



**Villamosipari
Kutató Intézet
közleményei
12/1990**

Villamosipari Kutató Intézet
1158 Budapest, Cservenka Miklós u. 86.

Telefon: 252-5222

Telex: 22-6264

Telefax: 183-0323

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET
KÖZLEMÉNYEI

12

KÖZZÉTESZI:

DR. NAGY LÁSZLÓ

okl. villamosmérnök,
a műszaki tudomány kandidátusa,
az intézet igazgatója

SZERKESZTETTE:

a Szerkesztő Bizottság:

DR. BENCZE JÁNOS

okl. villamosmérnök,
az intézet tudományos igazgató-
helyettese

PRÁGAI GYÖRGY

okl. villamosmérnök,
irányítástechnikai szakmérnök,
a Teljesítményelektronikai Főosztály
vezetője

BOGNÁR ALAJOS

okl. villamosmérnök,
a Szigeteléstechnikai Főosztály
vezetője

SZTRÓKAY ISTVÁN

okl. villamosmérnök,
a Villamos Technológiák I. Főosztály
vezetője

DR. KULCSÁR SÁNDOR

okl. villamosmérnök,
a Villamos Technológiák II.
Főosztály vezetője

TALPAI JÓZSEF

okl. vegyészmérnök,
a Szigeteléstechológiai és Hő-
technikai Főosztály vezetője

DR. MOCSÁRY JÓZSEF

okl. villamosmérnök,
a műszaki tudomány doktora,
Eötvös Loránd-díjas,
az intézet ny. tudományos igazgató-
helyettese

WEINER GYÖRGY

okl. villamosmérnök,
a Villamos Hajtások és Irányítástechnikai
Főosztály vezetője

A kézirat lezárva: 1989 december

HU ISSN: 0139-3359

Megjelent a Műszaki Könyvkiadó gondozásában
Felelős kiadó: Dr. Nagy László a VKI igazgatója

90 072 NOVOTRANS Nyomda Budapest
Felelős vezető: Várlaki Imre

Dr. Néveri István

1931–1989



A Villamosipari Kutató Intézet Közleményeinek 12. száma az első, amelynek Szerkesztő Bizottságából — csakúgy, mint a cikkek szerzői közül is — hiányzik dr. Néveri István neve. 1989. július 22-én, hosszan tartó, gyógyíthatatlan betegség után elhunyt intézetünk második tudományos igazgatóhelyettese.

1931-ben született Nyíregyházán. A budapesti II. kerületi Egyetemi gimnáziumban érettségizett 1950-ben, majd 1954-ben a Budapesti Műszaki Egyetem (BME) Villamosmérnöki Karán szerzett erősáramú villamosmérnöki oklevelet. Egyetemi tanulmányainak befejezése után többek között a Budapesti Műszaki Egyetem (BME) Villamos Művek Tanszékén tanársegédként és a Villamos Erőmű Tervező és Szerelő Vállalatnál (VERTESZ) létesítménymérnöként dolgozott, majd 1959-ben tudományos munkatársként a Villamosipari Kutató Intézetbe (VKI) került. Az intézetben 30 éven keresztül dolgozva végigjárta az intézeti hierarchia minden lépcsőjét, amelynek legmagasabb fokát két és fél évvel előtt érte el, amikor az intézet tudományos igazgatóhelyettesévé nevezte ki az intézet igazgatója.

Néveri doktor mondhatni teljes életét az intézetnek és ezzel együtt az erősáramú elektrotechnikai kutatásnak szentelte. Az intézetet második otthonának tekintette, és ez egész tevékenységéből tüköződött.

Részben önállóan, részben munkatársaival közreműködve, az erősáramú villamos kapcsolókészülékek kutatása területén ért el kimagasló eredményeket. Közülük elsősorban említjük — a teljesség igénye nélkül — a villamos érintkezők kutatását, a különféle kis- és középfeszültségű kapcsolókészülékek kidolgozását, a különböző plazmatechnikai és plazmatechnológiai kutatásokat, a kis- és középfeszültségű áramkorlátozó olvadóbiztosítók kutatásában, továbbá a kisműködésű váltakozóáramú és egyenáramú zárlati laboratóriumok létrehozásában való hatékony közreműködését.

A saját és a korábban általa vezetett villamos készülék főosztály kutatási eredményeit száznál több hazai és külföldi előadásban és szakcikkekben ismertette.

A kis- és középfeszültségű kapcsolókészülékek kutatása területén elért eredményein alapult a Magyar Tudományos Akadémián 1963-ban sikeresen megvédett kandidátusi értekezése is. Ugyanebben az évben a Budapesti Műszaki Egyetemen műszaki doktorrá avatták.

Számos nagy jelentőségű találmány társszerzője.

A villamos érintkezőkkel és az érintkezés jelenségeivel foglalkozó nemzetközi konferenciákon (ICECP) rendszeresen előadásokat tartott külföldön is elismert kutatási eredményeiről. Eredményei és aktivitása alapján több, mint 10 éve beválasztották a konferencia igen tekintélyes Tanácsadó Testületébe, majd a legutóbbi ülésen alelnökké választották. Ez nemzetközileg is tekintélyt és elismerést jelentett nemcsak számára, hanem hazánk számára is.

Tagja volt az IEC és CIGRÉ magyar nemzeti bizottságainak és az MHD-kutatás területén létrejött sokoldalú nemzetközi tudományos-műszaki együttműködésben, kormány megbízás alapján, meghatalmazottként képviselte hazánkat.

Társadalmi-tudományos tevékenységét munkahelyén kívül a Magyar Tudományos Akadémia és az OMFB különféle bizottságaiban fejtette ki. Hosszú időn keresztül — haláláig — a Magyar Elektrotechnikai Egyesület társadalmi főtitkár-helyetteseként segítette az erősáramú villamos ipar fejlődését.

Munkájának eredményeit számos intézeti, társadalmi egyesületi és kormánykitüntetéssel ismerték el. Ezek közül a legjelentősebbek: VKI nívódíj, Kiváló Feltaláló arany fokozata, Bláthy-díj, Elektrotechnikai-díj, MTESz-díj, Munka Érdemrend arany fokozata.

Hosszú időn keresztül — a legutóbbi időben címzetes egyetemi tanárként — részt vett az erősáramú villamos mérnökök továbbképzésében; tagja volt a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Kar Erősáramú tagozata állami vizsgáztatóbizottságának.

Tudományos igazgatóhelyettesként az intézettel együttműködő vállalatok és intézmények vezetőivel és munkatársaival kialakított személyi és kollegiális kapcsolata kedvező hatással volt az intézet munkájára.

Dr. Néveri Istvánt nagy humán műveltségű, kiváló szakemberként ismerte az elektrotechnikai közvélemény.

A színvonalas munkát és a munkafegyelmet megkövetelő vezető volt. Vezetői munkastílusa határozott és következetes volt, tekintélyét nagyfokú szakmai tudásával és közvetlen magatartásával biztosította;

munkatársai tisztelték és szerették. Nagy gondot fordított a fiatal szakemberek és vezetői utánpótlás nevelésére, képzésére és előmenetelére.

A Villamosipari Kutató Intézet vezető munkatársai és

dolgozói, továbbá a Magyar Elektrotechnikai Egyesület vezetői és széles tábora 1989. július 31-én a Farkasréti temetőben őszinte tisztelettel vettek búcsút Tőle.

Intelligens, kedves, derűs egyéniségét megőrizzük.

Budapest, 1989. október 12.

Dr. Nagy László
a műszaki tudomány kandidátusa,
igazgató

Dr. Mocsáry József
a műszaki tudomány doktora,
ny. tudományos igazgatóhelyettes

Háromfázisú inverterek megvalósítása állásos követőszabályozással

DR. NAGY LÁSZLÓ—NÉMETH GÉZA

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk az egyfázisú állásos követőszabályozással megvalósított inverterekből kiindulva vázolja fel a háromfázisú rendszerek megvalósításának lehetséges útjait. Foglalkozik a háromfázisú hídkapcsolásra felépített szabályozási rendszer kialakításának elvi nehézségeivel, a megoldás módjával. Ismerteti a megvalósított megoldás működési folyamatait.

Üzemelő berendezéseken elvégzett vizsgálatok eredményei illusztrálják az elvi megoldás helyességét, ill. az állásos követőszabályozóval megvalósított háromfázisú inverterek gyakorlati alkalmazhatóságát.

DREIPHASENINVERTER MIT STELLUNGSFOLGEREGELUNG

DR. LÁSZLÓ NAGY—GÉZA NÉMETH

Zusammenfassung

Ausgehend von Einphasen-Invertiern mit Stellungsfolgeregelung schildert der vorliegende Aufsatz die möglichen Wege zur Verwirklichung von Dreiphasensystemen. Der Aufsatz beschäftigt sich mit den theoretischen Problemen des Aufbaus des Regelsystems auf Grund von Dreiphasen-Brückenschaltung sowie mit der Lösung dieser Probleme. Es werden die Arbeitsvorgänge des Systems beschrieben.

Die Versuchsergebnisse bestätigen die Theorie bzw. beweisen, daß Dreiphasen-Inverter verwirklicht mit Hilfe von Einphasen-Stellungsfolgeregelung zur praktischen Anwendung geeignet sind.

THREE-PHASE INVERTERS BUILT UP ON THE BASIS OF POSITIONAL FOLLOW-UP CONTROL

DR. LÁSZLÓ NAGY—GÉZA NÉMETH

Summary

This paper outlines the possible ways of bringing about three-phase systems on the basis of inverters built up by single-phase positional follow-up control. The paper deals with the theoretical problems involved in control systems built up on the basis of three-phase bridge circuits as well as with the solution of these problems. Described are also the operating processes of the system.

Testresults illustrate that the theory is correct and that three-phase inverters built up on the basis of positional follow-up control are suited for practical application.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ТРЕХФАЗОВЫХ ИНВЕРТОРОВ С ПОЗИЦИОННЫМ АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Д-Р. ЛАСЛО НАГЬ—ГЕЗА НЕМЕТ

Резюме

Исходя из осуществленных инверторов с однофазным позиционным автоматическим управлением, авторы статьи рассмат-

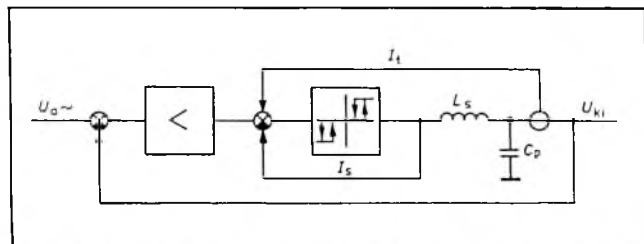
ривают возможные пути осуществления трехфазных систем. Они останавливаются на принципиальных трудностях создания системы регулирования, построенной на трехфазном мостиковом соединении, на способах решения вопроса. Они описывают процессы действия осуществленных решений.

Результаты исследований, проведенных на работающем оборудовании, подтверждают правильность принципиального решения и возможность применения на практике трехфазных инверторов с позиционным автоматическим управлением.

1. Bevezetés

A Villamosipari Kutató Intézetben a szünetmentes áramellátás területén évtizedek óta folyó kutatások jelentős szegmensét képezték a legutóbbi 15 évben az igényes fogyasztók táplálására szolgáló, különlegesen jó dinamikus tulajdonságú inverterek, amelyek kedvező sajátosságait az alkalmazott állásos követőszabályozós rendszernek köszönhetők.

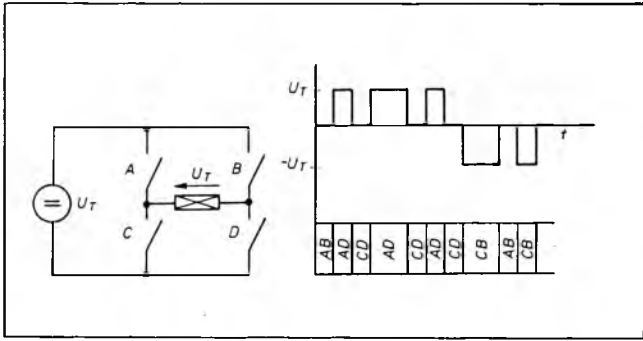
Az elmúlt időkben különböző publikációs fórumokon rendszeresen beszámoltunk az elvi kutatómunka, ill. a gyakorlati megvalósítás aktuális eredményeiről [1], [2], [3], [4]. Ezekből világosan megmutatkoztak az alkalmazott megoldás előnyös tulajdonságai: a szabályozási kör egyszerű felépítése és működése, a kimeneti szűrőkörök viszonylag csekély teljesítménye és mérete, valamint a kiváló tranziens viselkedés (1. ábra).



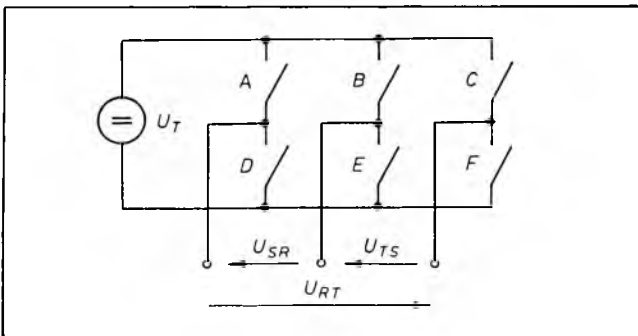
1. ábra. Állásos követőszabályozós rendszerű inverter szabályozási körének elvi felépítése

2. Az állásos követőszabályozás alkalmazása háromfázisú rendszerekben

Az általános követőszabályozással ellátott áramellátási inverterek eleinte csak egyfázisú változatban készültek. Az alkalmazások egy jelentős részénél szükséges há-



2. ábra. Egyfázisú hídkapcsolású inverter és a vele előállítható gerjesztőfeszültségek



3. ábra. Háromfázisú hídkapcsolású inverter elvi kapcsolása

romfázisú változatokat három egyfázisú egység megfelelő összekapcsolásával állítottuk elő. Ennek a megoldásnak kétségtelen hátránya volt, összehasonlítva pl. egy háromfázisú hídkapcsolású változattal, hogy összetettebb főáramkörében sokkal több áramköri elemet tartalmazott, ami magasabb költségszintet és nagyobb eladási árat, vagy — amennyiben ezt a piac nem akceptálta — kisebb nyereséget eredményezett. Annak oka, hogy ennek ellenére sok éven át mégis a „drágább” megoldást választottuk, az állásos követőszabályozással ellátott rendszerek működési módjában volt keresendő.

Ahhoz, hogy a problémát megértsük, vizsgáljuk a 2. ábra szerinti egyfázisú hídkapcsolású inverter működését. Az ábrán A, B, C, D -vel jelölt kapcsolóelemek megfelelő kombinációk szerinti működtetésével állítjuk elő a kimeneti szűrőkör gerjesztőfeszültségét, amely — elvileg ideális elemek alkalmazását feltételezve — a tápfeszültség pozitív vagy negatív előjelű értékét, vagy zérus értéket vehet fel. Állásos követőszabályozás alkalmazását feltételezve a gerjesztő feszültségre kiadódó modulációs kép nem állandó, meghatározott kiosztású, hanem éppen a rendszer sajátosságainak megfelelően szabadon kialakuló és változó a különböző zavaró hatásoknak megfelelően [4].

Tekintsünk most egy háromfázisú hídkapcsolású invertert (3. ábra). A szinuszos jelalakú, háromfázisú kimeneti feszültségrendszerre — pontosabban szólva a kimeneti feszültségrendszer alapharmonikusaira — igaz, hogy a három fázis- (vagy vonali) feszültség bármely időpillanatban vett összege zérus értékű. Mi a helyzet azonban a szűrőkörök előtt?

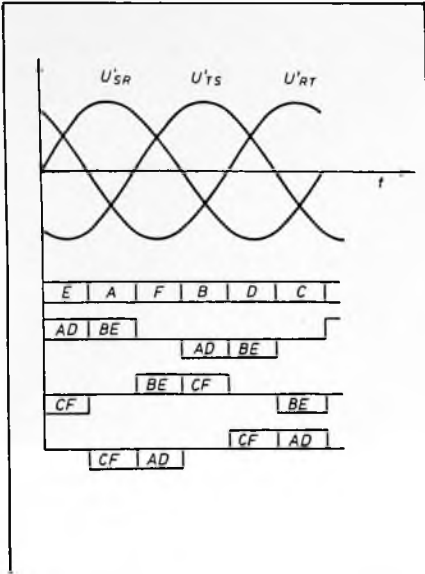
A háromfázisú, impulzusszélesség-modulációs inverterekkel foglalkozó szakirodalom igen sok olyan háromfázisú, hídkapcsolásokra alkalmazható modulációs képet ismer — elsősorban a villamos hajtások területéről — amelyek esetében a híd kimeneti feszültségeire is teljesül ez a feltétel. Ezek azonban mind ún. fix modulációs képek, azaz valamennyi kapcsolóelem meghatározott program szerinti sorrendi működtetése szükséges a feltehető teljesítéséhez. (Éppen ezért jellemző, hogy a kimeneti feszültség vagy áram amplitúdójának módosítása vagy a modulációs kép megváltoztatása nélkül történik egyéb módszerekkel, vagy más, de ugyancsak meghatározott kiosztásra vagy kiosztásokra való áttéréssel történik.)

Állásos követőszabályozás alkalmazása esetén a helyzet minőségileg más. Nincsenek rögzített modulációs képek, hiszen a módszer lényege éppen az, hogy a rendszer mindig maga választja meg a számára az adott körülmények között legkedvezőbb kapcsolási változatot.

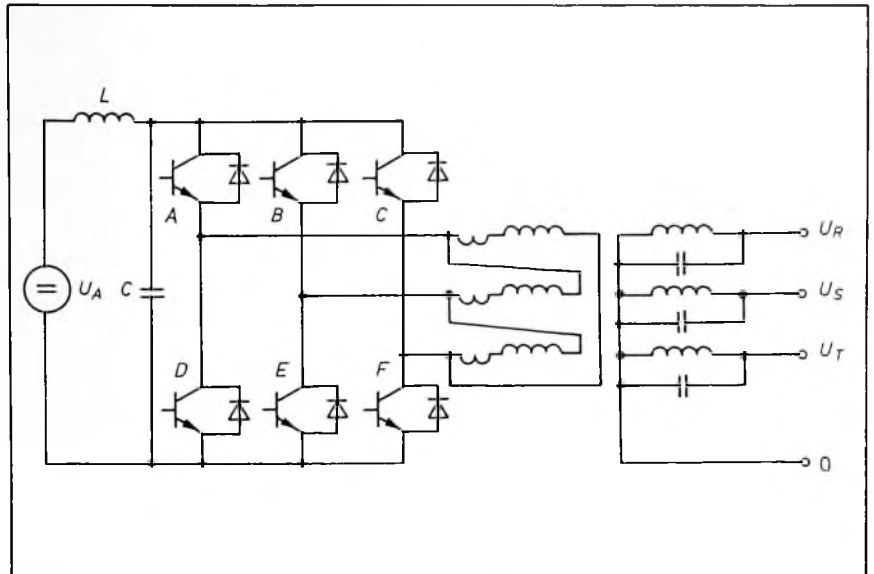
Ez azt jelenti, hogy pl. az U_{SR} feszültség kialakításához az A, B, C, D, E kapcsolókat kell a kívánalmaknak megfelelően működtetni. Az U_{TS} feszültséget a B, C, E, F az U_{RT} -t pedig az A, C, D, F kapcsolók határozzák meg. Állandósult állapotban, szimmetrikus terhelési állapotokat feltételezve természetesen az összes kapcsoló állapotai összerendelhetők úgy, hogy a szükséges, kölcsönös megfelelekezés fennálljon. Tételezzük fel, hogy éppen abban a helyzetben vagyunk, amikor fázisonként eltérő mértékű és jellegű, tehát erősen aszimmetrikus terhelésugrás következik be. Ennek legyen most az a legegyszerűbb esete, amelyben pl. csak az U_{SR} vonalban lévő terhelés nő meg jelentősen. Az állásos követőszabályozás működési módjából következően az adott vonalhoz tartozó — esetünkben A, B, C, D, E — kapcsolók azonnal parancsot kapnak a beavatkozásra, de ugyanakkor ugyanezen kapcsolók számára a másik két vonali feszültség vonatkozásában éppen kapcsolási állapotuk változatlanóságára vonatkozó utasítás van érvényben. Ha bármelyik követelménynek eleget akarunk tenni, megszegjük a többit.

Ez az ellentmondás eredményezte azt, hogy — mivel feloldani akkor még nem tudtuk — megtartani kívánván a rendkívül jó tranziens tulajdonságokat és a kimeneti szűrő csekély méreteit, háromfázisú rendszereinket három egyfázisú berendezésből építettük fel, amelyben az egyes fázis-, ill. vonali feszültségek egymástól független szabályozásának semmiféle korlátja nem volt.

Logikusan adódik a gondolat, hogy ha a túlhatározott feladatban a fennálló kötöttségek közül valamit oldani tudunk, megszülethet a megoldás. Ennek érdekében vizsgáljuk meg ismét az egyes vonali feszültségek előállításának lehetőségeit. Láttuk, hogy pl. az U_{SR} feszültséghez az A, B, D, E kapcsolók megfelelő működtetése volt szükséges. Ha e feszültség pozitív, felszálló ágában megelelszünk zérus és pozitív értékű gerjesztéssel, akkor ebben a tartományban az A vagy E kapcsoló állását rögzíthetjük és a szükséges gerjesztőfeszültséget B, E vagy A, D működtetésével állíthatjuk elő. Rögzítsük tehát E -t bekapcsolt állapotban, és A, D



4. ábra. A 3. ábra szerinti kapcsolók segítségével előállítható háromfázisú gerjesztőfeszültségek



5. ábra. Háromfázisú tranzisztoros inverter egyszerűsített főáramköri változata

modulálásával hozzuk létre U_{SR} -t. (E rögzítése természetesen azt jelenti, hogy a B kapcsoló állandóan nyitott helyzetben kell maradjon.)

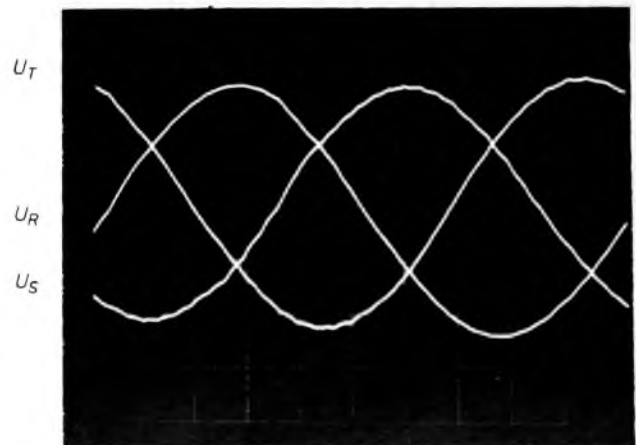
Rápillantva a 3. ábrára az is rögtön szembeötlő, hogy folyamatosan bekapcsolt E kapcsoló esetén C és F segítségével az $S-T$ pontok között 0 vagy a tápfeszültség negatív értékének éppen megfelelő feszültséget tudunk előállítani. A vizsgált tartományban ez éppen U_{TS} gerjesztőfeszültségnek felel meg. Azt tapasztaljuk tehát, hogy U_{SR} pozitív félperiódusának ebben az első 60° -os tartományában a B, E ág állapotának rögzítésével mind az U_{SR} , mind az U_{TS} vonali feszültségeket egymástól függetlenül tudjuk szabályozni. A harmadik feszültség a háromfázisú hídkapcsolású áramirányító kimeneti pontjaira csatlakozó transzformátor megfelelő kapcsain adódik ki, azaz tulajdonképpen magárahagyott. Minthogy az U_{RT} feszültségre nézve ez a tartomány a pozitív félperiódusának utolsó harmada, az a tény, hogy egyedi szabályozási köre itt hatástalan elhanyagolható, ill. be-kalkulálható hibát okoz csupán.

A felvázolt működtetési módot 60° -onként ciklikusan végigpörgetve jutunk el a 4. ábra szerinti rendszerhez, ahol az ott bemutatottaknak megfelelően rögzítjük az egyes kapcsolók állapotát, mellérendelve az éppen moduláló elempárosokat is. A fentebb elmondottakból következően mindhárom fázisfeszültségre önálló állásos követőszabályozási kört telepítünk, amelyek minden félperiódusban ciklikusan váltakozva egyharmad-egyharmad részben hatástalanok, amikor is a kimeneti körök kiegyenlítő hatása érvényesül.

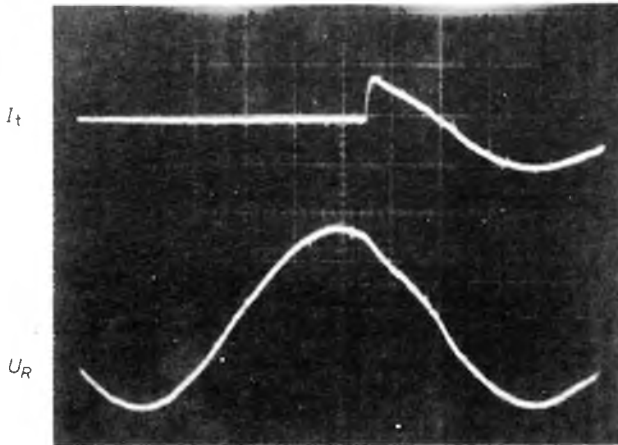
Egy háromfázisú tranzisztoros inverter egyszerűsített főáramköri vázlatát mutatja az 5. ábra. Az elrendezés érdekessége a speciális kialakítású főtranszformátor, amely megnövelt primer szórási reaktanciájával magába integrálja a szűrőkör soros fojtótekercsét és mágnesező-áramát a szűrőkör szekunder oldalán elhelyezett kondenzátoraiból nyeri.

