mit Pressluft arbeitender Hochleistungs-Plasmagenerator (<i>F. Pócsy</i>)	235
19. Prüfung des gesteuerten SiC-Varistors im zurückkehrenden Zweig der dynamischen Charakteristik (<i>Dr. J. Bogoly—Frau C. Francois—Frau K. Gyimóthy</i>)	247

Schaltgeräte

20. Lichtbogenerosion von elektrischen Kontakten (<i>Dr. I. Néveri</i>)	269
21. Vakuumschützforschung (<i>Dr. T. Polgár—F. Szauter</i>)	281

Isolationstechnik

22. Moderne Technologie der Grundisolierung von elektrischen Klein- und Zwergmotoren (<i>Dr. J. Mislivetz—L. Bardócz</i>)	297
23. Die Lichtalterung von Epoxydharzen (<i>Dr. R. Leyrer</i>)	311
24. Neues Verfahren zur Verarbeitung der heiss vernetzbaren Giessharze (<i>P. Szaplóczay—A. Koltai</i>)	325
25. Dauerhafte Spannungsbeständigkeit der aderisolierenden Polyolefine der Starkstromkabel (<i>P. Dávid—E. Zelenyánszki</i>)	337
26. Spritzgiessen und Erweiterung von chemisch vernetzbaren PE-Kompaunden (<i>M. Vizér</i>) ...	347
27. Neuere Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Sinterkorund-Keramik (<i>Frau G. Olchváry</i>)	357

Messtechnik

28. Prüfung kleiner Verschiebungen und Deformationen mit den Methoden der interferometrischen Laserholographie (<i>F. Gyimesi—A. Pilinyi—E. Tanos</i>)	367
29. Entwicklung einer Einrichtung für Eisenverlustmessung (<i>I. Pádár—F. Erdélyi</i>)	381

Contents

Our congratulations to the 30-year-old Research Institute of the Electrical Industry (<i>I. Müller</i>)	5
Activity and results of the 30-year-old Research Institute of the Electrical Industry (<i>Dr. J. Lukács</i>)	7

Power electronics and control engineering

1. Operation performances and speed control of current source inverter drives (<i>By J. Bence—Dr. I. Török</i>)	13
2. Investigations on the suppress of mains disturbances of a.c. traction drives (<i>By Gy. Bogosi—J. László</i>)	25
3. Auxiliary forced commutation circuit for short-circuit protection to line commutated converters (<i>By P. Nattán—Gy. Verebély</i>)	33
4. A medium-frequency inverter with a parallel LC tank commutational circuit having a sinusoidal output voltage of 15 kV (<i>By K. Molnár—E. Bognár</i>)	45
5. Inverter commutating by an auxiliary impulse (<i>By L. Soós—M. Vörös</i>)	59
6. Analysis of inverters realizing a sinusoidal output voltage by the application of a Bang-Bang control (<i>By Gy. Huszti—Dr. L. Nagy</i>)	71
7. No break medium and high-power a.c. supply systems for telecommunication (<i>By Dr. L. Nagy—Gy. Prágai</i>)	81
8. Modelling and digital simulation of the continuous and discrete control systems (<i>By S. Kőhalmy—Z. Pápay</i>)	91

Electrical road vehicles

9. Modern articulated trolleybus (<i>By P. Glofák—G. Halmi—M. Kiss</i>)	109
10. Rational possibilities of improving the range of the intermediate-power electric road-vehicles (<i>By M. Pálfi—I. Kerényi</i>)	125

Direct energy conversion

11. Some problems of the electrochemistry of the zinc (<i>By P. Horváth</i>)	139
12. Research of the chemical power sources designed for vehicle drive (<i>By J. Ágh—P. Horváth—S. Kulcsár</i>)	149
13. Interaction of low-energy oxygen ions with solid carbon and platinum targets. part II. (<i>By Dr. J. Lukács—P. Gadányi</i>)	163

Semiconductor, electrical and heat power technologies

14. Application of the up-to-date cooling in the field of the power electronics (*By I. Molnár—K. Sztrókey*) 171
15. Dimensioning and application of heat-pips (*By T. Török—J. Keleti—Á. Katona*) 189
16. Development and application of the Glimm-plasma technologies in VKI (*By F. Böhönyei—G. Palotai*) 205
17. Plasma-technological equipment for surface heat-treatment of the concrete panels made in factories producing building elements (*By J. Erdős—F. Krajcsovics—T. Mlinkó*) 219
18. High-power plasma generator working with compressed air (*By F. Pócsy*) 235
19. Investigation of controlled SiC-varistor in the returning branch of the dynamic characteristic (*By Dr. J. Bogoly—Mrs. C. Francois—Mrs. K. Gyimóthy*) 247

Switchgears

20. Arc erosion of electrical contacts (*By Dr. I. Néveri*) 269
21. Research of vacuum contactors (*By Dr. T. Polgár—F. Szauter*) 281

Insulation technique

22. Up-to-date technology in the basic insulation of electric small and micromotors (*By Dr. J. Míszlivetz—L. Bardócz*) 297
23. Aging of epoxide resins under the influence of solar radiation (*By Dr. R. Leyrer*) 311
24. New process for processing the warmly cross-linking cast resins (*By P. Szaplóczay*) 325
25. Long-lasting voltage endurance of the heavy-current cable core-isolating polyolefine (*By P. Dávid—E. Zelenyánszki*) 337
26. Injection moulding and expansion of PE-compounds to be cross-linked chemically (*By M. Vízér*) 347
27. Newer research results in the field of sintered corundum ceramics (*By Mrs. G. Olchváry*) 357

Measurement technique

28. Investigation of small displacements and deformations by the methods of the interferometric laser holography (*By F. Gyimesi—A. Pilinyi—E. Tanos*) 367
29. Development of an equipment used for measuring core loss (*By I. Pádár—F. Erdélyi*) 381