3. A gyakorlati megvalósítás eredményei

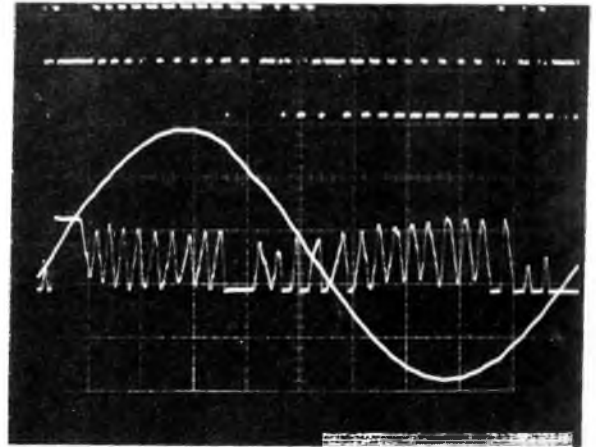
Az ismertetett rendszer szerint a Villamosipari Kutató intézet ma már néhány kVA-tól néhány száz kVA teljesítményig épít háromfázisú invertereket szünetmentes áramellátási célokra. A működés illusztrálására szolgáljon néhány oszcillogram, amelyek egy 50 kVA névleges teljesítményű berendezésen készültek. A 6. ábra a kimeneti feszültségeket mutatja. A 7. ábrán egy 100%-os terhelésugratás esetén mutatkozó tranziens eltéréseket láthatunk a terhelt fázis kimeneti feszültségében, mialatt a két másik fázis terheletlen. Ez egyben arra is példa, hogy a rendszerben az egyes fázisok között a 100%-os aszimmetria megengedett.



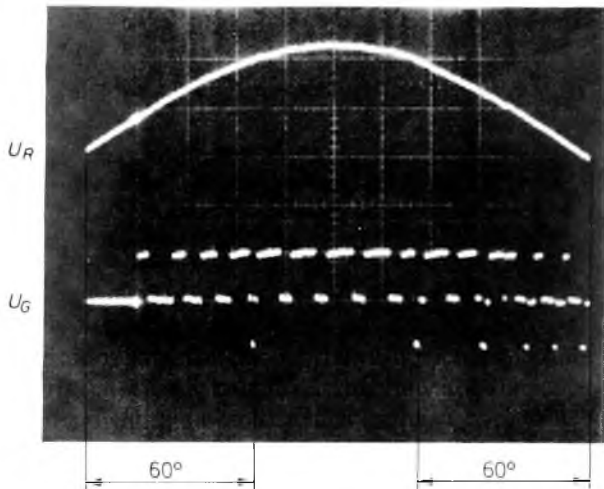
6. ábra. 50 kVA névleges teljesítményű háromfázisú inverter kimeneti feszültségei



7. ábra. 100%-os terhelésugratás kimeneti feszültségre gyakorolt hatása



8. ábra. Háromfázisú inverter egyik fázisége (U_R), gerjesztőfeszültség kör relé előtti hibajele



9. ábra. Egy, 60°-ra magára hagyott fázis hatása a kimeneti és a gerjesztőfeszültségre

A 8. ábrán a kimeneti feszültség mellett a hozzá tartozó gerjesztőfeszültséget és a szabályozási kör relé előtti hibajelét is feltüntettük a működés jobb követhetősége érdekében. Végül a 9. ábra jól szemlélteti, hogy egy-egy fázis 60°-ra történő magára hagyása milyen hatást eredményez. A kimeneti feszültségben ugyan nem

vehető észre, de a gerjesztőfeszültségben már jól megfigyelhetők azok a helytelenek tekinthető kapcsolási állapotok, amelyek annak következményei, hogy ez a feszültség csak a másik két, szabályozott eredményként adódik ki.

A gyakorlati üzemeltetési tapasztalatok is egyértelműen igazolják a kidolgozott rendszer kiváló tulajdonságait és jó általános alkalmazhatóságát. Ma már nemcsak a Villamosipari Kutató Intézet berendezései szolgáltatják a kedvező referenciát, hiszen 1988-ban a nyugatnémet AEG cég is megvásárolta az eljárást, ill. szabadalom hasznosítási jogát, és azóta invertereiben széleskörűen alkalmazza.

Irodalom

- [1] Dr. Nagy László: Relés követőszabályozás alkalmazása áramellátási inverterek megvalósításánál. VKI Közleményei 9. kötet, 1984.
- [2] Dr. Nagy László: Áramellátási inverterek állásos követőszabályozása. Automatizálás: XVIII. évf. 3. sz. 1985. március. 9–12. oldal
- [3] Dr. Nagy László: Néhány szempont az állásos követőszabályozással ellátott áramellátási inverterek szabályozási körének méretezéséhez. Villamosság 33. (1985) 12. sz.
- [4] Dr. Nagy László: A terhelési viszonyok figyelembevétele állásos követőszabályozással ellátott áramellátási inverterek elvi vizsgálatakor. Elektrotechnika 81 (1988), 1.

Váltakozóáramú hajtások rendszerzése

DR. BENCZE JÁNOS

ÖSSZEFOGLALÁS

A váltakozóáramú hajtások fejlődésének két egymással szorosan összefüggő oldala van:

- egyrészt a technológiai fejlődés mint igény a különböző paraméterű hajtásrendszerek létrehozására,
- másrészt az cszközrendszer fejlődése mint lehetőség a különböző szabályozott villamos hajtások megvalósítására.

A fentiekből adódóan egyre növekszik a szabályozott váltakozóáramú hajtások típusainak száma, és közöttük az eligazodás egyre bonyolultabb feladat.

A cikk azokat a lehetőségeket vizsgálja, amelyek alapján a hajtások rendszerezhetők és áttekinthetők.

SYSTEMATISIERUNG VON WECHSELSTROMANTRIEBEN

DR. JÁNOS BENCZE

Zusammenfassung

Die Entwicklung von Wechselstromantrieben wird durch zwei eng zusammenhängenden Faktoren, also

- einerseits durch die technologische Entwicklung als die Anforderung, Antriebssysteme verschiedener Parameter zustande zu bringen und
- andererseits durch die Entwicklung der Einrichtungen als die Möglichkeit, verschiedene geregelte elektrische Antriebe zu verwirklichen

bedingt.

Daraus folgt, daß die Zahl der verschiedenen Typen der Wechselstromantriebe stets zunimmt, so daß man sich immer schwerer auf diesem Gebiet auskennt.

Der vorliegende Aufsatz untersucht die Möglichkeiten einer Systematisierung der Antriebe, um eine bessere Übersicht der verschiedenen Typen zu ermöglichen.

SYSTEMATIZATION OF A.C. DRIVES

DR. JÁNOS BENCZE

Summary

There are two closely interrelated sides of the development of the a.c. drives namely

- technological development as a demand, to have drives with better parameters on one hand, and
- the development of the different high and low power devices as a possibility to implement the controlled electrical drives.

As a result of these two factors, the number and the variety of controlled a.c. drives keep increasing and it is therefore increasingly difficult to be at home among them.

The paper investigates to possibilities of finding a proper basis for systematization and overview of the drives.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПРИВодОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Д-Р. ЯНОШ БЕНЦЕ

Резюме

Развитие приводов переменного тока характеризуется двумя сторонами, тесно связанными друг с другом:

- во-первых, технологическое развитие как потребность к созданию систем приводов различных параметров,
- во-вторых, развитие систем средств, как возможность осуществления различных регулируемых электрических приводов.

Исходя из вышесказанного, всё более возрастает число типов различных регулируемых электрических приводов переменного тока, и разобраться в них становится всё сложнее.

В статье рассматриваются возможности, на основании которых можно систематизировать и сделать просматриваемыми эти приводы.

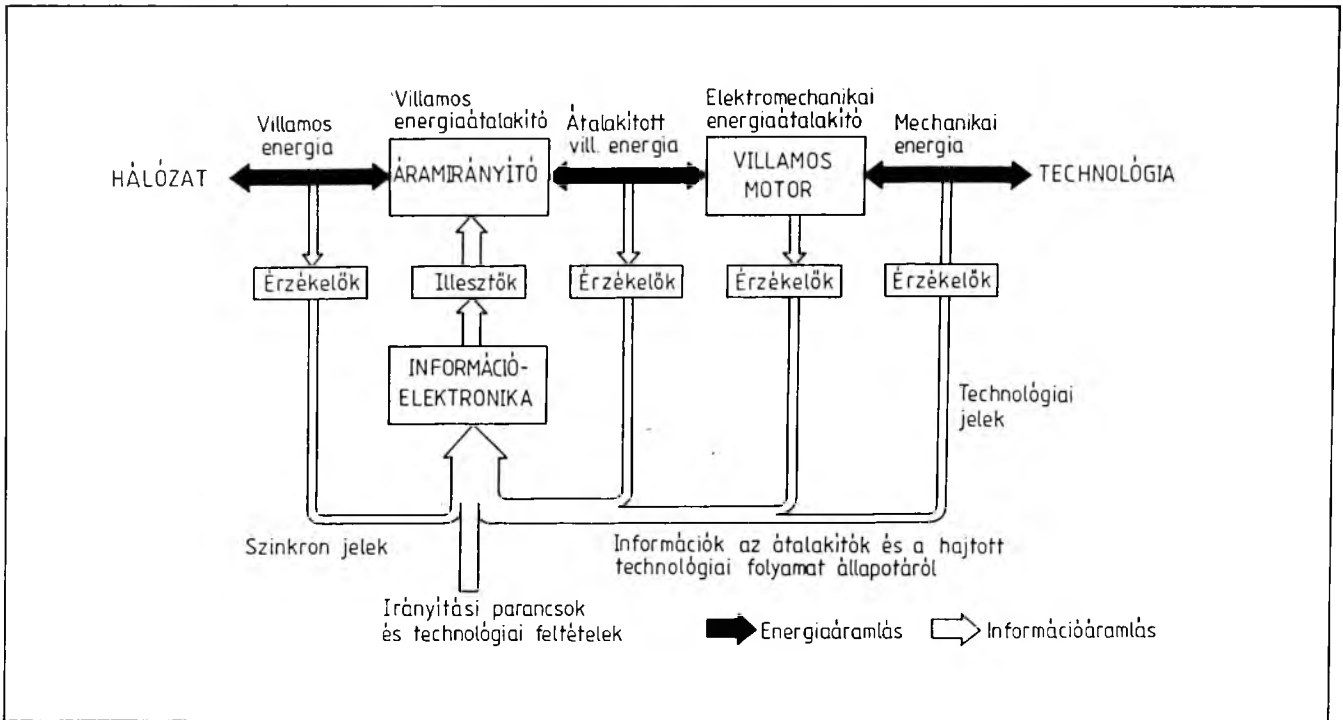
1. Bevezetés

A váltakozóáramú szabályozott félvezetős hajtások fejlesztése — a 10...15 évvel ezelőtti állapottal ellentétben ma már nem divat, hanem parancsoló szükségszerűség. Szükségszerűség, mégpedig azért, mert

- a megbízhatósággal szemben támasztott fokozódó, a korábbiakban el sem képzelhető szintű követelmények másképpen nem teljesíthetők (mint ismeretes, a váltakozóáramú motorok majdnem minden szempontból — a szabályozástechnikai tulajdonságokat kivéve — előnyösebbek, megbízhatóbbak, jobban gyárthatók, olcsóbbak, mint „testvérük”, az egyenáramú motor);
- a napról napra megjelenő, különböző új technológiai igények optimális kielégítése váltakozóáramú hajtások nélkül el sem képzelhető.

A megjelenő követelmények és igények önmagukban azonban kevesek. Kielégítésük csak úgy lehetséges, ha a megvalósítás feltételei is adottak. Ezeket a feltételeket elégitik ki a technika következő új eredményei:

- a közelmúltban megjelent, új struktúrájú, félvezető teljesítményelemek, az IGBT-k, a teljesítmény-MOS-FET-ek, a MOSFET-vezérelt tirisztorok (MCT), a SIT- és a SITh-clemek;



1. ábra. A villamos hajtások energiaátalakítási és irányítási folyamata, a választott rendszerezés alapja

- az ún. Smart-power IC-k vagy intelligens teljesítmény félvezetőeszközök, a növekvő integráltsági fokú irányítástechnikai félvezető-eszköztár;
- a különböző új technológiai eljárások;
- az új váltakozóáramú villamos gépek, mint pl. az állandómágneses motorok vagy a mintegy léptető üzemen dolgozó, kapcsolóüzemű reluktanciamotorok.

A vázlatosan ismertett elvárások és kielégítésük lehetőségeinek megjelenésével az elmúlt néhány évben sokféle váltakozóáramú hajtás jött létre. Ebben a sokféleségben az eligazodás egyre bonyolultabb feladat. A különféle hajtások tulajdonságainak összevetése több okból is szükséges és indokolt.

A felhasználóknak és tervezőknek tudniuk kell, hogy adott technológiai feladatra, adott hálózati paraméterek esetén — ismerve az egyéb feltételrendszert is — milyen hajtást kell kiválasztani. De ez csak a kérdés egyik fele. Bizonyos rendszerezés, a dolgok áttekinthetővé tétele, összegezése olyan következtetések levonására is alkalmas, amely a további fejlődés alapjául is szolgálhat. E megfontolások képezik az alapját a váltakozóáramú hajtások rendszerbe foglalásának.

A hajtások (esetünkben csak a váltakozóáramú, szabályozott hajtásokról van szó) rendszerezése több szempont alapján történhet. E szempontok kiválasztásához nyújt segítséget az 1. ábra, amely egy „általános hajtás” felépítését mutatja.

Az ábra szerint a különböző félvezető szabályozott váltakozóáramú hajtásokat a következő rendező elvek alapján csoportosíthatjuk:

- az alkalmazott áramirányító,
- az irányítás felépítése és struktúrája, vagy
- a választott villamos motor jellege

alján. Hogy ki melyiket választja a rendszerezés alapjául, az ízlés kérdése. Hogy mi szerint a legcélszerűbb rendezni a hajtásokat, az attól függ, hogy ki és milyen célból kívánja vizsgálni a különböző váltakozóáramú hajtásrendszereket.

Természetesen a rendszerezés alapja lehet más is, pl. a felhasználási terület, de úgy gondolom, hogy a legáltalánosabb az említett három szempont. Ezekkel foglalkozik a cikk kicsit részletesebben.

2. Váltakozóáramú hajtások rendszerezése az alkalmazott áramirányító alapján

Az IEC (International Electrotechnical Commission) meghatározása szerint az áramirányító (converter) egy olyan erősáramú elektronikai „aktív egység”, amely félvezetőkből és a hozzájuk szükséges segédelemekből áll, és az a „feladata”, hogy a villamos hálózatok egy vagy több jellemzőjét megváltoztassa. E jellemző lehet a feszültség, az áram, a frekvencia és a fázisszám.

Az energiaáramlás irányától függően beszélünk egyenirányítóról vagy váltóirányítóról. Az első esetben az energia a váltakozóáramú oldal felől az egyenáramú oldal felé irányul, az utóbbi esetben viszont az energiaáramlás fordított. A váltakozóáramú átalakítók váltakozóáramot váltakozóárammá alakítanak át, míg az egyenáramú átalakítók egyenáramot egyenárammá alakítanak. Ezek az átalakítók mindkét esetben lehetnek közbenső egyenáramú körös, ill. direkt rendszerek.

Az előbbieken kívül beszélhetünk még feszültség vagy áram jellegű átalakítókról. A feszültség jellegű átalakítók kimeneti feszültsége kondenzátorok segítségével szűrve van ($u_d \approx U_d$), a kimenő árama hullámos. Az áram jellegű átalakítók esetében a kimenő áram fojtótekercs közbeiktatásával szűrt ($i_d \approx I_d$), és a kimeneti feszültség hullámos.

Az áramirányítók lehetséges működési módjait a 2. ábra mutatja.

- Váltakozóáramú hajtásokhoz alkalmazhatunk
- hálózati kommutációs áramirányítót,
- terhelésoldali kommutációs áramirányítót,
- kényszerkommutációs áramirányítót.

Néhány példa az előzőekben felsoroltakra:

Hálózati kommutációs áramirányítót alkalmazunk

- a közvetlen frekvenciaátalakító hajtásokhoz, az ún. ciklokonverteres táplálású szinkron vagy aszinkron motoros hajtásokhoz;
- az áramirányítós kaszkád hajtásokhoz;
- kettős táplálású aszinkron kaszkádokhoz;
- a váltakozóáramú szaggatós (feszültségszabályozott), ún. antiduktoros aszinkron motoros hajtásokhoz.

Terhelésoldali kommutációs áramirányítót áramirányítós szinkron motoros hajtásokhoz alkalmazunk, mind külső mind permanens mágneses gerjesztésű gépekhez.

Kényszerkommutációs áramirányítót a különböző rendszerű frekvenciaátalakító aszinkron motoros hajtásokhoz alkalmazunk. Ide sorolhatók a működési elvüket tekintve korszerű kapcsolóelemekből, pl. a GTO-kból, az MCT-kből és a különböző új struktúrájú teljesítménytranszistorokból felépített átalakítók is, amelyek a szó hagyományos értelmében kényszeroltókört nem igényelnek. A 3. ábra az előbbieket áttekintését könnyíti meg [1].

Általános módszerek a rendszerezéshez:

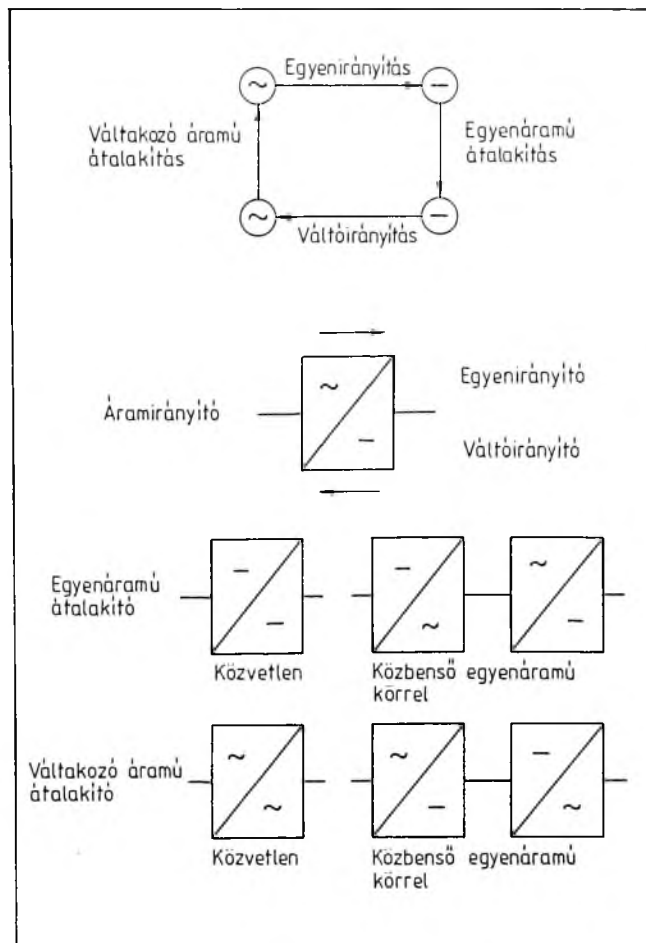
Érdekes megoldást, az előbbieknél sokkal általánosabb közelítést javasol az áramirányítók egy lehetséges rendszerezésére Nagahiko Nagosaka [2]. A módszer alapelve az, hogy célszerűen választott elemi áramkörökből „építkeznek”.

Két alapáramkörből indul ki — és azt mondja, hogy erre a két alapáramkörre, ill. ezek kombinációira minden áramirányító-elrendezés visszavezethető —, a feszültségcsökkentő és a feszültségemelő chopperből. Ezek természetesen önmagukban csak egyirányú energiaáramlást tesznek lehetővé. Általában a kimeneti (szekunder) feszültség modulált és változó, a bemeneti (primer) feszültség pedig állandó értékű. Jellemző az átalakítókra az i_1 primer áram és az u_1 primer feszültség, továbbá az i_2 szekunder áram és az u_2 szekunder feszültség. Ezekhez mind egy-egy megkülönböztetett jelzés tartozik. (Ez összesen hat paraméter.) Egy-egy alapáramkört ezeknek a segítségével jellemezhetünk.

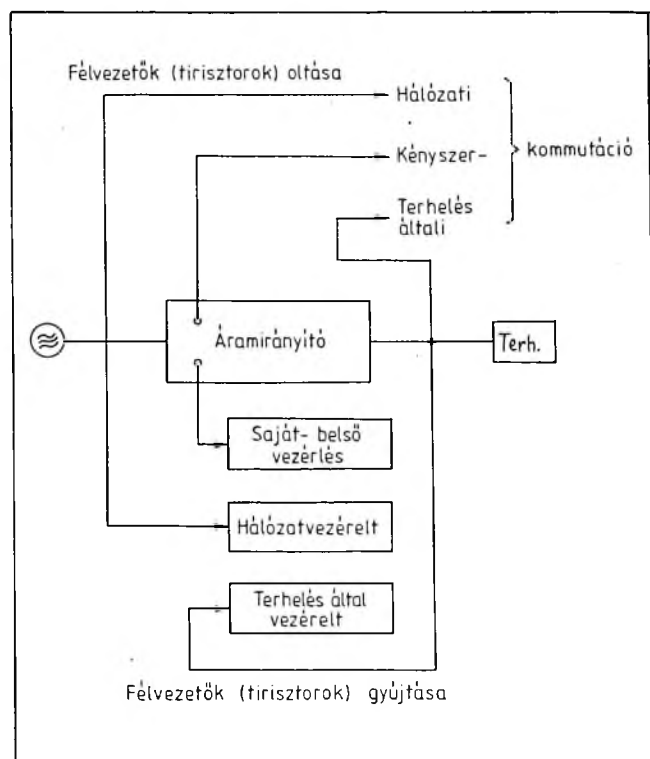
Többnégyszögű, többfázisú áramirányítókat az alapegységek soros, párhuzamos, ill. ellen- vagy ellenpárhuzamos kapcsolásával valósíthatunk meg. Lehet továbbá a primer és szekunder mennyiségek előjele azonos, ill. ellentétes. Ezek a kapcsolási módok és előjelek mindmind egy újabb jel segítségével fejezhetők ki. (Ez újabb nyolc paraméter.)

Valamely áramirányítót az említett jellemzőkből felépített „mátrix” segítségével írhatunk le.

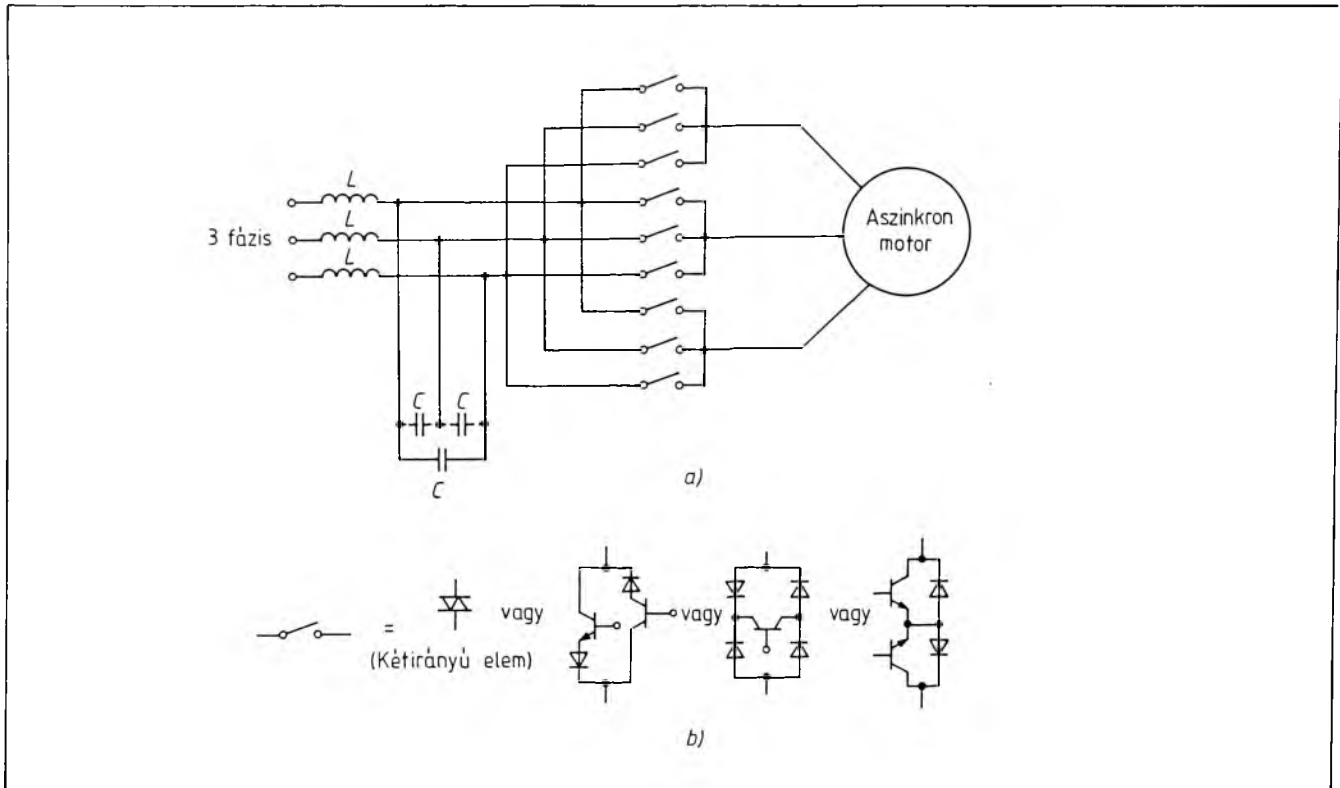
Hasonló érdekes megközelítést alkalmaz a Pely és Gyugyi, az ún. *mátrixkonverter* megalkotásával (4a ábra). A kilenc „kapcsolóelem mátrix formában helyezkedik el úgy, hogy a terhelés bármely fázisa a hálózat bár-



2. ábra. Áramirányítók lehetséges működési módjai



3. ábra. Áramirányítók osztályozása



4. ábra. A „mátrixkonverter” (a) és a „kapcsolóelem” (b) megvalósítása

mely fázisához kapcsolható legyen, a bemeneti feszültség polaritásától és a kimenő áram irányától függetlenül. Ehhez olyan „kapcsolóelemek” szükségesek, amelyek mindkét irányban vezetik az áramot, ill. adott zárófeszültségig mindkét irányban igénybe vehetők, továbbá nyitóirányú vezetésük alatt is olthatók. Ma még ilyen „kapcsolóelem” nincs, de fejlesztésükre jelentős erőfeszítéseket tesznek (MCT). E „kapcsolóelemek” a 4b ábrán látható áramkörökkel helyettesíthetők [3].

Célszerűen választott vezérlési algoritmus esetén, a mátrixkonverter alkalmas az alapharmonikusra vonatkoztatott induktív, kapacitív vagy egységnyi teljesítménytényezővel üzemelni, induktív terhelés és váltakozó kimenő frekvencia esetén is. Ebből következik, hogy a mátrixkonverter négynegyedes üzem megvalósítására is alkalmas. Mivel az elrendezésben nincs közbenső egyenáramú kör, a rendszer hatásfoka is jobb a korábban használatos elrendezéseknél.

3. Váltakozóáramú hajtások rendszerezése az irányítórendszer alapján

A váltakozóáramú hajtások nemcsak az energiaátalakítót, az áramirányítót tekintve bonyolultabbak és összetettebbek az egyenáramú hajtásoknál, hanem összetettebb szabályozórendszert is igényelnek. Ezt az esetek többségében csak egy *többparaméteres szabályozórendszer* segítségével lehet kielégíteni, amelynek a bemeneti mennyisége, a feszültség, az áram és a frekvencia lehet, viszont a szabályozó kimeneti paramétere lehet a forduló-

latszám, a pozíció, a nyomaték, a légrésfluxus, az állórészáram, ... stb. vagy ezek kombinációja.

A szabályozás megvalósítható analóg és digitális úton. Ez utóbbi módszer, bár elviekben lényegesen bonyolultabb, statikus paramétereit tekintve sokkal jobb minőségű szabályozást biztosít. Az integráltsági fok növekedésével a különböző elemek, ill. elemcsoportok ára jelentősen csökken, és egyidejűleg megbízhatóságuk hatványozottan növekszik. Ilyen nézőpontból a mikroprocesszorral épített digitális szabályozórendszer lényegesen olcsóbb, megbízhatóbb.

A lényeg azonban természetesen nem ez. A váltakozóáramú hajtások „irányítás” alapján történő rendszerezése szempontjából a legszerencsésebbnek tűnik, ha a vezérlő- és a szabályozórendszereket struktúrájuk alapján osztályozzuk, ill. rendszerezjük.

Ez utóbbira E. Seefried és W. Hofmann drezdai kutatók munkája nyújt példát [4]. A módszer lényege az, hogy az adott szabályozási struktúrát az állapotegyenletek segítségével, az állapotmódszerrel közelíti meg. Ennek előnye elsősorban az, hogy az állapotváltozók fizikailag valós mennyiségek.

A szerzők linearizált formában írják fel az egyenletrendszereket a rendszermátrix, a kimeneti mátrix, a gerjesztő (bemeneti) mátrix és az átviteli segédmátrix segítségével, figyelembe véve az állapotvektort, a gerjesztő (bemeneti) vektort és a kimeneti vektort.

A lehetséges variációkat a szerzők jól áttekinthető, táblázatos formában mutatják be. Ebből kiderül, hogy az állapotváltozók direkt szabályozása csak modelllekepezés segítségével valósítható meg (ilyen pl. a mezőorientált szabályozás), ill. a beavatkozó jelek követő szabályozásával indirekt szabályozás is megvalósítható.

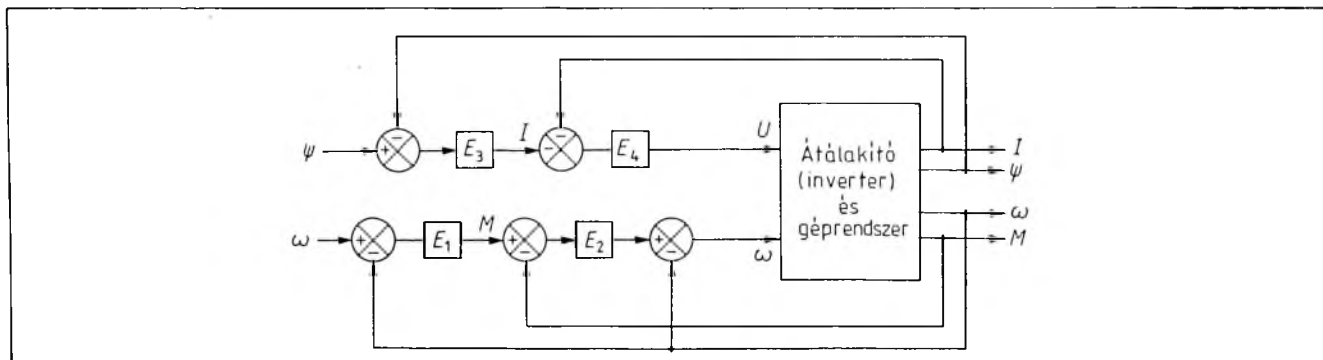
A hajtás kívánt dinamikájú szabályozásának előfelté-

tele, hogy a villamos gépben a nyomatékot és a fluxust külön-külön lehessen szabályozni. (Az egyenáramú hajtások esetében ez önmagától adódik az armatúrákör és a gerjesztés szabályozásával. A fluxus és a nyomaték külön-külön változtathatóságának igénye abból adódik, hogy a fluxus változtatásának időállandója (gerjesztőköri időállandó) lényegesen nagyobb, mint az armatúraáram változtatási időállandója. Jó dinamikai tulajdonságokkal rendelkező szabályozást csak úgy biztosíthatunk, ha a nyomatékot csak az armatúraáram segítsé-

lyen hajtást választunk ki. A kiválasztás lehetséges, számos szempontja közül a két legfontosabb:

- az adott, irányítani kívánt technológia ismerete, ill. igénye a hajtással szemben,
- a működtetés céljára rendelkezésre álló villamos erőátviteli hálózat állapota, milyensége.

Ezekon kívül természetesen még más szempontok is léteznek, pl. a gazdasági kérdések, amelyek érintik a beruházási és az üzemeltetési költséget (hatásfok, teljesít-



5. ábra. Váltakozóáramú hajtásrendszer zárthurku szabályozási struktúrája

gével változtatjuk. A cél tehát olyan szabályozási módszer kidolgozása, amely lehetővé teszi, hogy az „egy tekercs rendszerű” aszinkron motort ugyanúgy tudjuk szabályozni, mint az egyenáramú motort. Erre dolgozott ki módszert F. Blaschke (Siemens) és W. Leonard (Braunschweig Egyetem) professzor az 1970-es évek elején. Ez az ún. *mezőorientált szabályozás*.

Az 5. ábrán vázolt, egyszerűsített szabályozási séma lényege éppen az előzőekben vázolt feltételek biztosítása. Látható, hogy az egyik hurokrendszer a fluxust és az áramot, míg a másik hurokrendszer a szögsebességet, ill. a nyomatékot szabályozza. Mind a két rendszer belső szabályozóköre valamiféle kapcsolatban van az árammal. Az áramot d és q irányú összetevőre bontja. A d irányú összetevő, az I_d áram szolgál a fluxus szabályozására, a q irányú összetevő, az I_q áram viszont a nyomaték szabályozására szolgál. Az 5. ábra szerint a szögsebesség-szabályozás legbelső, alárendelt szabályozóköre a szlipiszabályozásról gondoskodik.

4. Váltakozóáramú hajtások rendszerezése a választott villamos motor alapján

A váltakozóáramú hajtások villamos motor szerinti rendszerezése a probléma megoldásának a praktikus oldalára világít rá. Az eredményt az 1. táblázat mutatja.

A táblázat használatához némi magyarázatul az szolgálhat, hogy közel sem mindegy, hogy adott célra mi-

ménytényező, karbantartás, ... stb.), amelyek mind döntőek egy-egy hajtás kiválasztásánál.

Tapasztalat szerint ma egy adott feladatra alkalmas hajtás kiválasztása során nem elég alaposan vizsgálják az előbbi feltételeket, és így nem az optimális, a célnak legjobban megfelelő hajtást választják ki. (Erre az energiaárak sem ösztönöznek.) Tudva azt, hogy az 1. táblázatban bemutatottak nem helyettesítik a hajtás „környezeti feltételeinek” részletes vizsgálatát és számításait, de mindenképpen gondolatébresztőek, valami praktikus segítséget nyújtanak. Fel kívánják hívni a figyelmet arra, hogy milyen alapvető tulajdonságai vannak a különböző hajtásoknak, hogyan viselkednek azok a terhelés hatására, hogyan hatnak vissza a hálózatra.

5. Összefoglalás

Az elmúlt évtizedben a váltakozóáramú szabályozott hajtások alkalmazási köre jelentősen bővült. Bővült, mert az erősáramú elektronika olcsóbb, könnyebb, jobb hatásfokú, rugalmasabb rendszerek megvalósítását tette, ill. teszi lehetővé, mint a hagyományos mechanikus, valamint az elektromechanikus rendszerek.

E terület technikai, technológiai fejlődése, a korszerű erősáramú félvezető eszközök és a mikroprocesszorok, mikroszámítógépek megjelenése és ipari alkalmazása a folyamatot tovább gyorsítja, mert ma már olyan rendszereket tudunk megvalósítani, amelyeket a korábban rendelkezésre álló eszközök még nem tettek lehetővé.

Az elmondottak indokolják a váltakozóáramú hajtások rendszerezését, rendszerben való áttekintésüket, amely több szempontból is szükséges, hasznos és előremutató [5].

Irodalom

- [1] *Kjeld Thorborg*: Power Electronics; Prentice Hall; England, 1988
- [2] *Nagahiko Nagosaka*: A Classification of A.C. Motor Variable Speed Drives and Brushless Commutator Motors; ICEM'80, Athens, PE 7/5.
- [3] *Thomas Lipo*: Recent Progress in the Development of Solid-State A.C. Motor Drives; IEEE. Trans. PE. Vol.3; No.2; April 1988. pp: 105–117
- [4] *Dr. Sc.tech. E. Seefried—Dipl. Ing. Hofmann*: Inverterről táplált aszinkron motoros hajtások szabályozása. 4. Erősáramú Elektronika Konferencia Budapest '81. pp: II/31–40
- [5] *Bencze János*: Váltakozóáramú szabályozott hajtások fejlesztése, rendszerezése és fejlődési irányai. Egyetemi doktori értekezés. Budapest, 1988.

1. táblázat

Váltakozóáramú hajtások rendszerezése a villamos motor szerint

MEGNEVEZÉS	ASZINKRON MOTOROS HAJTÁSOK					SZINKRON MOTOROS HAJTÁSOK				KÜLÖNLEGES HAJTÁSOK		
	Váltakozóáramú szaggató táplálással	Négyzöghullám kimenetű inverteres táplálással	PWM inverteres táplálással	Áraminverteres táplálással	Ciklokonverteres táplálással	Áramirányító kaszkád	Kettős táplálású aszinkron kaszkád	Áramirányító szinkron motor	Ciklokonverteres táplálással	Permanens mágneses gép áramirányító táplálással	Reluktanciator áramirányító táplálással	Szervo hajtások
Egyszerűsített kapcsolási vázlat												
Jelleggörbe												
Üzemmod ¹ $\frac{M}{n}$	1, 2, 3, 4	1, 3, (2, 4)	1, 3, (2, 4)	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4		1, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4
Teljesítmény [kW]	1 150 (2000)	1 500	1 500 (2000)	10 1500	500 10000	10 5000	300 5000	50 40 000	500 10000	0,05 100	2 1000	0,3 10
max. Fordulatszám [1/perc] átfogás	3000 1:10	5...6000 1:10	5...6000 1:100	5...6000 1:20	max. 1000 1:100	1000 1:2 (1:3)	4500 1:4	6000 1:50	max. 1000 1:100	3...600 1:100	10000 1:1000	3...6000 1:100
Áramirányító	Hálózatvezérelt	Kényszerkommutáció vagy oltható „kapcsolóelem”	Kényszerkommutáció vagy oltható „kapcsolóelem”	Kényszerkommutáció	Hálózatvezérelt	Hálózatvezérelt	Hálózatvezérelt	Hálózatvezérelt (terhelés által kommutált)	Hálózatvezérelt	Hálózatvezérelt (terhelés által kommutált) Kényszerkommutáció v. oltható „kapcsolóelem”	Kényszerkommutáció vagy oltható „kapcsolóelem”	Kényszerkommutáció vagy oltható „kapcsolóelem”
Mezőgyengítés	–	Igen	Igen	Igen	Nem	Nem	Nem	Nem	Nem	Nem	Nem	Nem
Felharmonikusok	Jelentős felharmonikus tartalom; – „szennyezi” a hálózatot – „fűti” a motort	Jelentős felharmonikus tartalom; – „szennyezi” a hálózatot – „fűti” a motort (különösen alacsony fordulatszám)	A gép feszültsége és árama közel szinuszos. A hálózatot az áramirányító minimálisan „szennyezi”	A hálózatban és a motorban egyaránt jelentkeznek a 6 ütemű egyenirányítás okozta áramhullámosság	A feszültség és áram alakja közel szinuszos	Jelentős felharmonikus tartalom – „szennyezi” a hálózatot – „fűti” a motort	Ciklokonverter alkalmazása esetén a feszültség- és áramfelharmonikusok elhanyagolhatók	Viszonylag nagy A motort a felharmonikusok „fűtik”	Megfelelő vezérlés esetén a feszültség és az áram alakja közel szinuszos	A kapcsolástól függ	A motor üzemét nem zavarja. A hálózat szempontjából attól függ, mivel állítják elő a közbenső cá. kört	Alig, de nincs is jelentősége a kis teljesítmény miatt
Nyomatéklüktetés	Nagy frekvenciájú	Kis fordulaton okozhat gondot	Nagy frekvenciájú, emiatt a fordulatszám-lüktetés elhanyagolható	Kis fordulaton okozhat gondot	Minimális	Minimális	Minimális	Kis fordulaton jelentős	Elhanyagolható	Elhanyagolható	A gép kiképzésétől függ a mértéke; a „léptető üzemmód” miatt van	Tetszőlegesen kicsi
Teljesítménytényező	A gyújtásszögvezérlés miatt a teljesítménytényező rossz	Viszonylag rossz	Közel az egységnyihez Jó	Viszonylag rossz	A gyújtásszögvezérlés miatt a hálózati teljesítménytényező rossz	Általában gyenge. Különösen a névleges fordulatszám környékén rossz	A hálózat felé igen gyenge	A motor teljesítménytényezője jó, a szabályozás miatt a hálózati nem jó	A gépdalon lehet közel egységnyi, a hálózatoldali sem túl rossz	Jó! Bizonyos mértékig függ a kapcsolástól	A gép felé nem értelmezhető. A hálózat felé attól függ, hogyan állítjuk elő a közbenső cá. kört	Nincs jelentősége
Hatásfok	Rossz	Közepes	Jó	Jó...Közepes	Jó	Jó	Jó	Jó	Jó	Jó	Jó	Nincs jelentősége (de jó!)
Alkalmazás	Kis és közepes teljesítményű szivattyúk és ventilátorok, különböző daruhajtások, egészen nagy teljesítményű motorok lágy indítása	Általános célú hajtás	Általános célú hajtás	Általános célú hajtás	Nagy teljesítményű, lassú fordulatu hajtások céljára. Hengerművek, cementmalmok közvetlen hajtása áttétel nélkül	szivattyúk kompresszorok Ventilátorok	Nagy teljesítményű szivattyúk Kompresszorok Ventilátorok	Általános célú. Kompresszor-, szivattyú-, ventilátorhajtás, ill. folyamatos hengerlés Nagy gépek indítása	Hengerművek Cementmalmok Dízel-villamos mozdony	Általános célú szervo-hajtások, robot-hajtások	Széles körű Általános célú Vontatás, bányászat	Szerszámgépek Robottechnika
Ár	Egyszerű felépítése miatt viszonylag olcsó!	Költséges megoldás	Költséges megoldás	Költséges megoldás	Nagy teljesítményeknél viszonylag olcsó	egyszerű felépítése miatt viszonylag olcsó	Viszonylag drága	Viszonylag olcsó	Viszonylag drága	Viszonylag drága	Viszonylag olcsó	Nyomatékra vonatkoztatva: 1.69 ind.motor 1.00 szinkr.motor
Megjegyzések	Alkalmazása korlátozott. Használják áll. fordulatszámú üzemben változó fluxussal optimális üzem biztosítására. Viszonylag nagy szlipű motort igényel. Gyakran kiegészítik a forgórész-köri ellenállás szaggató változtatásával is csúszógyűrűs motoroknál.	Nyitott hurkú szabályozás is megvalósítható, esetleg alacsony fordulaton stabilitási problémák lehetnek. Csoportos hajtások céljára is alkalmas. Diódás bemenettel e.c. szaggatóval közel egységnyi teljesítménytényező biztosítható.	Egyedi és csoportos hajtások céljára egyaránt alkalmas. Jó dinamikai tulajdonságok érhetők el. Széles körben alkalmazott.	Egyszerű szabályozás.	A névleges fordulaton 1/3 max. 1/2 részéig lehet célszerűen használni. Jó dinamikus tulajdonságok érhetők el.	indításhoz külön indító-ellenállást igényel. Viszonylag nagyobb teljesítményeknél gazdaságos.	Indításhoz külön indító-ellenállást igényel. Csak nagyobb teljesítmények esetén gazdaságos.	Nagyobb teljesítményeknél gazdaságos. Külön intézkedést igényel az indításra, ill. kis fordulatszámú üzemre.	Általában nagy teljesítményű, kis fordulatszámú hajtások céljára alkalmas. Jó dinamikai tulajdonságai vannak.	Rendkívül jó dinamika valósítható meg vele!	A gép felépítése egyszerű, robusztus. Új hajtástípus, jelentős fejlődés előtt áll. Léptetőmotor jellegű.	A jelleggörbék azonos névleges feszültségű és azonos névleges áramú gépekre, ill. hajtásokra vonatkoznak.

Irodalom

- [1] *Kjeld Thorborg*: Power Electronics; Prentice Hall; England, 1988
- [2] *Nagahiko Nagosaka*: A Classification of A.C. Motor Variable Speed Drives and Brushless Commutator Motors; ICEM'80, Athens, PE 7/5.
- [3] *Thomas Lipo*: Recent Progress in the Development of Solid-State A.C. Motor Drives; IEEE. Trans. PE. Vol.3; No.2; April 1988. pp: 105—117
- [4] *Dr. Sc.tech. E. Seefried—Dipl. Ing. Hofmann*: Inverterről táplált aszinkron motoros hajtások szabályozása. 4. Erősáramú Elektronika Konferencia Budapest '81. pp: II/31—40
- [5] *Bencze János*: Váltakozóáramú szabályozott hajtások fejlesztése, rendszerezése és fejlődési irányai. Egyetemi doktori értekezés. Budapest, 1988.

Tervezélrű tranzisztoros, főáramkörű, soros konverter

MOLNÁR KÁROLY—MOLNÁR JÁNOS

ÖSSZEFOGLALÁS

A postai áramellátó rendszerek egyik eleme a soros konverter. A szerzők bemutatják a középfrekvencián működő, 10 V névleges kimeneti feszültségű és 630 A névleges kimeneti áramú konverter elvi működését és konstrukciós kialakítását.

FELDGESTEUERTER WANDLER MIT TRANSISTORHAUPTSTROMKREIS

KÁROLY MOLNÁR—JÁNOS MOLNÁR

Zusammenfassung

Umwandler ist ein Element des Stromversorgungssystems der Post. In dem vorliegenden Aufsatz werden das Arbeitsprinzip und die Konstruktion des im Mittelfrequenzbereich arbeitenden Wandlers mit einer Nennausgangsspannung von 10 V und einem Nennausgangsstrom von 630 A beschrieben.

FIELD CONTROLLED BOOSTER CONVERTER WITH TRANSISTOR MAIN CIRCUIT

KÁROLY MOLNÁR—JÁNOS MOLNÁR

Summary

Booster converters are one of the elements in current supply systems of the Post. Presented by the authors are the principle of operation and the construction of a converter operating at medium-frequency with a rated output voltage of 10 V and a rated output current of 630 A.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ КОНВЕРТОР С ПОЛЕВЫМ ТРАНЗИСТОРОМ В ГЛАВНОМ КОНТУРЕ

KÁROLY MOLNÁR—JÁNOS MOLNÁR

Резюме

Одним из элементов почтовых систем путания является последовательный конвертор. Авторы показывают принцип работы и конструкцию конвертора, действующего на средней частоте с номинальным выходным напряжением 10 В и номинальным выходным током 630 А.

1. Bevezetés

A postai távközlési telefonközpontok áramellátása hagyományos módon tirisztoros berendezések alkalmazásával oldható meg. A korszerű elektronikus központok elterjedése az áramellátó berendezésekkel szemben megnövekedett igényeket támaszt méret, súly, zaj és megbízhatóság szempontjából, ami szükségessé tette az

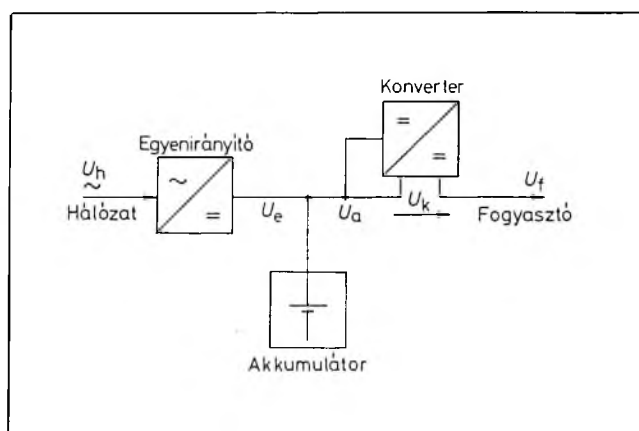
új, korszerű félvezetőeszközök kapcsolástechnikájának kutatását, fejlesztését. Ilyen korszerű félvezetőeszköz a teljesítmény-MOSFET, amelynek a soros konverter főáramkörében történő alkalmazása a korábbi megoldásokhoz képest számos előnyt biztosít.

2. Az áramellátó rendszer ismertetése

Az áramellátó rendszer (1. ábra) a következő főbb részekből áll:

- hálózati egyenirányítóból,
- akkumulátortelepből és
- soros konverterből.

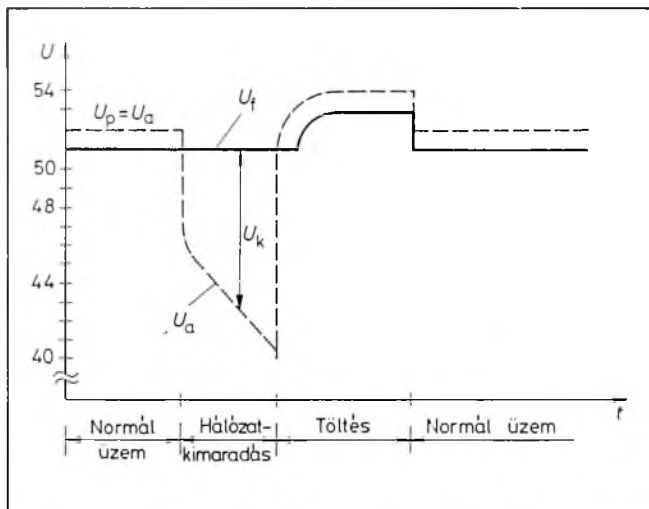
Cikkünkben ez utóbbival, a soros konverter megvalósításával foglalkozunk.



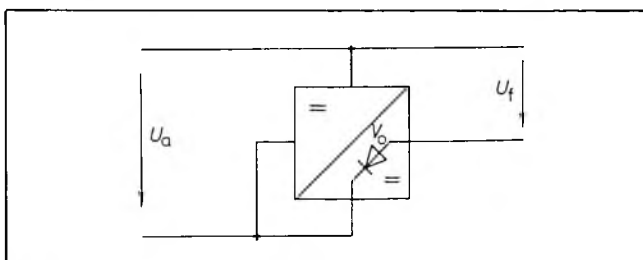
1. ábra. Postai szünetmentes áramellátó rendszer tömbvázlata
 U_h hálózati feszültség; U_e egyenirányító feszültsége; U_a akkumulátorfeszültsége; U_k konverterfeszültsége; U_f fogyasztói feszültség

3. A soros konverter működési elve

A soros konverter egy olyan DC/DC feszültségátalakító, amely az akkumulátortelep feszültségéből szabályozott kimeneti egyenfeszültséget állít elő. A konverter kimeneti feszültsége 0...10 V tartományban változhat, amit a konverter hozzáad az akkumulátor feszültségéhez. Így a fogyasztók számára akkor is állandó kimeneti



2. ábra. Fogyasztói feszültség az akkumulátor feszültségének függvényében



3. ábra. Passzív üzemmód

feszültség biztosítható, ha az akkumulátor feszültsége hálózatkimaradás esetén lecsökken (2. ábra). Ha az akkumulátorfeszültség névleges értékű, a konverter nem működik, és a fogyasztók árama a V_0 áthidaló diódán folyik keresztül (3. ábra).

4. Az új fejlesztésű konverterrel szemben támasztott követelmények

Az eddig alkalmazott tirisztoros soros konverter kiváltására teljesítmény tervezérlésű tranzisztoros főáramkörű berendezést fejlesztettünk ki, amelyik műszaki paramétereiben, gazdaságosságában felülmúlja a korábbi megoldást.

A tervezérlésű tranzisztoros konverter főbb jellemzői (zárójelben az összehasonlíthatóság érdekében megadjuk a tirisztoros konverter hasonló paramétereit):

Bemeneti feszültség:	39 V...54 V (39 V...54 V)
A kimeneti feszültség tartománya:	0...10 V (0...8 V)
Egy részegység kimenő árama:	210 A
Teljes kimenő áram:	630 A* (630 A)

* A 630 A kimenő áramot három részegység párhuzamos kapcsolásával állítjuk elő.

Áramhatárolás:	1,1 I_n (1,1 I_n)
Üzemi frekvencia:	25 kHz (200 Hz)
Statikus szabályozási pontosság:	$\pm 0,05\%$ ($\pm 1\%$)
Psichometrikus zaj effektív értéke:	≤ 2 mV (< 2 mV)
Hatásfok:	65...75% (50...65%)
Üzemi hőmérséklet-tartomány:	0...+40 °C
Egy részegység tömege:	kb. 40 kg
A teljes szekrény tömege:	kb. 180 kg (kb. 750 kg)

A konverternek e követelményeken túl még a következő feltételeket kell teljesítenie:

- Az akkumulátortöltő felől érkező zavarokra, túlfeszültségekre érzéketlen legyen;
- Kimeneti túlfeszültség elleni védelemmel rendelkezzen;
- tartalmazzon olyan védő- és kiszolgáló-áramköröket, amelyek a konverter működéséről, esetleges meghibásodásáról kellő információt nyújtsanak a kezelőnek, valamint a számítógépes felügyeleti rendszernek.

5. A hagyományos tirisztoros és a FET-es konverter összehasonlítása

5.1. Beruházási költségek

A FET-es konverter ára kb. megegyezik a tirisztoros konverterével. Ez az ár várhatóan csökkenni fog, amint a teljesítmény-MOSFET-ek tömeggyártása leszorítja a jelenlegi viszonylag magas árat.

Jelentős költségmegtakarítás érhető el a beruházás helyszínén az épületszerkezeti megoldások egyszerűsödése folytán. Az új konverter tömege ugyanis csak töredéke (kb. 180 kg) a régiének (kb. 750 kg), így általános célú helyiségbe is telepíthető.

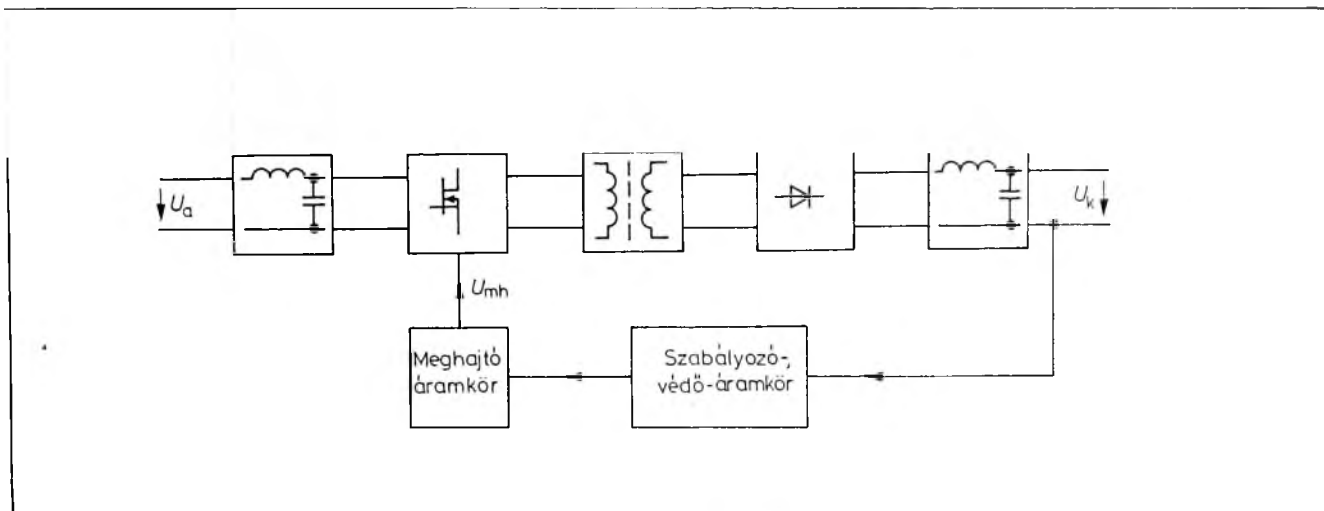
5.2. Zaj

Az új konverter a középfrekvenciás tartományban működik, szubharmonikus akusztikus zaja elhanyagolható. A konverter kimenetén a pszichometrikus zajfeszültség az előírtnál több nagyságrenddel kisebb, ugyanakkor a rádiófrekvenciás zavar szint a beépített zavar-szűrővel az előírt N görbe szerinti érték alatt van.

5.3. Megbízhatóság

Az új konvertert több párhuzamosan működő kisebb teljesítményű egység alkotja. Egy-egy részegység meghibásodása esetén a többi továbbra is el tudja látni feladatát, jelentősen növelve a rendszer megbízhatóságát.

Tovább növeli a megbízhatóságot, hogy az új konverter lényegesen kevesebb alkatrészből áll, mint a régi.



4. ábra. Konverter elvi felépítése

6. A konverter elvi felépítése

A konverter középfrekvencián működő, impulzusszélesség-modulált DC/DC átalakító (4. ábra).

Tekintsük át röviden az egyes funkcionális egységek működését.

A *bemeneti LC szűrőegység* feladata az akkumulátortöltő felől érkező zavarok szűrése. A kondenzátortelep kis belső impedanciájának és egészen rövid bekötővezetékének fontos szerepe van abban is, hogy a nagyáramú kapcsolóeszközökön a kikapcsolási túlfeszültséget minimalizálni lehessen.

Az *impulzusszélesség-modulált átalakító* feladata a főtranszformátor megfelelő módon történő ki-be kapcsolása. Kialakítása lehet nyitó- vagy záróüzemű, teljes vagy félhíd-, valamint ellenüzemű kapcsolási elrendezés, amelynek működési frekvenciája célszerűen a középfrekvenciás tartományba esik.

A *főtranszformátor* feladata a megfelelő amplitúdójú feszültség előállítása a primer oldali bemeneti feszültségből potenciálfüggetlen módon.

A *kimeneti diódák* a főtranszformátor által előállított feszültséget egyenirányítják, amiből a *kimeneti szűrőegység* képezi a fogyasztó számára megfelelő értékű és hullámosságú feszültséget.

A szabályozó- és védőáramkör feladata az impulzusszélesség-modulált átalakító meghajtása, védelme.

7. A FET-es konverter gyakorlati megvalósítása

A tirisztoros konverter paramétereit elemezve megállapítható, hogy a jelenlegi félvezető-választékkal ilyen teljesítményű berendezést csak több párhuzamosan kapcsolt félvezetővel, valamint főtranszformátorral lehet elkészíteni. Így kézenfekvő az a megoldás, hogy a berendezés egyetlen nagy teljesítményű egység helyett több önálló, kisebb teljesítményű részegységből álljon.

7.1. Főáramkör

A 6. részben említett lehetséges főáramköri megoldások közül a nyitóüzemű áramköri elrendezést választottuk (5. ábra). Ennek a megoldásnak előnye, hogy kapcsolóelemek feszültség igénybevétele a bemeneti feszültség maximumig terjed, és a visszamagnesező diódák csak a főtranszformátor mágnesezőáramát vezetik. Kapcsolóelemként nagyteljesítményű MOSFET került alkalmazásra.

Előnyei a bipoláris tranzisztor alkalmazásával szemben:

- a FET feszültségvezérelt félvezető eszköz, meghajtóteljesítmény-igénye csak töredéke a bipoláris eszközökének
- a meghajtóáramkörök jelentősen egyszerűsödnek
- nagyobb működési frekvencián használható.

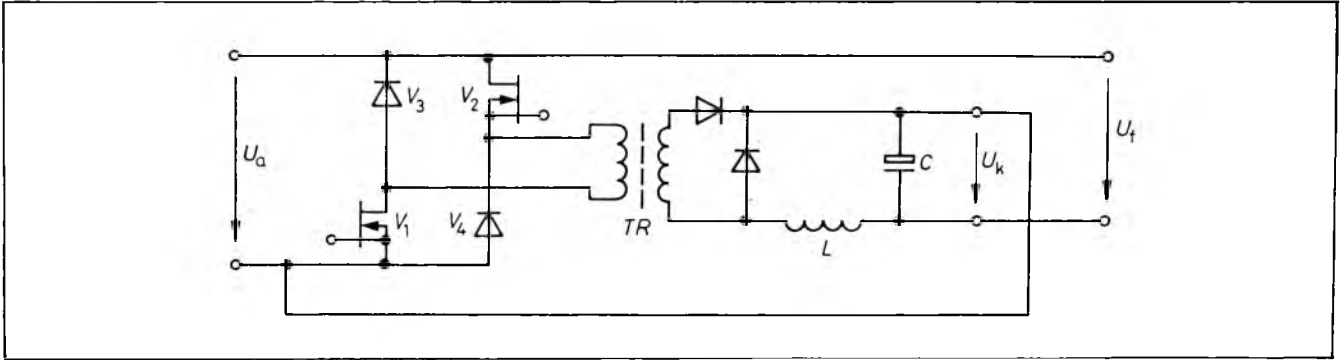
A FET alkalmazásának hátránya, hogy drága, jelenleg kb. 2...3-szor kerül többre, mint a hasonló teljesítményű bipoláris tranzisztor. Az alkatrészgyártó ipar tendenciáit figyelembe véve az elkövetkező időben itt is jelentős árcsökkenés várható.

A főáramkörben GENTRON EFM 1394—M 160 típusú teljesítmény-MOSFET-et alkalmaztunk. A visszamagnesező diódáknak rövid feléledési idővel (t_{rr}) kell rendelkezniük. A mechanikai konstrukció egyszerűsítése érdekében a szükségesnél jóval nagyobb diódákat alkalmaztunk, ugyanis a dióda D—56 típusú tokozása igazodik a FET-ek mechanikai méretéhez, így a főkör sinezése egyszerűen kialakítható.

A főtranszformátor szerkezetének kialakítása során elsődrendű szempont, hogy a primer és szekunder tekercs között maximális legyen a csatolás. A tekercskivezetéseknek a lehető legrövidebbeknek kell lenniük. A felületi áramvezetést is figyelembe véve legelőnyösebb a transzformátort párhuzamos tekercseléssel, rézszalaggal elkészíteni.

7.2. Kimeneti egyenirányító

Erre a feladatra a veszteségek minimalizálása érdekében Shottky-diódákat használunk. A diódákon fellépő túlfeszültséget a diódákkal párhuzamosan kapcsolt, soros RC-tag csökkenti.



7.3. Kimeneti szűrő

Méretezésekor elsősorban azt kellett figyelembe venni, hogy az áramhullámosság ne legyen több a kimeneti áram 40%-ánál, a kondenzátor áramterhelhetősége érdekében. A postai előírások miatt csak olyan kondenzátorokat lehet alkalmazni, amelyek garantáltan üzemképesek a passzív üzemmód negatív feszültsége mellett is.

7.4. Szabályozó- és védőáramkör

A szabályozó-áramkör a kimeneti paraméterek változásának függvényében állítja elő a meghajtóáramkör számára szükséges, rögzített frekvenciás, impulzusszélesség-modulált jelet. A működési frekvencia 25 kHz. Ez az érték egy kompromisszumot takar, ugyanis nagyobb frekvencián a bekapcsolási idő már összemérhető a főtranszformátor szórási induktivitásának felmágnesezési idejével, ami a szabályozási tartomány jelentős csökkenésére vezetne. Mivel a konverter nem rögzített kimeneti feszültséget állít elő, a referenciajelet kell változtatni úgy, hogy az összegzett feszültség ($U_{\text{akku}} + U_{\text{konv}}$) állandó maradjon. A megfelelő szabályozástechnikai jellemzők elérésére PID jellegű szabályozókört alkalmazunk.

A szabályzó-áramkör kialakításakor azt is figyelembe kellett venni, hogy központi vezérlés üzemmódban (REMOTE) a konverternek a központi számítógép áramszabályzó jelét is fogadnia kell. Ebben az esetben a berendezés a központi egység által megadott paraméterek szerint működik. Ez az alapüzemmód. A központi egység meghibásodása esetén az egyes részegységek autonóm üzemre térnek át.

A szabályzókörhöz kapcsolódóan a védőáramkör felügyeli a konverter működését.

Funkciói:

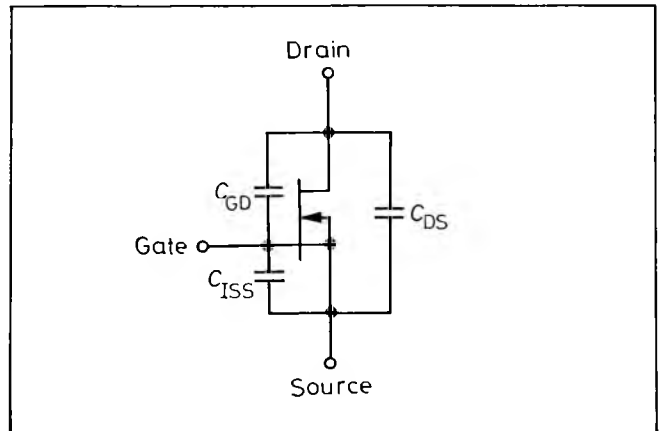
- kimeneti túlfeszültség elleni védelem,
- bemeneti alulfeszültség elleni védelem,
- belső tápfeszültség figyelése,
- hűtőborda hőmérsékletének ellenőrzése,
- be- és kimeneti biztosító ellenőrzése.

A védőáramkör az általa felügyelt bármelyik paraméter hibája esetén letiltja a konverter működését és jelzi a hibát a központi felügyeleti rendszernek.

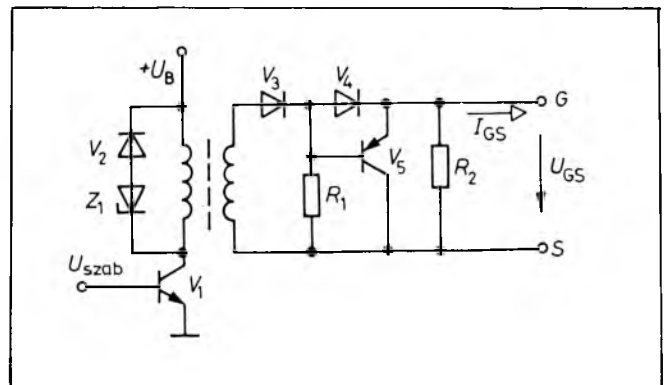
7.5. A meghajtóáramkör kialakítása

A FET helyettesítő képe (6. ábra) alapján meghatározható, hogy milyen követelményeket kell a meghajtóáramkörnek kielégítenie. A kapcsolási veszteségek minimalizálása érdekében arra törekedtünk, hogy a FET be- és kikapcsolási ideje minél rövidebb legyen. Ennek megfelelően bekapcsoláskor a FET bemeneti kapacitását (C_{ISS}) a lehető legrövidebb idő alatt fel kell tölteni. Kikapcsoláskor a bemeneti kapacitást gyorsan kell kisütni. Ezeket a követelményeket pl. a 7. ábrán bemutatott áramkörrel lehet biztosítani.

A 8. ábrán megfigyelhető az áramimpulzus, amely a kapcsolójel hatására a bemeneti kapacitást feltölti és kisüti. Méretezésekor figyelembe vettük az impulzus-

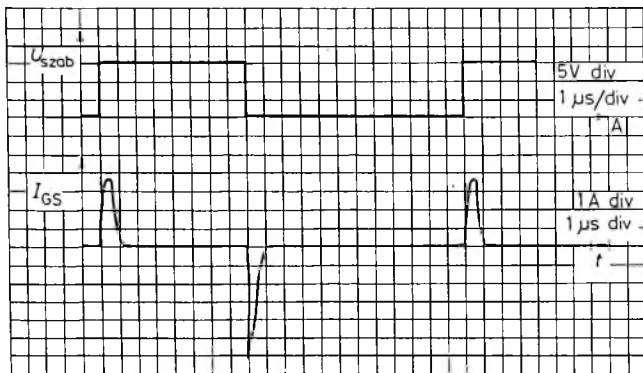


6. ábra. FET helyettesítő képe



7. ábra. FET-meghajtó

transzformátor szükséges feszültség-idő területét, és biztosítottuk a minimális dropot. A meghajtóáramköröknek a nagy meredekségű áramimpulzusokat minimális feszültségesés mellett kell biztosítaniuk. A meghajtóáramkört a lehető legközelebb helyeztük a FET-hez a szórt inuktivitás csökkentése érdekében.



8. ábra. FET-meghajtó jelek

8. Szerkezeti felépítés

A soros konverter egyes részegységeit a VKI PRODUK szabványosított szekrényben helyeztük el. Egy szekrénybe három egység került. A VERTESZ által gyártott, nagy áramú késes csatlakozókat használva az egyes fiókokat külön-külön lehet a szekrényben levő sínrendszerre csatlakoztatni.

Ez a kialakítási mód a rendszert nagymértékben flexibilissé teszi, ugyanis a helyi szükségletnek megfelelően minimális számú egységgel lehet az áramellátó rendszert kialakítani.

Irodalom

- [1] GENTRON: Isolated power modules. No. 1–88 GENTRON CORP. Milwaukee, Wisc.
- [2] IR: HEXFET application. HDB–3 1985 International Rectifier El Segundo, Cal.
- [3] IR: Power semiconductor data book. SDB–2 1985 International Rectifier. El Segundo, Cal.
- [4] Motorola: Power semiconductor data. DLE 135R2/D. Oxford University Press, 6/88.

Középfeszültségű áramirányító kifejlesztése

WEINER GYÖRGY—GYARMATHY SÁNDOR

ÖSSZEFOGLALÁS

A középfeszültségű áramirányítók kialakítása terén az egyik legnagyobb problémát a sorbakapcsolt félvezetők gyújtása, a potenciálelosztás biztosítása és működőképességük ellenőrzése jelenti. A szerzők részletesen ismertetik az intézetben erre a célra kifejlesztett megoldásokat.

A cikk az áramirányító mechanikai felépítését egy 10 kV-ra közvetlenül kapcsolható áramirányító példáján mutatja be, kitér a vízűtés kialakítására, és ismerteti a mérési eredményeket.

ENTWICKLUNG VON MITTELSPANNUNGSTROMRICHTERN

GYÖRGY WEINER—SÁNDOR GYARMATHY

Zusammenfassung

Die Hauptprobleme der Entwicklung von Mittelspannungsstromrichtern sind die Zündung der reihengeschalteten Halbleiter, die Potentialverteilung an der Halbleiterkette und die Betriebskontrolle. Die Autoren beschreiben ausführlich die Methode und Lösungen, die im Institut zu diesem Zweck entwickelt wurden.

Als Beispiel wird der mechanische Aufbau eines unmittelbar auf 10 kV angeschalteten Stromrichters beschrieben. Es werden auch die Konstruktion der Wasserkühlung sowie die Messwerte bekanntgegeben.

DEVELOPMENT OF MEDIUM VOLTAGE CONVERTER

GYÖRGY WEINER—SÁNDOR GYARMATHY

Summary

Firing of series-connected semiconductors, correct voltage distribution and condition monitoring are the main problems in the development of medium-voltage converters. Methods developed in the Institute to cope with this problem are described in details by the authors.

The paper describes the mechanical construction of a converter as an example that can be directly connected to 10 kV mains.

РАЗРАБОТКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТОКА СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

ВАЙНЕР ДЬЕ́РДЬ—ДЬЯРМАТИ ШАНДОР

Резюме

Одной из самых больших проблем при разработке преобразователей тока среднего напряжения является зажигание последовательно соединенных полупроводников, обеспечение потенциального распределения и проверка их работоспособности. Авторы статьи детально характеризуют решения, разработанные для этой цели в институте.

В статье показано механическое построение преобразователя тока на примере преобразователя подключаемого непосредственно на 10 кВ; авторы останавливаются на вопросе создания водяного охлаждения и излагают результаты измерений.

1. Bevezetés

A nagy teljesítményű (5...50 MW-os) szinkron motorok áramirányítós hajtáshoz, a nagy teljesítményű, gyors meddőkompenzátorokhoz a szokásos kisfeszültségű áramirányítók gazdaságosan nem alkalmazhatók. Ezekhez már érdemes középfeszültségű áramirányítót használni. E felismerés alapján bízta meg a Ganz VM a Vilamosipari Kutató Intézetet többféle kapcsolásra alkalmas, középfeszültségű, tirisztoros áramirányító kifejlesztésére.

A középfeszültségű áramirányítók a kisfeszültségű áramirányítókhoz képest sok műszaki újdonságot tartalmaznak. Ennek alapvető oka, hogy a jelenleg kapható tirisztorok zárófeszültsége, a hallatlan dinamikus fejlődés ellenére sem elegendő ahhoz, hogy közvetlenül a 10 kV-os hálózati feszültségre kapcsolhassuk őket. Így több, esetenként 8—12 tirisztort is sorba kell kapcsolni.

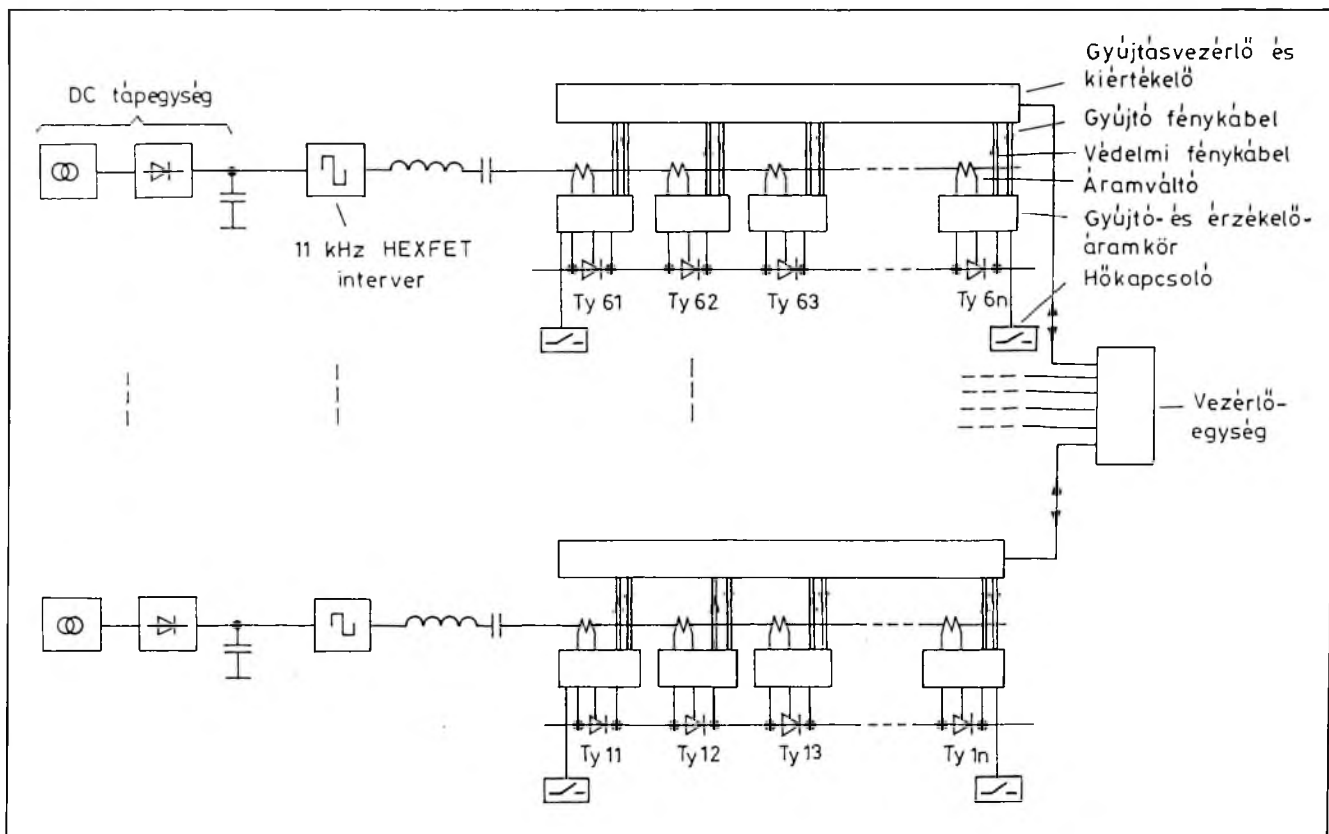
A kifejlesztés fő feladatát a sorbakapcsolt tirisztorok potenciálfüggetlen vezérlése, a gyújtásukhoz szükséges energia biztosítása, a nagyszámú tirisztor hűtése és mechanikai összefogása jelenti. A gyújtás megvalósítására többféle megoldás alakult ki. Ezeket és az általunk kifejlesztetteket a következőkben részletesen ismertetjük.

Középfeszültségű áramirányítókhoz víz- vagy olajhűtést alkalmaznak. A léghűtés a nagy teljesítménysűrűség, és így a kis helyen keletkező, viszonylag nagy veszteség miatt nem használható. Mi a jobb hűtési tulajdonságok alapján a vízűtést választottuk.

A 10 kV hálózati feszültségre kapcsolható áramirányító egyik fázisán a méréseket elvégeztük. A háromfázisú áramirányító méréseire a közeljövőben kerül sor a Ganz VM próbatermében.

2. Gyújtó- és védelmi rendszer

A középfeszültségű áramirányító szigorú követelményeket kielégítő gyújtó- és védelmi rendszert kíván meg. A sorbakötött tirisztorokat egyidejűleg induló, nagy mere-



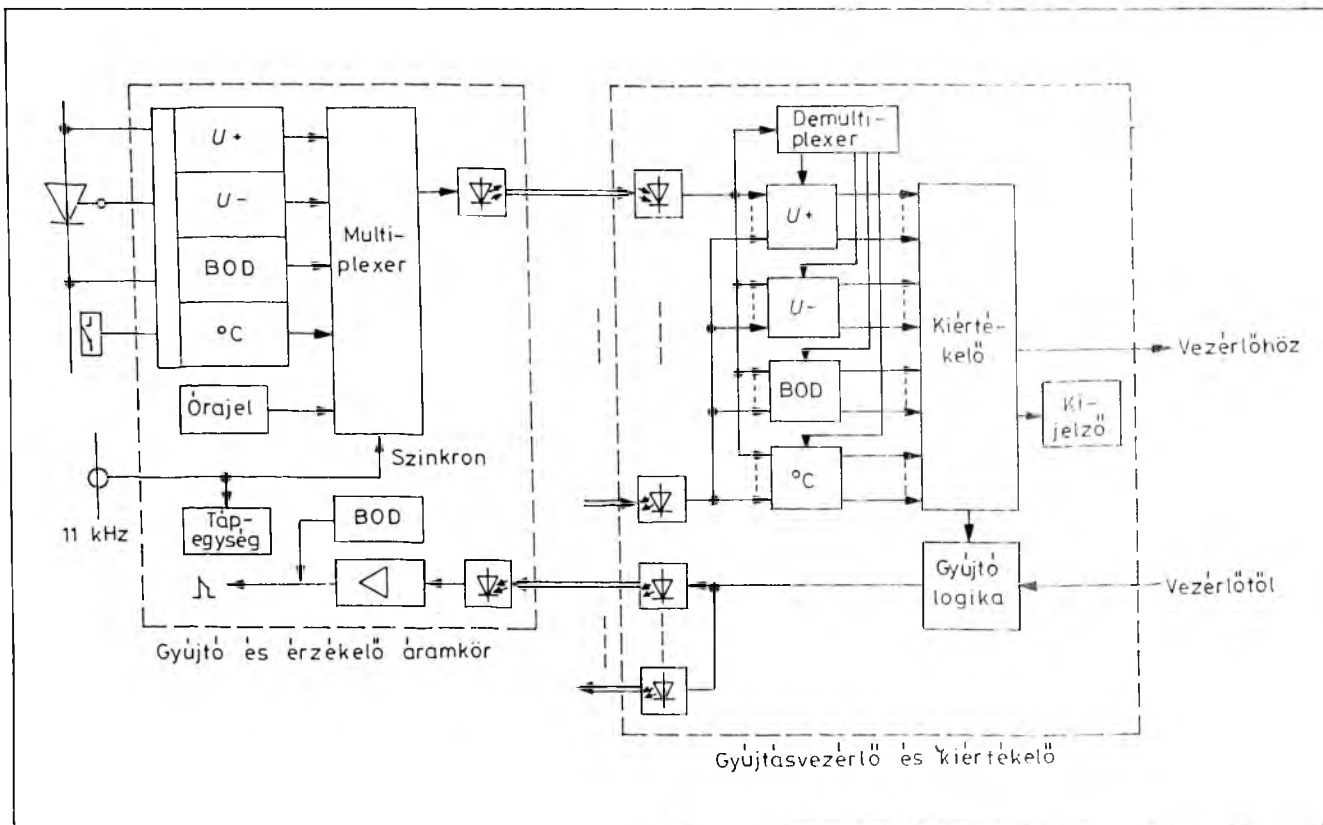
1. ábra. Gyújtó- és védelmi rendszer felépítése

dekségű gyújtóimpulzusokkal kell gyújtani, miközben biztosítani kell a vezérlőelektronika és a tirisztorok közötti nagy szigetelési szilárdságot. Impulzus-transzformátoros megoldás esetén e két követelmény egymás ellen hat, mivel a vastag szigetelés csökkenti a primer és szekunder tekercs közti csatolást, ami pedig a jó impulzusátvitelhez feltétlenül szükséges. Különböző megoldásokkal pl. nagyfeszültségű szigetelésű kábelre felfűzött transzformátorokkal [1], valamint többszörös transzformátoros csatolással [2] jó szigetelési szilárdságot lehet elérni, de az elérhető impulzusmeredekség erősen korlátozott. A gyújtóegységek másik csoportja szétválasztja a vezérlési információt és a gyújtási energiát oly módon, hogy a gyújtási energiát a tirisztoron levő feszültségből nyerik, a gyújtás vezérlése pedig optikai csatolású eszközökkel történik [2], [3], [4], [5]. Pl. meddőkompenzátor esetében azonban ez a megoldás nem megfelelő, mivel közelítőleg teljes kivezérlés esetén nem nyerhető a gyújtáshoz elegendő energia, mert ez esetben hosszú gyújtóimpulzusra lenne szükség.

Az általunk alkalmazott megoldásban a gyújtási energiát a tirisztoron levő feszültségtől függetlenül külön áramforrás biztosítja, míg a gyújtás vezérlése fénykábeleken keresztül történik. A gyújtórendszer mellett fokozott figyelmet követel a nagyfeszültségű, drága félvezetők védelme is. Túlfeszültség ellen az RC-tag mellett szokásos eszköz a breakover dióda, (BOD) de számos példa található olyan áramkörök használatára, amelyek valamilyen módon a tirisztorok állapotát, meghibásodását érzékelik [4], [6], [7]. Az általunk ki-

fejlesztett gyújtórendszert szintén kiegészítettük BOD-s túlfeszültségvédelemmel és egy olyan védelmi rendszerrel, amellyel a szokásosnál több állapotjellemzőt kísérhetünk figyelemmel, s így a meghibásodások egy része megelőzhető, más részüknek pedig a hatása csökkenthető.

Az általános célú felhasználásra alkalmas gyújtó- és védelmi rendszer elvi felépítése az 1. ábrán, működési vázlat a 2. ábrán látható. Minden egyes tirisztorhoz egy tirisztorpotenciálon levő gyújtó- és érzékelő-áramkör tartozik. Ezek a gyújtáshoz szükséges energiát 10 kV szigetelési szilárdságú áramváltókról kapják. Az azonos tirisztoros ághoz tartozó áramváltók közös primer vezetékre vannak felfűzve, amelyet egy DC-tápegységre csatlakozó tranzisztoros inverter táplál. A méretek csökkentése érdekében az inverter középfrekvencián (11 kHz) működik, s a tranzisztorok kapcsolási veszteségeinek csökkentése céljából a kör soros LC-taggal rezonanciafrekvenciára van hangolva. Minden ághoz tartozik egy gyújtásvezérlő és kiértékelő áramkör, amelyhez minden egyes, ahhoz az ághoz tartozó gyújtó- és érzékelő-áramkör két-két fénykábellet csatlakozik. Az egyik fénykábelben történik a gyújtásvezérlő jelek kiadása a gyújtóegység felé, a másikon pedig állapotjellemzők jelei sorozatának továbbítása a gyújtásvezérlő és kiértékelő áramkör felé. Gyújtáskor a gyújtásvezérlő fényjel TTL szintű jellel átalakítva bekapcsol egy HEXFET tranzisztort, amely egy kondenzátort egy RC-tagon keresztül rásüt a vezérlőelektródára. Ezzel a módszerrel könnyedén elérhető legalább 3 A/μs meredekségű, s akár 10 ms hosszú gyújtóimpulzus. A 3. ábrán látható a gyújtóáram és feszültség oszcillogramja.

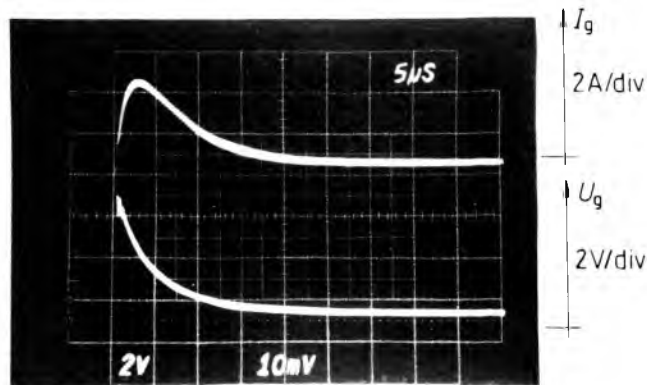


2. ábra. A gyűjtő- és védelmi rendszer tömbvázlata

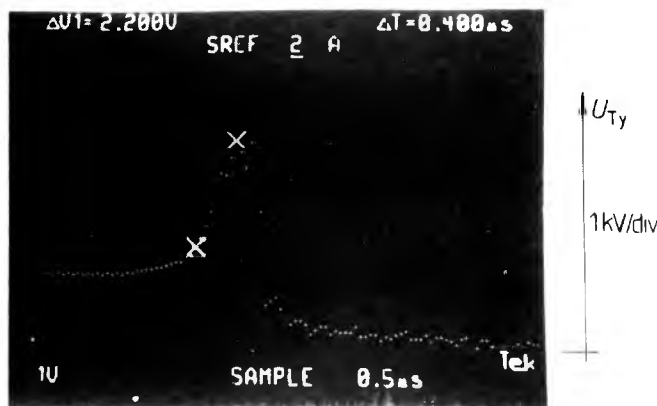
Mivel a gyűjtésvezérlő áramkör optikai jeladóinak közös gyűjtésbemenetük van, amely vezérlőjelhez képest a tirisztorok tényleges gyűjtőárama 200 ns-on belül elkezd kialakulni, az ág összes tirisztorának gyűjtása gyakorlatilag teljesen azonos időben történik.

A normál gyűjtőkört breakover diódás túlfeszültségvédelmi gyűjtőkör egészíti ki. A BOD-t a védendő tirisztor anódja és vezérlőelektródája közé kell kapcsolni, s úgy működik, hogy megadott nyitóirányú feszültség-nél begyűjt, s akár 100 A-es nagyságrendet is elérő impulzussal igen rövid, néhány száz ns idő alatt begyűjtja a tirisztort megvédvén ezáltal a túlfeszültségtől. Túlfeszültség keletkezhet az egyes tirisztorok eltérő kapcsolási ideje, vagy kívülről jövő lökéshullám miatt is. Gyakorlatilag legvalószínűbb, hogy az adott tirisztor normál gyűjtőáramkörében következik be valamilyen hiba. A 4. ábrán látható egy olyan tirisztor feszültsége, amelynek gyűjtási fénykábelét üzem közben kihúztuk. A felvételen jól leolvasható, hogy az ág többi tirisztorának gyűjtása nyomán milyen nagy meredekséggel nő a feszültség a tirisztoron (dU/dt). Jól látható, amint a billenőfeszültség (3800 V) elérése után a BOD rendkívül rövid idő alatt begyűjtja a tirisztort. Mivel a BOD csak 10 V körüli záróirányú feszültséget képes elviselni, ezért azal sorba van kötve egy nagyfeszültségű gyorsdióda is, valamint a BOD-s gyűjtés érzékelésére egy kis áramváltó.

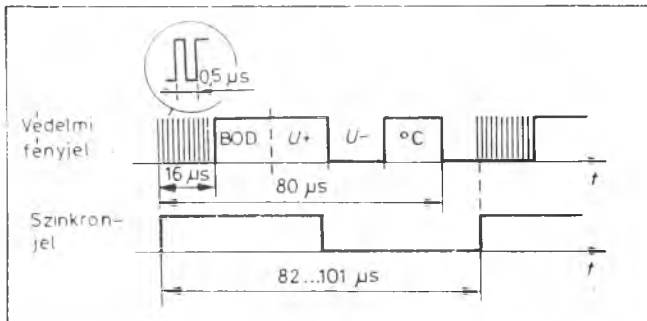
A gyűjtő- és érzékelőáramkörök komparátorokkal érzékelik a hozzájuk tartozó tirisztor nyitó-, ill. záróirányú feszültségét, a BOD esetleges gyűjtését és a tirisztor



3. ábra. Gyűjtőimpulzusok jelalakjai normál gyűjtés esetén



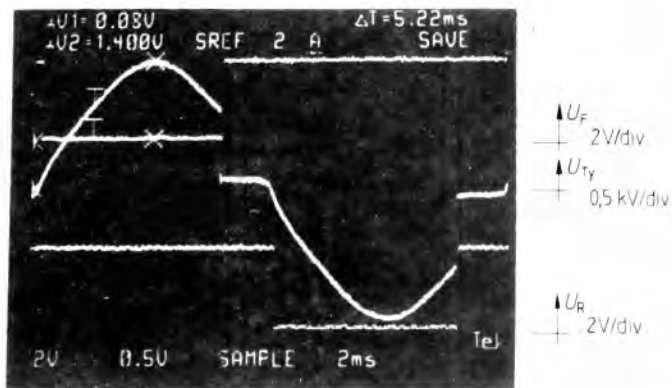
4. ábra. Gyűjtés BOD-val



5. ábra. Védelmi jelek

hűtőtönkjére elhelyezett hőkapcsoló állapotát. E jeleket egy nagyfrekvenciás órajelet követően egy multiplexer az optikai adóra továbbítja. A demultiplexelés egyszerűsítése érdekében a jelsorozat indítása egy ág minden egyes gyújtó- és érzékelő-áramkörében szinkronban történik oly módon, hogy a multiplexerek a 11 kHz-es tápfeszültség pozitív nullátmenetéhez szinkronozva indulnak. Az ily módon előállított védelmi optikai jel az 5. ábrán látható. A gyújtásvezérlő és kiértékelő áramkörben az optikai villamos átalakítást követően tárolókra érkeznek az ághoz tartozó védelmi jelek. A nyitó-, ill. záróirányú feszültség, a BOD gyújtás és a hővédelem tárolóinak az átírását egy demultiplexer vezérli, amelyet az egyik védelmi jelsorozat nagyfrekvenciás jele indít. Mivel az átírások a 11 kHz-es tápfeszültség frekvenciájának megfelelően történnek, bármelyik eredeti jelben történt változás max. 100 μ s múlva, azaz a szükséges beavatkozási időkhöz képest azonnal megjelenik a megfelelő tároló adott kimenetén. A 6. ábrán látható egy tirisztor tényleges feszültsége és az ehhez a tirisztorhoz tartozó nyitó-, ill. záróirányú tároló kimeneteinek jelei.

A tárolók kimenetei egy kiértékelő logikához csatlakoznak, amely elsősorban EPROM-okat és digitális szűrőket tartalmaz. A logika megállapítja, hogy van-e, s ha igen hány meghibásodott tirisztor van az ághoz. Mivel ilyen feszültségszinten a meghibásodás csak úgy jelentkezik, hogy a tirisztor vezető állapotba kerül, a meghibásodott tirisztorok egyértelműen megállapíthatók a nyitóirányú, s hasonlóképpen a záróirányú feszültségjelek egymás közti összehasonlításával. A BOD-



6. ábra. Tirisztor feszültség- és állapotjelei

jelek kiértékelése úgy történik, hogy a logika megállapítja, hogy egy BOD több perióduson keresztül rendszeresen gyújt-e. Az ismétlődő gyújtás azon tirisztor gyújtórendszerének hibájára utal, s így beavatkozást igényel, míg az egyszeri gyújtás adódhat beavatkozást nem igénylő, külső túlfeszültség miatt is. A kiértékelő logika az egyes hibák esetén a következő beavatkozásokat végzi el:

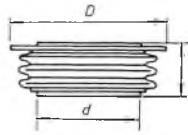
- Ha az ág legalább egy tirisztorán záróirányú feszültség van, letiltja az egész ág gyújtását, nehogy gyújtó-jel juthasson a tirisztorokra zárófeszültség alatt, mivel ez nagymértékben megnövelné a visszirányú szivárgóáramot, amely a tirisztorok közti feszültségeloszlást jelentősen megváltoztathatja, súlyosabb esetben a tirisztorok tönkremeneteléhez is vezethet.
- Tirisztorok meghibásodása esetén a hibás tirisztorok számától függően vagy csak előjelzést ad, vagy begyújtja az ág összes tirisztorát. Ugyanis az alkalmazott biztonsági tényezőtől függően egy-két tirisztor meghibásodása esetén még üzemképes maradhat az ág, több tirisztor hibája esetén viszont az egész ág begyújtása csak kisebb működési zavart jelent az áramirányító üzemében, aminek nincs jelentősége ahhoz képest, hogy különben láncreakcióval az összes tirisztor tönkremerhet az adott ághoz.
- Egyszeri BOD gyújtás esetén a logika semmiféle kijelző vagy beavatkozó jelet nem ad, míg ismétlődő BOD gyújtás vagy bármelyik hőkapcsoló jelzése esetén leállítási parancsot küld a vezérlőegység számára, megelőzendő egy súlyosabb hibát.
- Ha egy tirisztor védelmi optikai kábele valamilyen okból nem visz át semmiféle jelet (pl. kicsúszik a foglalatból a csatlakozó, el- vagy megtörik az optikai szál, a gyújtókártya tápfeszültsége megszűnik), akkor szintén leállítási parancsot ad a vezérlőegységnek.

A kiértékelő logika hiba esetén kijelzi a hiba fajtáját, tirisztorhiba esetén a hibás tirisztorok számát, s befigyaszítja a tárolókat, így a kimenetek ellenőrzésével pontosan megállapítható, hogy hol következett be a hiba.

Mind a gyújtó- és érzékelőkártyának, mind a gyújtásvezérlő és kiértékelőegységnek elkészítettük egy speciális változatát is kizárólag váltakozóáramú szaggató kapcsolású áramirányítóhoz. A működési elv ugyanaz, azzal a különbséggel, hogy egy gyújtókártya látja el egy-egy ellenpárhuzamosan kapcsolt tirisztorpár gyújtását, így a fénykábelek száma jelentősen csökkenthető, s mind a gyújtókártyából, mind a gyújtásvezérlő és kiértékelőegységből fele mennyiség szükséges az áramirányítóhoz.

3. A tirisztoros modul kialakítása

Mint a legtöbb cég, így mi is, a sorbakapcsolt félvezetőket a hozzá tartozó hűtőtönkkel és mechanikai összerendező szerkezettel, az RC-elemeket, a gyújtóegységet egyetlen mechanikai egységként építjük meg. Ez az egység a tirisztoros modul, amelyből a különböző áramirányító-kapcsolások összeépíthetők.

Típus	U_{DRM}, U_{RKM} Feszültség	$J_{T(AV)}$ Áram, $T_c = 85^\circ\text{C}$	J_{ISM} Lökőáram, ($t = 10\text{ ms}$)	$\int \dot{I} dt$ áram-integrál ($T_c = 120^\circ\text{C}$)	$(dU/dt)_c$ feszültség- meredekség	U_{TO} kiszöb- feszültség	r_s soros ellen- állás	Gyűjtőkori		$i_{D,IG}$ zárt áll. áram, $T_c = 120^\circ\text{C}$	$R_{th,IG}$ Hő- ellen- állás						
								U_{GT}	I_{GT}			D, mm	d, mm	m, mm	F_s, mm		
																V	mA
AEG																	
T 625N*	3600...4200	625	15	1125	400...1000	1,25	0,55	2,5	300	250	0,0215	74	50	26	20...30		
T 1270N	3600...4200	1270	23,5	2761	400...1000	1,2	0,37	2	400	300	0,0117	120	75	35	35...50		
ASEA																	
YST 14-21*	3000...3600	550	10	500	500	1,1	0,66	2,6	400	100	0,03	85	46	26,5	14...18		
YST 35-21	3000...3600	1350	27	3600	500	1,05	0,32	2,6	400	200	0,012	120	78	27 ¹⁾	36...44		
YST 45-21	3400...4200	2000	32	5200	500	1	0,225	2,6	400	200	0,008	120	78	27	63...77		
BBC																	
CS 682	4200	720	14									66	47	26	22		
CS 1104	4800...5500	1300	32														
CS 1302	3200...4400	1565	35	6000	2000	1,1	0,29	4	500		0,012	120	80	34	36...44		
CKD																	
TV967-400*	1600...3000	400	6	180	200...2500			5,0	400	70	0,04	65	40	21	13,5...16,5		
TV978-800*	1600...3000	800/75 °C	13	845	200...2500			3,0	400	80	0,025	96	65	27			
Siemens																	
BSt Q 68	3800...4200	400	5,5	151	1000						0,043	58	32	26			
BSt R 68*	3800...4200	850	14,8	1100	1000						0,02	75	48	26			
BSt T 68	3800...4200	1900/64 °C	29,3	4300	1000	1,22	0,33	2,5	300	200		120	75	35	36...52		
Szovjet																	
T 143-400*	2000...2400	400	8		200...1000	1,2	0,95	3,5	300	50	0,034	60	38 ²⁾	20 ¹⁾	13,5...16,5		
T 153-630*	1300...2400	630	14		200...1000	1,25	0,55	3,5	300	50	0,026	75	50 ³⁾	26 ²⁾	20...24		
T 253-800*	2000...2400	800	16		200...1000	1,2	0,44	3,5	300	70	0,022	75	50 ⁹⁾	26 ²⁾	24...28		
Westcode																	
N 320*	3600...4200	510	7,7	359	200...1000	1,3	0,92	3	300	100	0,03	74	47	27,7	19...26		
N 560*	3600...4200	910	19	2180	200...1000	1,15	0,46	3	300	150	0,02	101,6	63	33	27...34		
N 750	3600...4200	1400	28	5610	200...1000	1,35	0,294	4	350	200	0,011	110,5	73	37,65	27...47		

* A mechanikai méret szempontjából megfelelő típusok.

7. ábra. Tirisztorok főbb adatai

A tirisztoros modul jól elkülöníthető villamos és mechanikai egységet képvisel. Az RC-elemeket és a gyűjtőegységet a tirisztorokkal egyetlen mechanikai egységbe építve egyszerűbben biztosíthatók a szükséges szigetelési távolságok, és az áramirányító gyártása, javítása során kihasználhatók a modulrendszerű felépítésből adódó előnyök. A modul kialakításakor a következő főbb szempontokat vettük figyelembe.

Teljesítmény

A tirisztoros modul közvetlenül a 10 kV-os hálózatra legyen kapcsolható. Háromfázisú, hídkapcsolású áramirányító-kapcsolásban a legnagyobb becépíthető tirisztor használva az áramirányító névleges egyenárama 1200 A, a maximális (10 s-ig) árama pedig 1800 A legyen.

Szigetelési szint

Az MSZ 9250/1 szerint az 1 kV-nál nagyobb és az 52 kV-nál kisebb feszültségű berendezések szigetelése szempontjából ipari frekvenciájú, rövid időtartamú próbafeszültséget és lököpróbfeszültséget kell szigetelési szintként előírni. A szabvány előírásai alapján $U_{eff} = 28$

kV 50 Hz-es rövid időtartamú és $U_{cs} = 60$ kV értékű lököfeszültséget vettünk figyelembe a szigetelési szint ellenőrzéséhez.

Mechanikai összefogás

A sorbaköthető tirisztorok maximális számát elsősorban a mechanikai összeszorító szerkezet határozza meg. Pl. a BBC a CNGO 17 és a CNGO 19 típusú átalakítóiban max. 8 db 2"-os tirisztor befogadására alkalmas összeszorító szerkezet van. Az AEG MEGASEMI hajtásaiiban használt összeszorító szerkezet 5...10 db tirisztor beépítését teszi lehetővé, a Westcode összeszorító szerkezete pedig nyolc sorbakapcsolt tárcsatirisztor fogad be. A tirisztorok számának növelésével a mechanikai pontatlanságok egyre nagyobb problémát okoznak. Mi maximum tíz tirisztor összeszorítására alkalmas konstrukciót készítettünk. A 7. ábrán összefoglaltuk néhány ismertebb cég elvileg szóba jöhető nagyfeszültségű tirisztorainak főbb adatait. Egy adott típuson belül a maximális zárófeszültségű clem beszerzése általában problémát jelent, ezért a nyugati tirisztoroknál a 4000 V-os zárófeszültséget, a cseh tirisztoroknál 2400 V-os zárófeszültséget, a szovjet tirisztoroknál pedig a 2000 V-os zárófeszültséget vettünk figyelembe.

Ilyen feltételekkel különböző hálózati feszültségek esetén a következő számú tirisztort kell sorba kapcsolni:

Névleges hálózati feszültség, kV	Tirisztorok száma, db		
	2000 V-os (szovjet)	2400 V-os (cseh)	4000 V-os (nyugati)
3	6	5	3
5	10	8	5
6	—	10	6
10	—	—	10

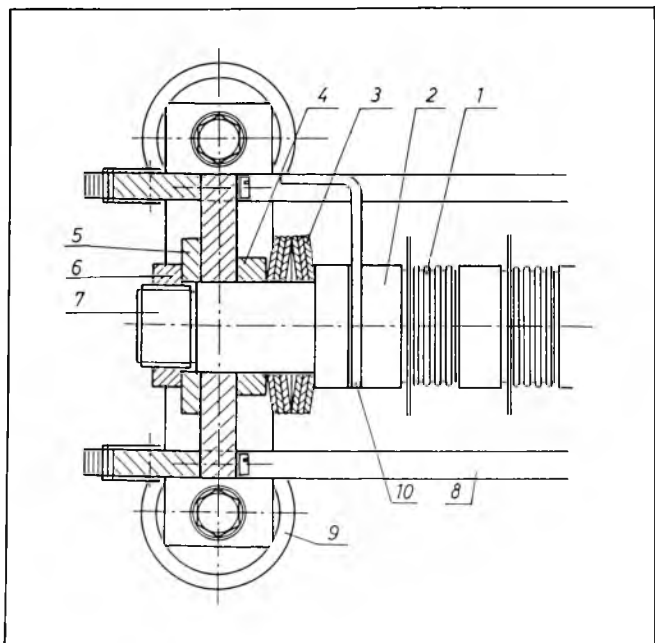
Tíznel nagyobb darabszámot eleve nem tüntettünk fel.

A modulhoz kifejlesztett vízhűtő (l. a 10. ábrát) 40...65 mm kontaktusátmérőjű tirisztorok hűtésére alkalmas.

A tirisztorok összefogó szerkezetének

- 13...30 kN összeszorító erőt;
- a tirisztor teljes felfekvő felületén egyenletes nyomást;
- és az összefogott tirisztorok két vége között a 10 kV-nak megfelelő szigetelési szintet kell biztosítani

A tirisztorok és hűtőtönkjeinek összeszorításához speciális összeszorító szerkezetet fejlesztettünk ki. Ennek egy részlete a 8. ábrán látható. Az egyenletes összeszorító erőt tányérrugó biztosítja. A két vég összefogására a VKI-ban kifejlesztett nagy mechanikai szilárdságú üvegszálas műanyagszalagot alkalmaztunk. Az üvegszálaszalag alkalmazásával a 10 kV-os szigetelési szint biztosítása nem jelent problémát. A megfelelő összeszorító erőt a tányérrugók beépítés előtti előfeszítésével lehet biztosítani. Beépítés előtt a 7 nyomócsapot a kívánt nyomóerővel egy erőmérőszerkezetben megnyomjuk, és



8. ábra. Összefogó szerkezet

1 tirisztor; 2 hűtőtönk; 3 gyűrű; 4 gyűrű; 5 alátét; 6 anyá; 7 nyomócsap; 8 üvegszálás műanyag szalag; 9 támszigetelő; 10 kivezető sín

ebben az állapotban a 6 anyát kézzel rácsavarjuk. A nyomóerő megszűntetése után a tányérrugók a kívánt mértékben lesznek előfeszítve. Beépítéskor az összeszerelt tirisztoros egységet a sorbakötött tirisztorok másik végén levő csavarral addig feszítjük, amíg az 5 alátét fel nem lazul.

Feszültségelosztás a tirisztorokon

A sorba kapcsolt tirisztorokon a feszültségelosztás — ha erre külön intézkedéseket nem teszünk — nem lesz egyenletes. Ennek oka:

I. A tirisztor lezárt állapotában a szivárgóáramok különbözősége;

II. Bekapcsoláskor a bekapcsolási idők különbözősége;

III. Kikapcsoláskor a tárolt töltésmennyiségek és így a kikapcsolási idők különbözősége.

Az I. pontban említett szivárgóáramok különbözősége ellen kisfeszültségű áramirányítók esetében ohmos osztókkal védekeznek.

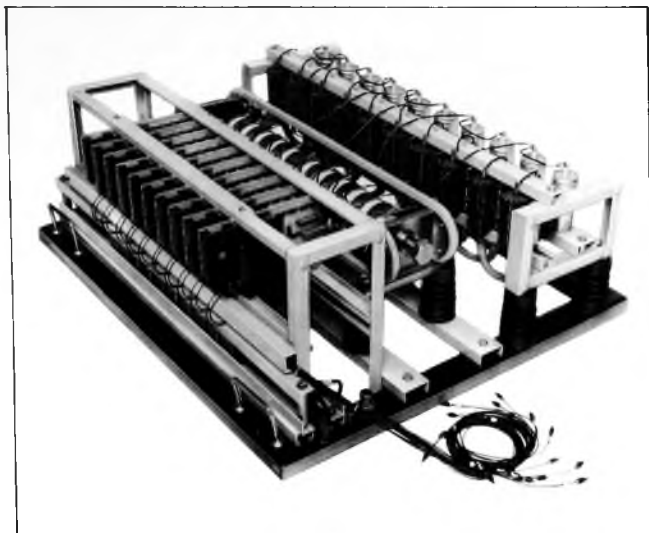
A középfeszültségű áramirányítókba beépített nagyfeszültségű tirisztorok szivárgóárama 125 °C-os pn-réteghőmérséklet esetén 150...250 mA tartományba esik. Ez igen nagy érték és ráadásul nagy a szórása is. A tirisztort gyártó cégek ezt a paramétert nem garantálják. Ez azt jelenti, hogy összemérhető a tirisztorok szivárgóárama és az RC-n szinuszos váltakozó feszültség esetén folyó áram. Így az RC már váltakozóáramú szaggató kapcsolatban sem biztosít megfelelő feszültségosztást. Ha pedig a statikus, esetünkben az 50 Hz-es feszültségosztást a tirisztorokkal párhuzamosan kapcsolt ellenállásokkal kívánjuk biztosítani, akkor ezeken a feszültségosztó ellenállásokon legalább egy nagyságrenddel nagyobb áramot kell folytatnunk, mint a tirisztorok szivárgási árama. Ez 1,5...2,5 A, ami pedig 10 kV-on már 15...25 kW veszteséget jelent. Ilyen nagy veszteséget nem célszerű beépíteni.

A tirisztorok szivárgóárama a hőmérséklettől jó közelítéssel exponenciálisan függ. Méréseink és számításaink szerint 85 °C pn-réteghőmérséklet esetén épp egy nagyságrenddel csökken a szivárgóáram a 125 °C réteghőmérséklethez képest, ezért a tirisztorokat úgy méreteztük, hogy réteghőmérsékletük maximális terhelés esetén se haladja meg a 85 °C-ot. Ebben az esetben osztóra egyáltalán nincs szükség.

A II. pontbeli bekapcsolási időkülönbség és a III. pontbeli kikapcsolási időkülönbség ellen, az RC-k megfelelő megválasztásával, ill. a 2. fejezetben leírt nagy meredekségű gyújtóimpulzus előállításával, és a sorba kötött félvezetők töltéstárolás szerinti válogatásával védekezünk.

RC elemek hűtése

10 kV névleges feszültségre tíz tirisztort kötünk sorba. Ez azt jelenti, hogy egy tirisztorra, és így az RC elemére is 1000 V névleges feszültség jut. A tirisztorokhoz nagyságrendileg 2,2 μF-os kondenzátort használunk, így hídkapcsolású áramirányító esetében az RC-n keletkező maximális veszteség ~ 350 W. Egy tirisztoros modulban példánk esetében 10 db RC-elemet kell elhelyezni, ez önmagában 10 · 350 W = 3,5 kW vesztesé-



9. ábra. Tirisztoros modul

get jelent. Ekkora veszteséget természetes léghűtéssel — az adott méretek esetében — nem lehet elszállítani. A forszírozott léghűtés a fokozott elpiszkolódási veszély és a légszűrő kialakításának nehézségei miatt nem célszerű, ezért a keletkező hő vízhűtéssel szállítjuk el. Az RC-elemekhez hűtőtöngre szerelhető ellenállást használtunk, és a hűtőtöngöt vízzel hűtjük.

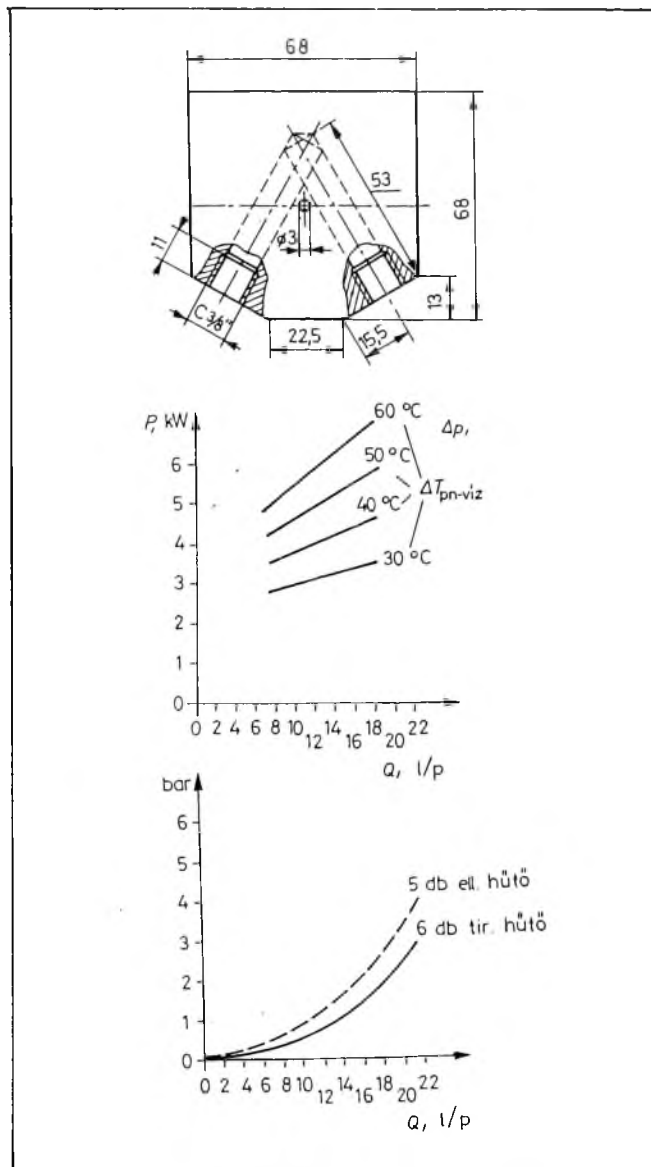
A felsorolt követelményeket figyelembe véve kétféle mechanikai kialakítású modul készítettünk. Az egyik hídkapcsolású áramirányítóhoz készült (ez látható a 9. ábrán), a másik pedig váltakozóáramú szaggatóhoz. Váltakozóáramú szaggató esetében elegendő az ellenpárhuzamosan kapcsolt tirisztorokhoz egyetlen RC-t alkalmazni, és a 2. fejezet szerint a vezérlő elektronika is összevonható.

4. A hűtőrendszer és az áramirányító kialakítása

Az áramirányító vízhűtő rendszerének a következő követelményeket kell kielégítenie:

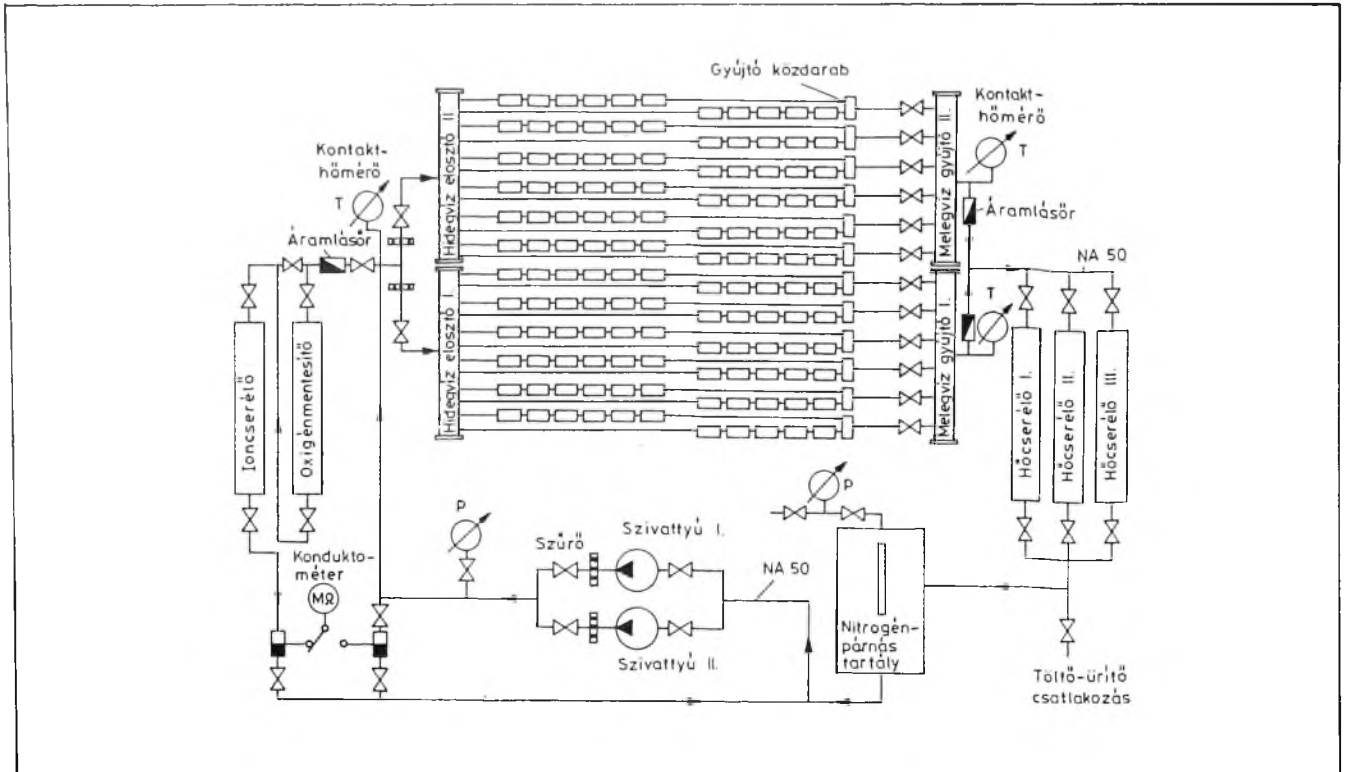
- A hűtőrendszer zárt, a víz vezetőképessége max. 10 μS legyen.
- Az áramirányítóba belépő víz max. hőmérséklete 30 °C, a kilépőé max. 40 °C,
- A tirisztorokon keletkező névleges veszteség 42 kW, az ellenállásokon 21 kW. A hűtővíz mennyisége biztosítsa, hogy ekkora teljesítmény mellett a tirisztorok max. réteghőmérséklete ne haladja meg a 85 °C-t, és a rendszer max. nyomása a 6 bar-t.

A tirisztorok hűtését alapvetően kétféle koncepció szerint lehet kialakítani: a hűtők sorba ill. párhuzamos kötésével. Az előbbi esetben az egyes hűtők egyre melegebb belépő vizet kapnak, így a tirisztorok melegebbé sem lesz egyforma. Ahhoz, hogy ez a hőfokkülönbség ne legyen jelentős, nagy vízsebességre van szükség, ami a soros hűtőkön nagy nyomáseséssel jár. A hűtők párhuzamos kötésével az egyes hűtők azonos hőmérsékletű belépő vizet kapnak és a rendszer nyomása is alacsony, azonban a sok párhuzamos ág miatt nehéz a

10. ábra. Tirisztorhűtő kialakítása és $P(Q)$ -, $\Delta p(Q)$ -diagramok hat soros hűtőre

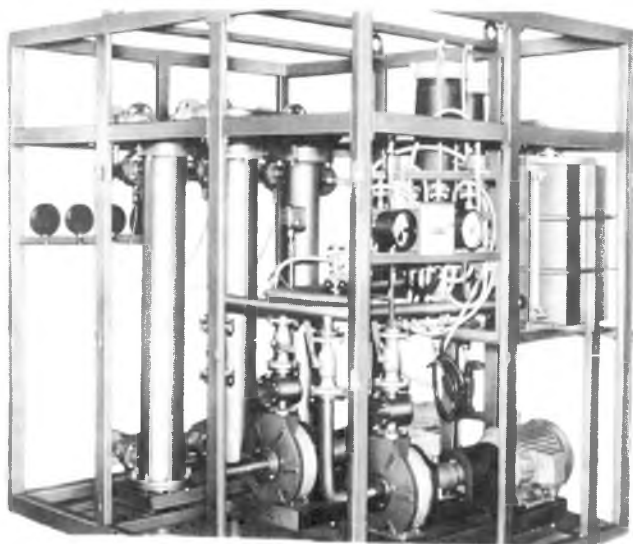
vízáramlás ellenőrzését megoldani, másrészt vagy igen nagy vízmennyiségre vagy kis keresztmetszetű furatokkal ellátott bonyolult hűtőkonstrukcióra van szükség. Mindezek figyelembevételével a tirisztoros modulokat vízköri szempontból párhuzamosan kötöttük, s a modulon belül két-két párhuzamos ágat alakítottunk ki a tirisztorok és az ellenállások hűtésére oly módon, hogy 6–6 db tirisztorhűtő ill. 5–5 db ellenálláshűtő kapcsolódik sorba.

A 10. ábrán látható a tirisztorhűtő kialakítása, a hat tirisztorhűtőt tartalmazó soros ág nyomásesése és különböző veszteséghez tartozó hőlépcsői a vízmennyiség függvényében. A $P(Q)$ diagram alapján 10...15 l/p vízáramot kell beállítani a tirisztorhűtőkön. A $P(Q)$ diagramban feltüntettük az ellenálláshűtők nyomásesését is. Mivel a mérések alapján az ellenállások hűtéséhez a tirisztorokénál jóval kevesebb vízáram is elegendő, egy szűkítő közdarabbal 3...5 l/p vízmennyiséget állítottunk be.



11. ábra. Vízűtő berendezés elvi vázlata

Ilyen adatok alapján a VKI megbízásából a BME Vízgépek Tanszéke készítette el a vízűtő berendezést, amelynek elvi vázlata a 11. ábrán látható. Az üzemi +1 tartalékszivattyú szívócsöve a víztartályhoz csatlakozik, amely nitrogénpárnával van ellátva a levegő CO_2 - és O_2 -tartalmának káros hatása, ill. az állandó fertőzésveszély kiküszöbölése érdekében. A szivattyúk kimenete a fő-áramkörben a hidegvízelosztókhoz csatlakozik, a mellékáramkörben pedig a vízregeneráló rendszerhez, amely a víz fajlagos vezetőképességét mérő műszerből, kevertágyas ioncserélőből és az elektrokémiai korróziós



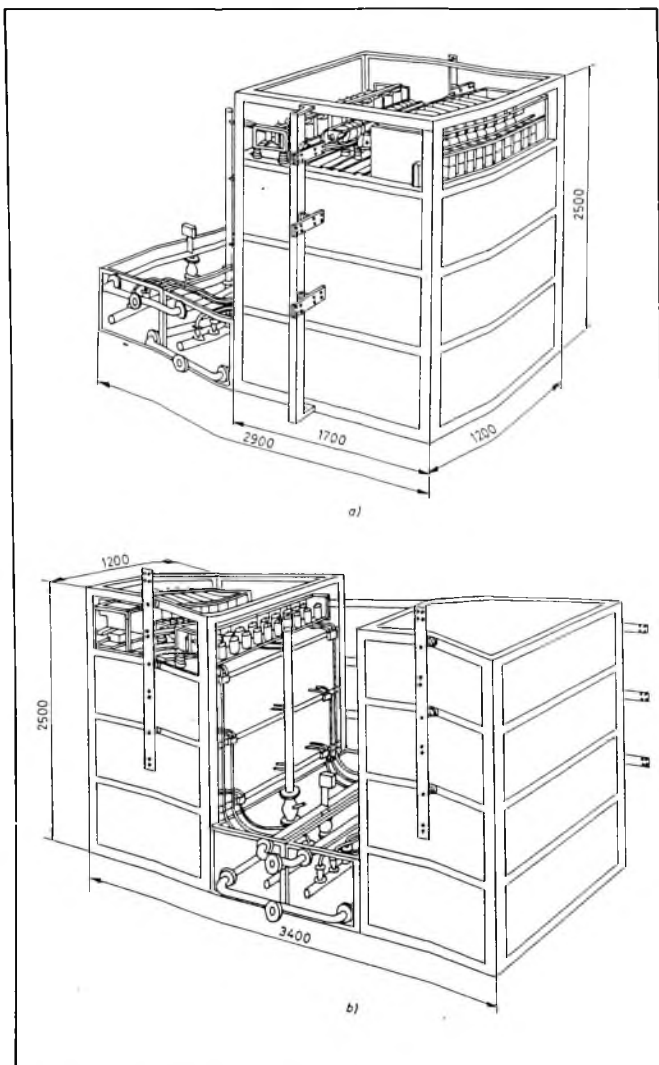
12. ábra. Vízkezelő és hőcserélő berendezés

veszély csökkentésére oxigénmentesítőből áll. E két utóbbi a kereskedelemben kapható gyorsan cserélhető, patronos töltetű egység. A hidegvízelosztók ellátják a modulokban levő összes párhuzamos ágat, amelyek kifolyó vizét a melegvízgyűjtők gyűjtik össze. Mindegyik melegvízgyűjtő kimenetén egy-egy kontakthőmérő és átfolyásmérő van.

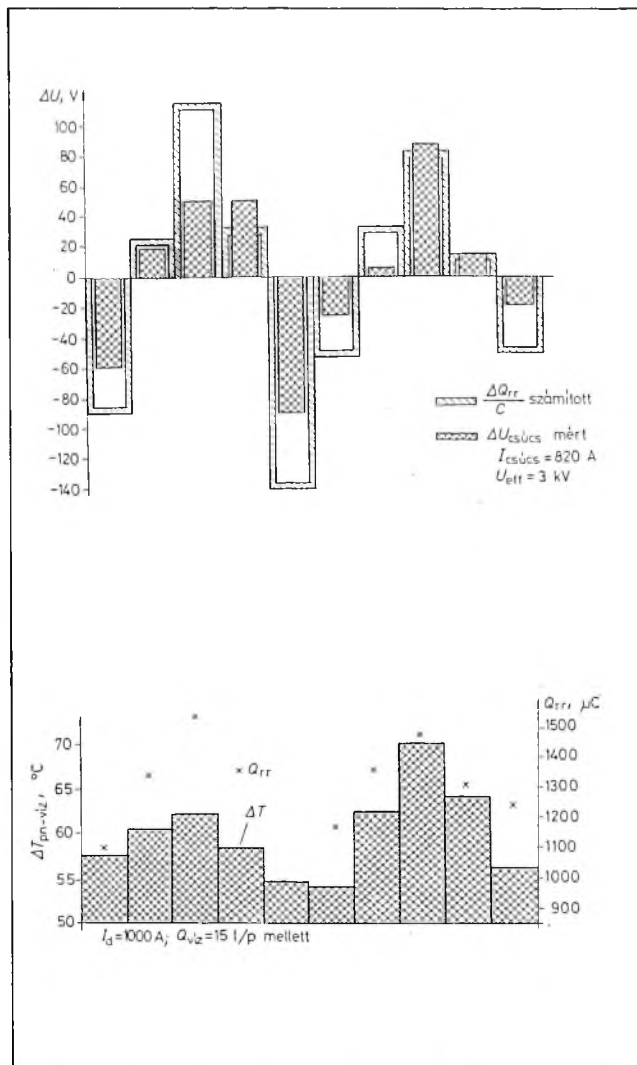
A melegvíz három párhuzamosan kötött víz-víz hőcserélőhöz csatlakozik, amelyekből kettő üzemel, egy tartalék. A hőcserélő primer oldalán belépő ipari víz megengedett max. hőmérséklete 20°C .

A rendszer mechanikailag egy-egy, az áramirányító szekrény mellé telepítendő elosztókból és a 12. ábrán látható vízkezelő és hőcserélő berendezésből áll. Az elosztók a hidegvízelosztókat, a melegvízgyűjtőket, az áramlástfigyelőket, a kontakthőmérőket és a gömbcsapokat tartalmazzák, a vízkezelő szekrény pedig az összes többi egységet.

Mind a tirisztoros modulnak, mind az áramirányító-szekrénynek kifejlesztettük az általános célú változatát is, amelyben egy modul egy hídágot tartalmaz, s a hat modul két szekrényben van elhelyezve, valamint kialakítottunk egy olyan konstrukciót is, amely speciálisan váltakozóáramú szaggatókapcsolásra alkalmas, amelynél egy modul egy fázis ellenpárhuzamos ágát tartalmazza és a három modul egy szekrényben van elhelyezve. Az áramirányítók elrendezési rajzai mindkét változatra a 13. ábrán láthatók a vízelosztókkal együtt. A földelt alapteretű modulok az egyes szekrények három felső szintjére egyszerűen betolthatók. Az alsó szinteken van jelenleg a gyűjtőkártyák tápvezetékeinek kábelcsatlakozása és az optikai kábelek rögzítése, szétosztása, a későbbiekben ide helyezhető el a vízelosztónak egy egyszerűsített változata.



13. ábra. Áramirányító felépítése
a) szaggató; b) egyenirányító



14. ábra. Feszültség- és hőmérséklet-celoszlás a tirisztorokon

5. Terhelési és feszültségeloszlási mérések

Kisfeszültségen egyenárammal terhelési mérést végeztünk, majd 3, 6 10 kV-on egyfázisú szaggatókapcsolásban feszültségeloszlást mértünk.

Mind a tirisztorok melegeedése, mind a feszültségeloszlás szoros összefüggésben van az egyes tirisztorok Q_{rr} tárolt töltésével. A nagyfeszültségű tirisztoroknak jóval nagyobb a tárolt töltése, mint a kisebb feszültségűeknek. Emiatt ezek eltérése jelentősebb hatást okoz, mégpedig minél nagyobb a Q_{rr} érték, annál nagyobb a tirisztor vesztesége. Másrészt minél kisebb Q_{rr} , annál hamarabb lezár a tirisztor, s ezután a még le nem zárt tirisztorok visszárama a lezárt tirisztor kondenzátorát tölti záróirányú feszültségnövekedést okozva. A tárolt töltés nagysága alapvetően a réteghőmérséklettől, és a vezető irányú áramtól függ, a feszültségtől nem.

Az előzőket igazolták a mérések. A 14. ábrán látható a feszültségeloszlási és a terhelési mérés eredménye. A feszültségeloszlási diagramban a tíz tirisztor anód-katód csúcshőmérsékletének az átlaghoz viszonyított eltérése

mellett feltüntettük az egyes Q_{rr}/C értékeket is, ahol Q_{rr} az adott tirisztor tárolt töltésének eltérése az ág összes tirisztorának átlagos tárolt töltéséhez képest, C pedig a tirisztor RC -tagja kondenzátorának kapacitása. A terhelési diagramban a tirisztorok pn-réteg-hűtővíz hőlépcsője mellett feltüntettük a tirisztorok tárolt töltését is. Látható, hogy a mért értékek viszonylag jól követik a tárolt töltésből adódó értékeket. Mindebből az következik, hogy mind a melegeedés, mind a feszültségeloszlás szempontjából célszerű egy-egy soros ágban közel azonos Q_{rr} -ű tirisztorokat használni. Ha erre nincs lehetőség, akkor a 14. ábra alapján jó közelítéssel becsülhető az eltérő tárolt töltések hatása.

6. Összefoglalás

Az eddigi kísérletekből egyértelműen megállapítható, hogy a középfeszültségű áramirányítók a kisfeszültségű áramirányítókhoz képest alapvetően más felépítést és vezérlést igényelnek. A VKI-ban kifejlesztett gyűjtésvezérlő és kiértékelő a mérések során jól vizsgázott, szél-

sőséges körülmények közt is biztosítja a tirisztorok megfelelő gyújtását és ellenőrzését.

A jövő feladata az itt kifejlesztett modulból az igényeknek megfelelő áramirányítók kialakítása lesz.

Irodalom

- [1] GEC SYNCDRIVE; Publication No. M 186.
- [2] Reactive Power Compensation with Converters, AEG Publ. No. A 52 VI.849/0583 EN
- [3] United States Patent, 3.386.027 *Kilgore et al.*: High Voltage Converter Apparatus Having a Plurality of Serially Connected Controllable Semiconductor Devices
- [4] United States Patent, 4.084.221. *Ogata*: High Voltage Thyristor Converter
- [5] United States Patent, 3.962.624. *Ostlund et al.* Thyristor Rectifier
- [6] United States Patent, 3.794.908. *Lindblom et al.*: Thyristor Rectifier for High Voltage
- [7] United States Patent, 3.842.337, *Ekström et al.*: Thyristor Rectifier Having a Device for Selfignition or Recovery Protection

Hengerművi sorvonó motorok 9 MW-os hajtásai

BALLÓK IMRE—LÁSZLÓ JÁNOS—NAGY ATTILA—NEMESKÉRY GÉZA

ÖSSZEFOGLALÁS

A Dunai Vasmű Meleghengerművében szükségessé vált az ötállványos készoron a higanykatódos egyenirányítók cseréje tirisztoros egyenirányítókra. A cikk tárgya ez a rekonstrukciós munka. A készori hengerlés technológiájának ismertetése után áttekintést ad az 1500 V, 6000 A-es tirisztoros egyenirányítók tervezési és konstrukciós szempontjairól és közli a hajtások főbb műszaki adatait. A szabályozókörök ismertetése után röviden összefoglalja a PLC-s vezérlő és védelmi rendszer feladatait. A megvalósított megoldásokat ábrák és fényképek mutatják be.

9-MW WALZWERK-ANTRIEBE

IMRE BALLÓK—JÁNOS LÁSZLÓ—ATTILA NAGY—GÉZA NEMESKÉRY

Zusammenfassung

In der Stahlwerken in Dunaujváros wurde die Benutzung von Thyristorgleichrichtern anstatt der Quecksilberdampfgleichrichter der Fertigwalzstrasse des aus 5 Stück bestehenden Walzengerüsts erforderlich. Die Rekonstruktionsarbeit ist in dem vorliegenden Aufsatz beschrieben. Es wird die Fertigwalztechnologie sowie die Konstruktion der 1500 V, 6000 A Thyristorgleichrichter mit Angabe der wichtigsten technischen Kennwerte der Antriebe bekanntgegeben. Es werden die Regelkreise und die PLC-Steuer- und Schutzaufgaben beschrieben. Die ausgeführte Konstruktion ist aus Abbildungen und Aufnahmen ersichtlich.

9-MW ROLLING MILL DRIVES

IMRE BALLÓK—JÁNOS LÁSZLÓ—ATTILA NAGY—GÉZA NEMESKÉRY

Summary

The mercury arc rectifiers of the five-high finishing stand of the Hot Strip Mill at Dunaujváros had to be replaced with thyristor rectifiers. This reconstruction is described in the present paper. After description of the finish-rolling technology, details of the design and construction of the 1500 V, 6000 A thyristor rectifiers including the most important parameters of the drives are given. After description of the control loops, the functions and capabilities of the PLC control and protection system are briefly summarized. The practices used are illustrated in figures and photographs.

9 МВТ-НЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВАЛКОВ ЛИНИИ ПРОКАТНОГО СТАНА

IMRE BALLÓK—JÁNOS LÁSZLÓ—ATTILA NAGY—GÉZA NEMESKÉRY

Резюме

В цехе горячей прокатки Дунайского Металлургического Комбината возникла необходимость в пятистанной чистовой группе заменить ртутные выпрямители на тиристорные

выпрямители. Эта реконструкционная работа является предметом данной статьи. В статье дается характеристика технологии чистовой прокатки, рассматриваются аспекты проектирования и конструкции тиристорных выпрямителей на 1500 В, 6000 А, а также приводятся основные технические параметры приводов. Авторы описывают контуры регулирования и кратко обобщают задачи системы управления и защиты программного логического управления.

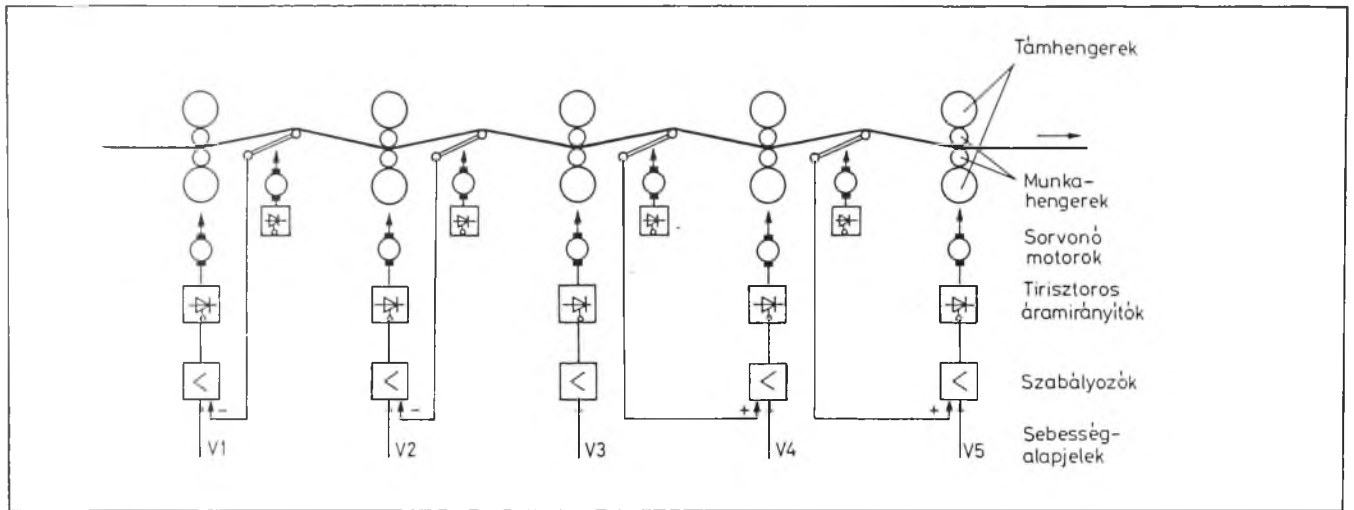
1. A hengerlési technológia

A Dunai Vasmű Meleghengerművében az ország acéltermelésének közel egyharmadát, évi 1,35 millió tonna acélt dolgoznak fel melegen hengerelt széles szalag lemezzé.

A 3...8 m hosszú 0,8...1,5 m széles és 180...240 mm vastag öntött bugákat a tolókemencékben kb. 1300 °C hőmérsékletre hevítik, majd görgősoron az előnyújtóba vezetik. Az előnyújtó egy függőleges és egy vízszintes hengerállványból áll. Az anyagalakítás döntő mértékben a vízszintes hengerállványban történik, amelynek hengereit egy 6200 kW névleges teljesítményű, $1,3 \cdot 10^6$ Nm névleges nyomatékú egyenáramú motor hajtja. A motor 2,5-szeresen túlterhelhető. Az anyag a hengerek között előre-hátra haladva 9—17 szúrással lépésről-lépésre vékonyítva 24...38 mm vastag, 40...50 m hosszúságot is elérő előlemezként hagyja el az előnyújtót és a készsorba kerül.

A készsor jelenleg öt hengerállványból áll, amelyek egymás közötti távolsága 5,8 m. Az állványokban 1700 mm palásthosszúságú 650 mm átmérőjű, köszörült felületű munkahengerek vannak, amelyeket kihajlás ellen alul és felül egy-egy 1200 mm átmérőjű támhenger támaszt ki.

Az előlemez 0,5...1,5 m/s sebességgel fut be az első állványba, ahol a hengerrés úgy van beállítva, hogy a hengerek közül kifutó lemez 25...40%-kal lesz vékonyabb és ennek megfelelő arányban nagyobb sebességű. Ez a vékonyabb, de nagyobb sebességű anyag kerül a 2. állvány hengerei közé, ahonnan hasonló alakítás után a 3., a 4. majd az 5. állványba kerül. Az anyagot tehát a befogások után egyidejűleg hengerlik mind az öt állványban. Az utolsó állványból kifutó anyag vastagsági mérete 2...16 mm közötti érték lehet, maximális sebessége 9 m/s és hosszúsága többszáz métert is elérhet. A



1. ábra. A készsor felépítése

készsorból kifutó lemezt az utolsó állvány sebességével szinkronban futó elvezető görgősor viszi a 240 m távolságra lévő csévéelőkhöz, amelyek a lemezt tekercsekbe csévélik.

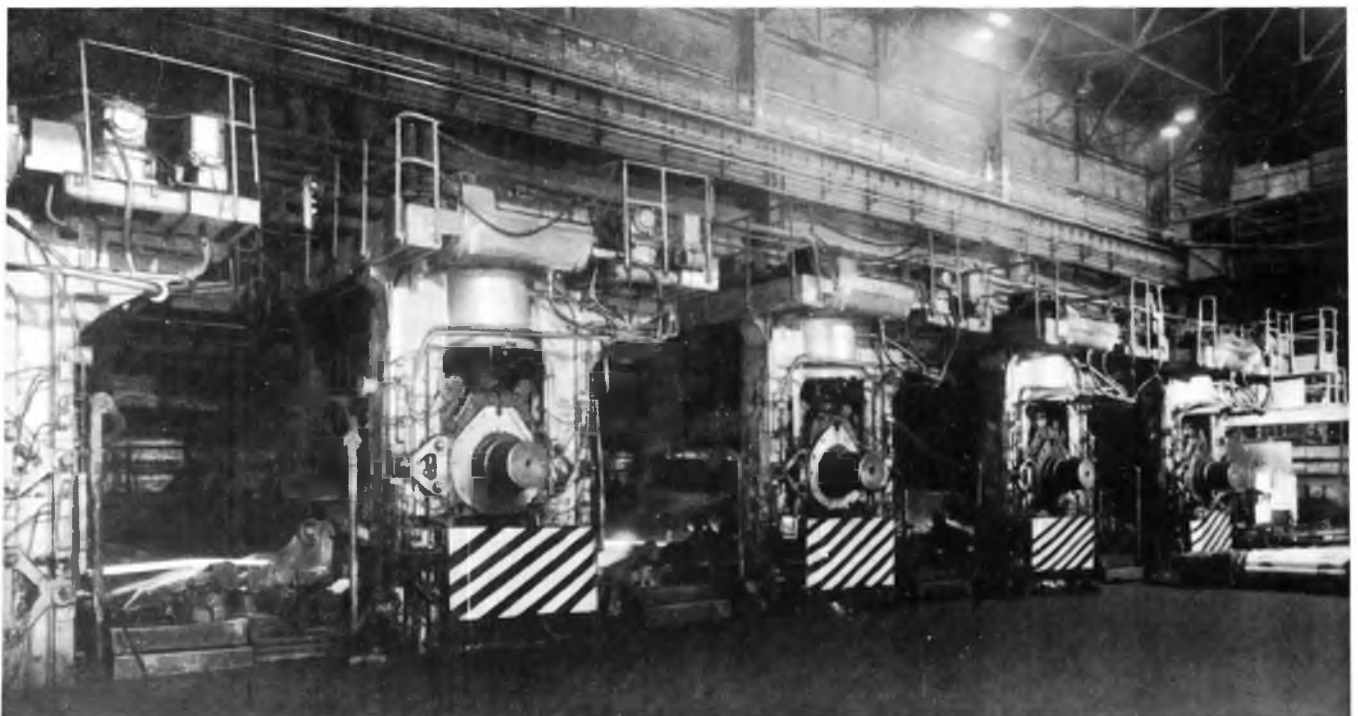
A készsor felépítése az 1., képe a 2. ábrán látható. Az első három állványonál a motor és a hengerek között 7,25; 4,5 és 3,125 értékű hajtóműtáttételek vannak, amelyek lehetővé teszik, hogy az egymást követő állványok motorjainak az egyre növekvő hengerfordulatszámok ellenére azonos legyen a teljesítménye, és ezeknek azonosak legyenek a villamos adatai. Az első három állványon a jelenlegi motorok névleges fordulatszáma 303 1/min, a 4. és az 5. állványon 145 1/min.

2. ábra. Az ötállványos készsor

2. A készsori áramirányítók

A meleghengermű — és így a készsor is — szovjet tervek alapján, szovjet gépészeti és villamos berendezésekkel készült, és 1960-ban került üzembe.

A hengerállványok akkor még 2580 kW teljesítményű egyenáramú motorjait higanykatódos egyenirányítók táplálták. Egy állványhoz két egyenirányító egység tartozott, egyenként 6 db RMNV-500 típusú vasedényes egyenirányítóval. Ezek a váltakozó áramú oldalon párhuzamos kapcsolásban csatlakoztak a 4780 kW-os, 10 kV primer feszültségű és két háromfázisú, szekunder tekercseléssel rendelkező főtranszformátorra. A higanykatódos egyenirányítóknál gyakori visszagyújtások zárlati hatásai ellen a váltakozó áramú oldalon minden egyenirányítóval sorbakötött, VAB típusú anód-gyorskapcsolók nyújtottak védelmet. A párhuzamos ágak között az egyenletes árameloszlást anód-osztófojtók segítették. Az egyenáramú oldalon a higanykatódos



egyenirányítók szívófojtón keresztül voltak párhuzamosan kapcsolva és simító fojtón és egyenáramú kapcsolón keresztül táplálták a motort. A teljes egyenirányító egység névleges feszültsége $U_d=825\text{ V}$, névleges árama $I_d=5000\text{ A}$ volt. Az egyenirányítókat deionizált vizet tartalmazó, zárt vízűtő rendszer hűtötte, amelyből a veszteségi teljesítményt víz–víz hőcserélők adták át az iparivíz-hálózatnak.

Az öt hengerállványhoz egy tartalék főtranszformátor–egyenirányító egység tartozott, és az egyenáramú sínrendszer olyan kialakítású, hogy a tartalékegységről szükség esetén bármelyik állvány sorvonó motorja táplálható.

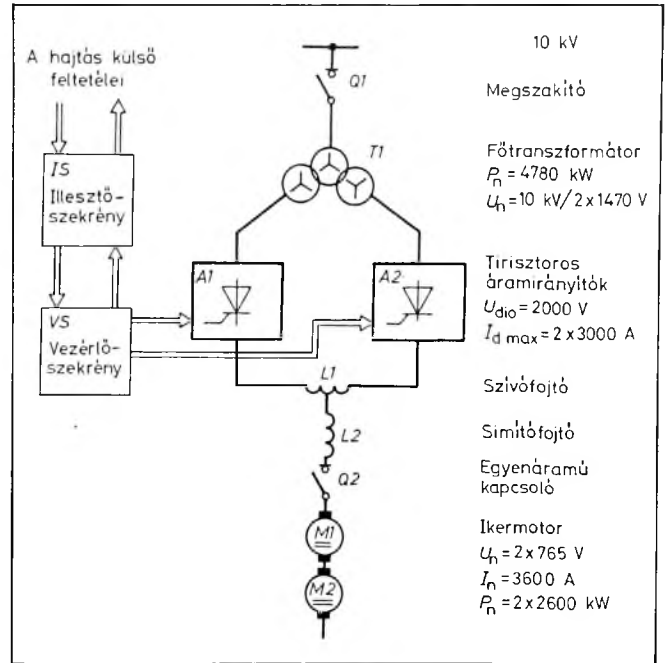
A készsori motorok fordulatszámait és azok egymáshoz való viszonyát mindig a hengerelni kívánt lemez méretei határozzák meg. Ezek a technológia által megkívánt fordulatszámok általában olyan értékűek, hogy a motorok mezőgyengítéses üzemben dolgozzanak. Ehhez a higanykatódos egyenirányítókat a névleges feszültséghez tartozó, közelítőleg teljes kivezérlés mellett kell üzemeltetni. Ez azért is kényesítő körülmény, mert a kisebb feszültséghez szükséges levezérléssel a higanykatódos egyenirányítók visszagyújtási hajlama rohamosan nő és a megnövekvő üzemzavarokat csak úgy lehet elkerülni, ha a levezérléssel arányosan csökkentik a terhelést is.

A higanykatódos egyenirányítókhoz mágneses erősítő rendszerű rácsvezérlő berendezés tartozott, amellyel a motorok elindítása lassú felfutással fázistoló forgótranszformátorral történt, majd a mezőgyengítéses tartományban a fordulatszám-változtatást és a szabályozást a legelső időkbén egyenáramú motorral hajtott sík-kontroller vezérelte. Az 1970-es évek elején ezt a fordulatszám-vezérlő és -szabályozó rendszert tranzisztoros szabályozórendszerrel váltották ki.

A következő nagyon jelentős változtatást az 1970-es évek második felében a sorvonó motorok kicserélése hozta. Az új, lényegesen nagyobb teljesítményű, GANZ gyártmányú motorok ikermotorok. A fél motor adatai: $U_n=765\text{ V}$, $I_n=3600\text{ A}$.

Az új motorok táplálására a higanykatódos egyenirányítók kapcsolását úgy alakították át, hogy a főtranszformátor két, háromfázisú, szekunder tekercselésére egy-egy hatédényes, higanykatódos egyenirányító-egység csatlakozott és ezek sorba kapcsolva táplálták az ikermotor két ugyancsak sorosan kapcsolt forgórészét. A szívófojtó elmaradt, és az egyenáramú sínezéshez nem kellett hozzányúlni.

A motorok cseréjével a higanykatódos egyenirányítók váltak a készsori hajtásrendszerben a termelés további bővítésének első korlátjává. A jelenlegi termelés több mint kétszerese az induláskor tervezettnek. A higanykatódos egyenirányítók cseréjét modern félvezető egyenirányítókra az is sürgette, hogy a higanykatódos edények nagy mennyiségű, rendszeres és a kezelők egészségére veszélyes karbantartási munkákat igényelnek. 1986-ban a VKI megrendelést kapott a tirisztoros egyenirányítók és a készsori szabályozórendszerének fejlesztésére, előállítására és üzembehelyezésére. A következő főbb szempontokat kellett figyelembe venni:



3. ábra. Egy állvány tirisztoros hajtásrendszere

- Az egyenirányító egységek cseréjét a főáramkörülemek (transzformátor, szívófojtó, simító fojtó, egyenáramú kapcsoló) változtatás nélküli felhasználásával és a sínezés lehetőleg kis módosításával kell végrehajtani.
- Az első tirisztoros egyenirányító úgy kerüljön a higanykatódos egyenirányító mellé, hogy meghibásodás esetén vissza lehessen térni a higanykatódos egyenirányítóra.
- A tartalék higanykatódos egyenirányító egység szerepét az átalakítás ne érintse, az továbbra is bármelyik állványra rákapcsolható legyen.
- Ha kb. egyévi üzemeltetés tapasztalatai alapján a tirisztoros egyenirányító megfelelőnek bizonyul, akkor kerüljön sor a többi állványokon is a cseréjére. Az átépítés közben a tirisztoros és a higanykatódos egyenirányítók bármilyen aránya mellett a készsor összehangolt működtetése és a tartalék üzembevétele biztosítva legyen.
- A meglévő de már 30 éves transzformátorok cseréjével tovább lehessen növelni a hengersor teljesítményét, és a jelenlegi 6 ütemű egyenirányításról 12 ütemű egyenirányításra lehessen áttérni.

A kitűzött célok megvalósításához a 3. ábrán látható elrendezést választottuk. Az ábra egy állvány tirisztoros hajtásrendszerét mutatja. A főáramkörben az A1 és az A2 hídkapcsolású egyenirányítók az eredeti berendezés L1 jelű szívófojtó tekercsének felhasználásával vannak párhuzamosan kapcsolva. Ez biztosítja, hogy az A1 és az A2 egyenirányítók egymástól függetlenül kommutálhassanak. Az egyenletes áramelosztást külön áramszabályozó körök biztosítják. Az egyenletes áramelosztás egyben az L1 fojtó egyenáramú előmágnesezését is kiküszöböli. Az áramszabályozó körök jó dinamikus viselkedésének köszönhetően a megvalósított berendezésen az áramelosztás átmeneti állapotban is egyenletes.

A $Q1$ 10 kV-os megszakító, a $T1$ főtranszformátor, az $L2$ simító fojtó és a $Q2$ egyenáramú kapcsoló szerepe ugyanaz, mint a régi kapcsolásban volt. A hídkapcsolású tirisztoros áramirányító ideális üresjárású feszültsége megegyezően a sorbakötött higanykatódos egyenirányítók feszültségével: $U_{d10} = 2000$ V. A kimenő egyenáram korlátozott értéke 2×3000 A. A hosszú idejű terhelést jelenleg a $T1$ főtranszformátor 4780 kW névleges teljesítménye szabja meg.

Az $A1$ és $A2$ áramirányítóhoz tartozó elektronika a VS jelű vezérlőszekrényben van, és itt helyezkednek el a hajtás kezelő- és jelzőelemei, műszerei és egyéb segédberendezései is.

A készsornak a tirisztoros hajtáson kívüli vezérlő, védelmi, működtető és egyéb segédüzemi részei, amelyek helyileg is nagyon szétszórtan helyezkednek el, az IS jelű illesztőszekrényen keresztül csatlakoznak a tirisztoros hajtáshoz. Így az IS szekrény megfelelően definiálható határvonalat képez a készsor új és régi részei között. Ez a hasonló rekonstrukciós munkáknál fontos követelmény, mert telepítéskor, élesztéskor, valamint a próbaüzem és az üzemvitel során fellépő hibaelhárítás alkalmával célszerű a kezelőszemélyzet számára az ismeretlen újat a megszokott régitől jól érzékelhető módon elválasztani.

3. Konstrukciós szempontok

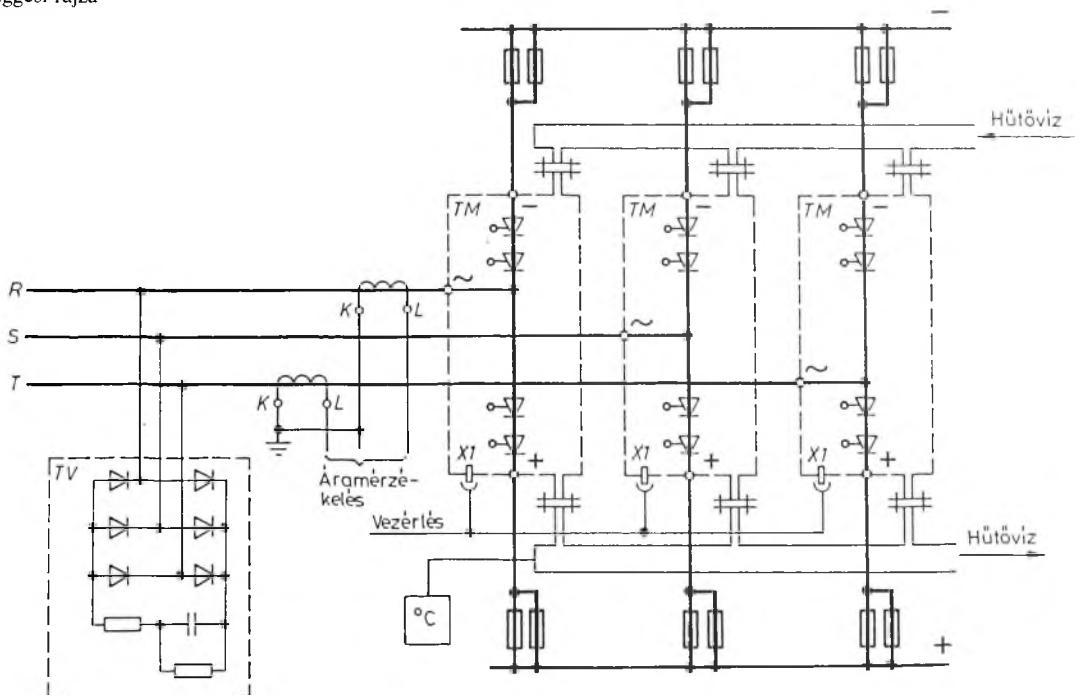
Annak érdekében, hogy a tirisztoros egyenirányító a legegyszerűbb felépítésű legyen, azt a célt tűztük magunk elé, hogy az egyenirányító ne tartalmazzon közvetlenül párhuzamosan kapcsolt tirisztorokat. Ezt a

szempontot az adott teljesítmény mellett a kereskedelemben kapható tirisztorok műszaki paramétereit már lehetővé tették, de ehhez elsősorban a vízhűtésű tirisztorokból állt rendelkezésre nagyobb választék. A vízhűtés nem járt hátránnyal, mert a higanykatódos egyenirányítók is vízhűtésűek voltak és természetes volt a megoldás, hogy ezt a hűtőrendszert használjuk a tirisztoros egyenirányítók hűtésére is. Azt is tervbe vettük, hogy a későbbiekben a higanykatódos egyenirányítók előregedett vízű hűtő rendszerét egy korszerűbb, a tirisztorok kisebb veszteségi teljesítményéhez illeszkedő rendszerre fogjuk kicserélni. A teljes csere több lépcsőben történő lebonyolítására az hatott kényszerítően, hogy a berendezések üzembehelyezését a hengerson folyamatos működése mellett az időszakos karbantartási leállások alatt kellett végrehajtani, ezért előnyös a kis lépések taktikája.

Másik szempont volt, hogy az egyenirányítót olyan részegységekből építsük fel, amelyek egy esetleges meghibásodáskor könnyen cserélhetők tartalék egységekre. Ez azért kell, mert ezen a rendkívül fontos hengerson minden üzemzavaros állásidő nagy veszteségekkel jár.

Az előbbieket szerint megvalósított egyenirányító egyik egységének egyszerűsített összefüggési rajzát a 4. ábra mutatja. A hídkapcsolás három, TM jelű tirisztoros modulból áll, amelyeknek villamos kapcsolási rajza az 5. ábrán látható. A tirisztoros modul a gyártás és a mérés szempontjából is önálló egység. A $+$, $-$ és a \sim jelű nagyáramú kapcsok hajlékony rézfonattal, csavarkötéssel kapcsolódnak a berendezés többi részéhez. A vezérlőjelek és az ellenőrzőjelek az $X1$ jelű dugaszolható csatlakozón, a hűtővíz pedig peremes csőkötésekön keresztül csatlakozik a modulhoz. Ha ezeket a csatlakozá-

4. ábra. Az egyenirányító egyik felének egyszerűsített összefüggési rajza



sokat szétkapcsoljuk, a *TM* modul kihúzható és 30 percnél rövidebb idő alatt másikkal cserélhető ki.

A *TM* modul a háromfázisú hídkapcsolás egy fázis-hoz tartozó két ágát foglalja magába, és az 1500 V-os vonali tápfeszültség miatt áganként két sorbakötött tirisztort tartalmaz. A 4 db tárcsatirisztor kétoldali hűtésére 5 db vízhűtőtest szolgál, amelyeket a tirisztorokkal együtt tányérrugók nyomnak össze a tirisztorokra megadott 28 kN erővel. Ez megfelelő villamos és hőtechnikai kapcsolatot biztosít a tirisztorok és a hűtőtestek között, ahol az utóbbiak az áram hozzávezetésére is szolgálnak.

Az 5. ábrán látható *R1C1...R4C4* elemek a töltés tárolás okozta túlfeszültségek ellen védik a tirisztorokat, míg az *R11...R41* ellenállások a tirisztorok közötti egyenletes feszültségeloszlást biztosítják. A *T1...T4* impulzustranzformátorok 1,8 A/μs felfutási meredekségű gyújtóimpulzusok átvitelére alkalmasak. A sorbakötött tirisztorokon a jobb dinamikus feszültségeloszlás és az egyszerre történő lezárás érdekében a tirisztorokat a gyártó által megadott tárolt töltésmennyiségek alapján úgy válogattuk össze, hogy egy ágba azonos tárolt töltésmennyiségű tirisztorok kerüljenek.

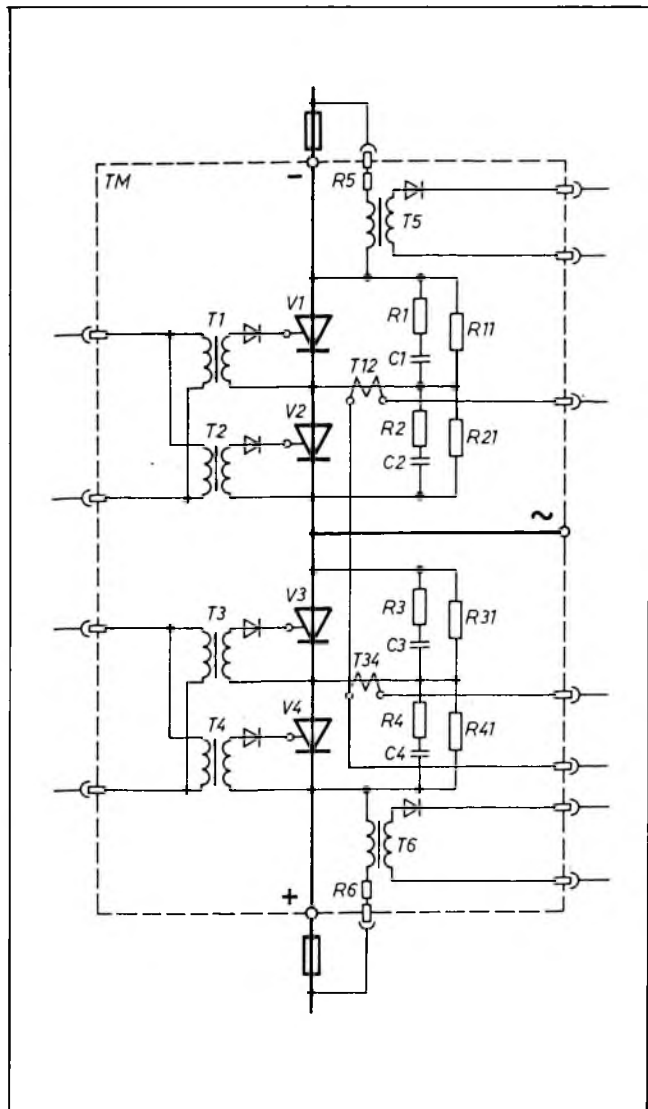
A *T5* és *T6* jelű kistranzformátorok a biztosítók esetleges kiolvadását érzékelik és elektronikus billenőkörön keresztül a tirisztorok gyújtásának azonnal leállításával megakadályozzák, hogy pl. a zárlati áram a többi hídág tirisztoraira és biztosítóira is áterjedjen.

A *T12* és *T34* áramérzékelők egyetlen tekercseléssel ellátott ferritgyűrűk, amelyeken a sorbakötött tirisztorok közös pontjára menő vezetékek vannak átfűzve. A szimmetrikus viszonyok megváltozását érzékelik (pl. az egyik sorbakötött tirisztor nem gyújtott be, vagy a tirisztorokkal párhuzamosan kapcsolt *RC*, ill. *R* védőtagok valamelyike meghibásodott). Ilyenkor elektronikus billenőkörön keresztül hibajelket adnak és letiltják a hajtást.

A 4. ábrán *TV*-vel jelölt váltakozó áramú oldali túlfeszültségvédő egység szintén önálló modul, az áramirányító felső részén helyezkedik el. Segédhidas megoldást választottunk, amely diódás háromfázisú hídkapcsolásból és a híd egyenáramú kimenetére csatlakozó *RC*-hálózatból áll. Ez a megoldás ilyen nagy feszültségű egyenirányítóknál a legkedvezőbb. Az ellenállásokon keletkező veszteség kevés, a kondenzátorok váltakozó feszültségű igénybevétele pedig kicsi.

Az áramirányító szekrényben van még az ismertetett *TM* és *TV* modulokon kívül a sínezés a rászertelt tirisztorvédő biztosítókkal, a hűtővízelosztó rendszer áramlásérzékelőkkel és a kilépő víz hőmérsékletét mérő hőmérővel, továbbá egy egyenfeszültségváltó az egyenirányító kimeneti feszültségének galvanikus leválasztására és két váltakozó áramú áramváltó áramérzékelési célokra.

A tervezés során a legvitatottabb kérdés az volt, hogy alkalmazzunk-e tirisztorvédő biztosítókat. Elhagyásuk mellett szólt, hogy az egynegyedes üzem miatt nincs inverterbillenés, a külső egyenáramú fémes zárlat bekövetkezésének valószínűsége pedig rendkívül kicsi. Alkalmazásuk mellett szólt, hogy az áramirányítókat a belső zárlatok pl. tirisztorhibák ellen is megvédik. A hi-



5. ábra. A tirisztoros modul kapcsolási rajza

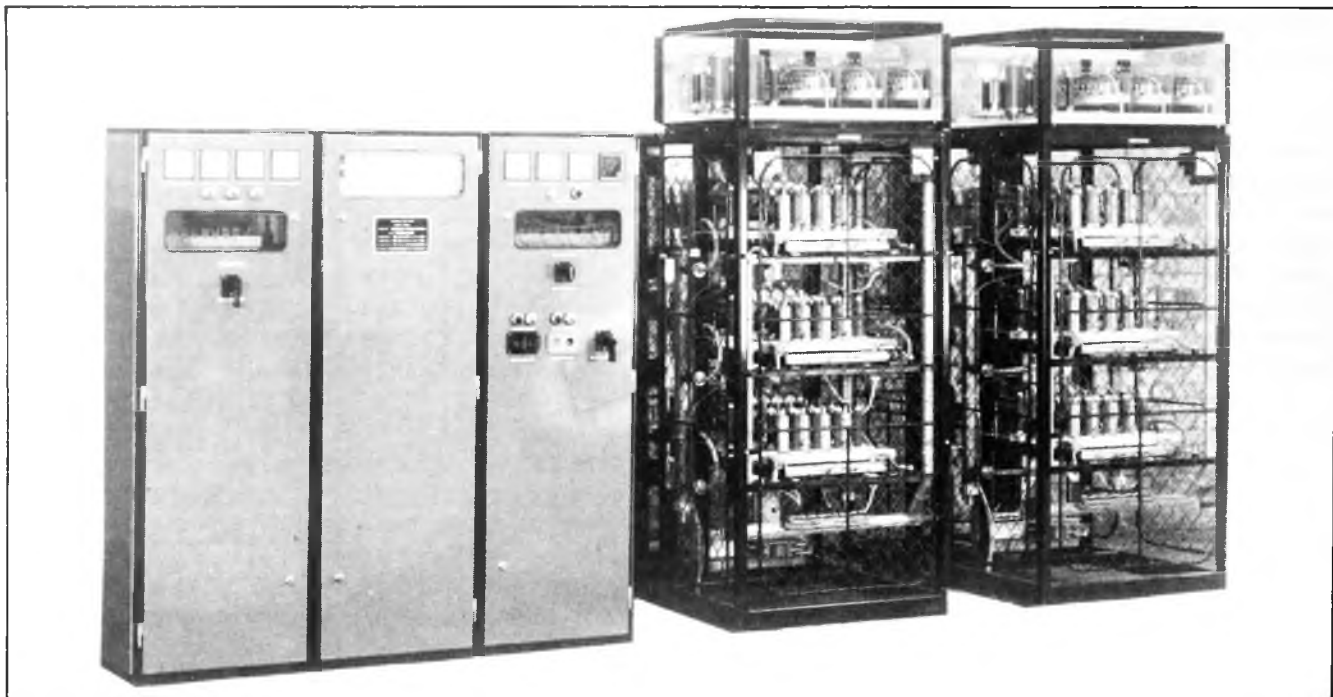
ganykatódos egyenirányítóknál ezek ellen az üzemzavarok ellen az anódköri VAB kapcsolók védtek. Ezek nagyon gyors működésűek, de általunk ismeretlen nagyságú túlfeszültségeket okozhatnak, ezért a tirisztoros áramirányítók beépítéskor ezeket el kellett hagyni. Ez esetben a tirisztoros berendezés belső zárlatait csak a fő tranzformátor előtti 10 kV-os EIB megszakító kapcsolhatta volna le, amelyet nem találtunk kielégítő megoldásnak és ezért hídáganként 2 db párhuzamosan kapcsolt 700 A, 2000 V-os félvezetővédő biztosítót építettünk be.

Itt kívánjuk felhívni a figyelmet arra, hogy párhuzamosan kapcsolt azonos értékű biztosítóknál a biztosító-csoport eredő névleges árama

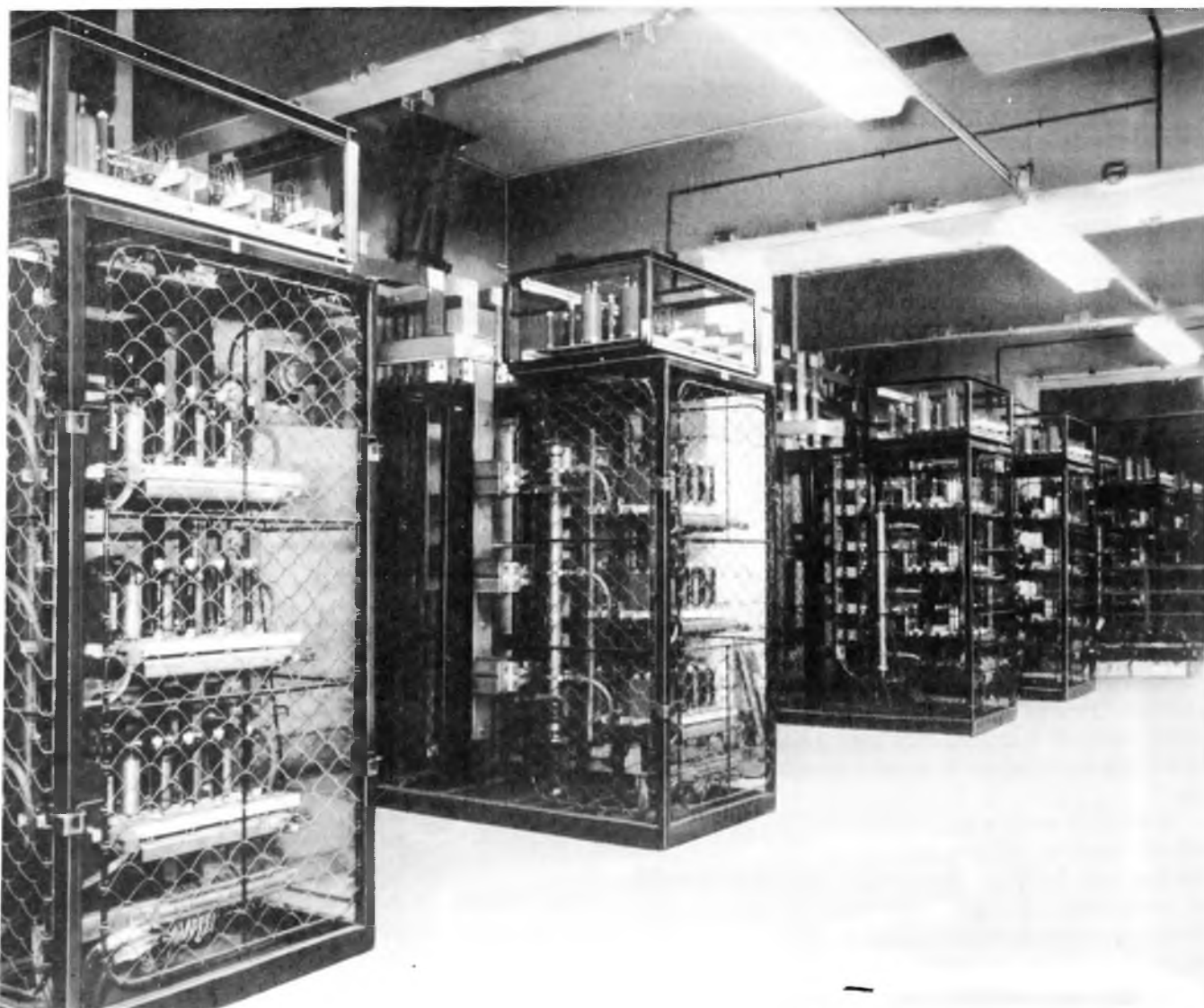
$$i_{\text{eredő}} = n i_B,$$

míg a kiolvadási energiára jellemző $\int i^2 dt$ érték párhuzamos kapcsolásnál

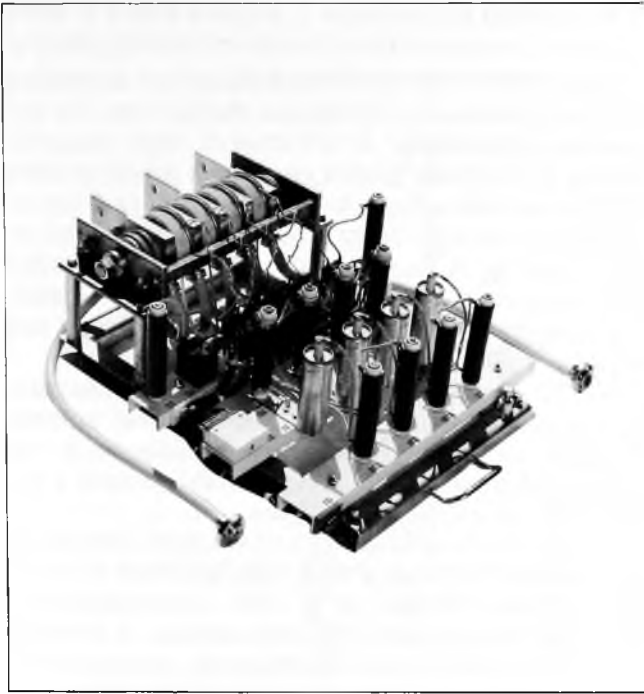
$$(\int i^2 dt)_{\text{eredő}} = \int (n i_B)^2 dt,$$



6. ábra. Egy állvány vezérlő- és egyenirányítószekrényei



7. ábra. Az üzemelő egyenirányítók

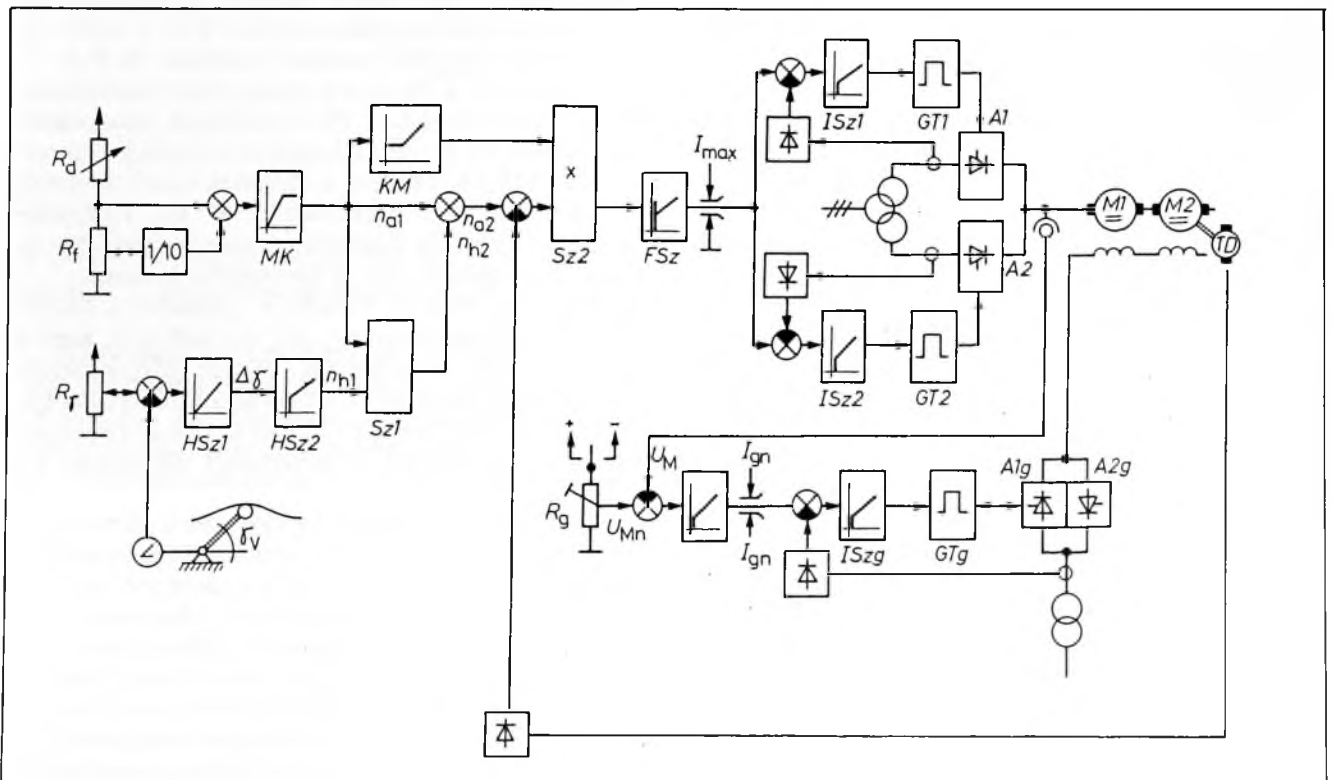


8. ábra. A TM tirisztoros modul

azaz két párhuzamosan kapcsolt biztosító esetében egy biztosító $\int \dot{I}^2 dt$ értékének a négyszeresét kell összehasonlítani a védeni kívánt tirisztor $\int \dot{I}^2 dt$ értékével.

A tirisztoros áramirányítók nyitott kivitelűek, a szekérvázon csak gyorsan leemelhető dróthálóborítás van. Ez jó hozzáférhetőséget biztosít, és a veszteségmelegnek az a része, amelyet a hűtővíz nem vezet el, könnyen eltávozhat. Az áramirányító jól ellenőrizhető, az esetleges

9. ábra. Egy állvány szabályozási tömbvázlata



apróbb rendellenességek (pl. vízszivárgás) szemrevételezéssel megállapíthatók, és lehetőséget ad arra, hogy a berendezésben esetleg keletkező páralecsapódás természetes elpárolgással távozhasson el.

A tirisztoros egyenirányítók, a vezérlőszekrény és a TM modul a 6., 7. és 8. ábrán látható.

Az első állvány tirisztoros berendezésének helyszíni üzembehelyezését 1988-ban az egyhetes tavaszi nagyjavítás alatt végeztük el. Előre látható volt, hogy a rendelkezésre álló rövid időt elsősorban azoknak a reteszelési és szabályozási problémáknak a megoldására kell fordítani, amelyek csak a helyszínen oldhatók meg, ezért előzetesen az intézet laboratóriumában gondos méréseket és beállításokat végeztünk az áramirányítókon a maximális üzemi feszültséggel és terhelő árammal. Az alapos vizsgálatok minden szempontból megtérültek.

1988 decemberében további két állvány, és 1989 novemberében még egy állvány tirisztoros áramirányítói kerültek üzembe, ahol az első berendezés megbízható működése alapján már nem volt indokolt a régi berendezéseket az újak tartalékaként megtartani.

4. A szabályozórendszer felépítése és működése

Az öt hengerállvány mindegyike önálló fordulatszám-szabályozással és ennek alárendelt áramszabályozással rendelkezik, amelynek tömbvázlatát a 9. ábra mutatja. Az adott hengerlési programhoz az egyes állványok fordulatszámait a kormányosállásról az R_d potenciométerrel mint analóg alapjellel lehet beállítani. Ez az alapjel az MK meredekségkorlátozón és az $Sz2$ szorzón keresztül jut az FSz fordulatszám szabályozóba, amely a for-

dulatszám visszavezetett jelet a *TD* analóg tachogenerátortól kapja. Az *FSz* fordulatszám-szabályozó adja a közös áramalapjelet a két áramirányító egymástól független, áramszabályozó köreinek. A két PI jellegű, jó minőségű áramszabályozó azonos beállítású és ez elegendő ahhoz, hogy a két áramirányító még dinamikus is tökéletesen együtt vigye a kívánt terhelési áramot. Az áramkorlátozási értéket az *FSz* fordulatszám-szabályozó kimenő jelének a behatárolásával lehet beállítani áramirányítónként maximálisan 3000 A-ig.

A motorok névleges fordulatszáma alatt a fordulatszám a főáramköri áramirányítók feszültségének módosításával változtatható. Az *ISz* gerjesztőáram-szabályozó ilyenkor az *USz* kapcsolófeszültség-szabályozó kimenő jelének korlátozásával beállított névleges gerjesztőáramra szabályoz. Ha a fordulatszám-alapjelet a névlegesnél nagyobbra állítjuk, akkor a gerjesztőköri szabályozás a kapcsolófeszültség névleges értéken tartása mellett a kívánt mértékű gerjesztőáram-csökkenéssel állítja be az előírt fordulatszámot. A *KM* függvénygenerátor és az *Sz2* szorzó segítségével a fordulatszám-szabályozó kör paramétereit lehet automatikusan úgy változtatni, hogy az illeszkedjen a motornak a mezőgyengítéses tartományban megváltozó átviteli függvényéhez.

Hátrafelé a motort csak üzemzavar esetén kell forgatni, amelyre megfelelő reteszeléssel és a gerjesztési irány álló állapotban történő megfordításával van lehetőség.

Az állványok önálló fordulatszám-szabályozása csak addig tart, amíg nincs anyag a hengerek között. Amikor a befutó lemez összekapcsolja az egymás mellett levő állványokat, akkor a rendszer automatikusan hurokszabályozásra tér át.

Amikor az egyes állványok a lemez befutó végét bekapják, akkor az ugrásszerűen jelentkező terheléslökés hatására az állvány fordulatszáma néhány százalékkal csökken, amelyet a PID jelleggel rendelkező, jó minőségű, *FSz* jelű fordulatszám-szabályozó rövid idő alatt visszaszabályoz az eredeti értékre. Ez a rövid ideig tartó fordulatszám-csökkenés a két állvány között levő lemezben hurokképződést okoz, amely szerencsésen egybeesik a kívánalmakkal. A cél ugyanis az, hogy a lemezszalagot az állványok között adott feszítés mellett hengereljék. A feszítőerőt a két állvány között felemelkedő hurokemelő kar hozza létre, amely egy szabadon futó görgőt feszít a lemez alá. A feszítési erő nagyságát, amely a hengerelt lemez szélességétől, vastagságától, anyagminőségétől és hőmérsékletétől függően beállítható, a hurokemelő hajtás szolgáltatja, amely egy nyomatékszabályozással ellátott egyenáramú motor. Ezt a hurokemelőt az állványok főhajtásában a lemezvég bekapásakor keletkező áramlökés indítja el, és a hurokemelő kar addig emelkedik, amíg a lemeznek nekifeszülve a kívánt feszítőerőt szolgáltatja.

A bekapás után keletkező huroknak és a későbbiekben a két állvány hengerlési sebességének olyannak kell lennie, hogy a hurokemelő kar a vízszinteshez képest 40...45 fokos szöveget képezzen. A hurokfeszítő kar helyzete fogja ugyanis szabályozni a két egymás melletti állvány fordulatszámát az 1. ábrán vázoltak szerint. Ha

a hurokemelő kar tényleges γ_v helyzete eltér a 9. ábrán látható *R* potenciométerrel beállított értéktől, akkor az állvány a *HSz1* és *HSz2* hurokszabályozó erősítőkön keresztül pótlólagos fordulatszám alapjelet kap. Ez úgy gyorsítja vagy lassítja az állványokat, hogy hengerlés közben az öt állvány közötti négy hurok mindig az előre beállított értékű legyen. Az *Sz1* szorzóegység a hurokszabályozás arányát illeszti a mindenkor hengerlési sebességhez. Az *R_i* finombeállító potenciométer egyrészt üzemzavar és próbák esetére kúszó fordulatszám-beállítást, másrészt kézi üzem esetén finom beavatkozást tesz lehetővé.

A PLC-s vezérlés biztosítja, hogy a lemez bekapásakor és annak kifutásakor a hurokszabályozó erősítők megfelelő időzítéssel úgy legyenek engedélyezve és tiltva, hogy az áttérés a fordulatszám-szabályozásról a hurokszabályozásra zavartalan legyen.

A szabályozó elektronika *LSZR* méretű kártyákon, rack fiókban helyezkedik el. A beállítóelemek ún. beállító kártyákon vannak, így a többi elektronikakártya minden állványnál egyforma, csereszabatos. A beállítókhoz ellenállásosztókat alkalmaztunk, potenciométerek felhasználását üzembiztonsági okokból kerültük.

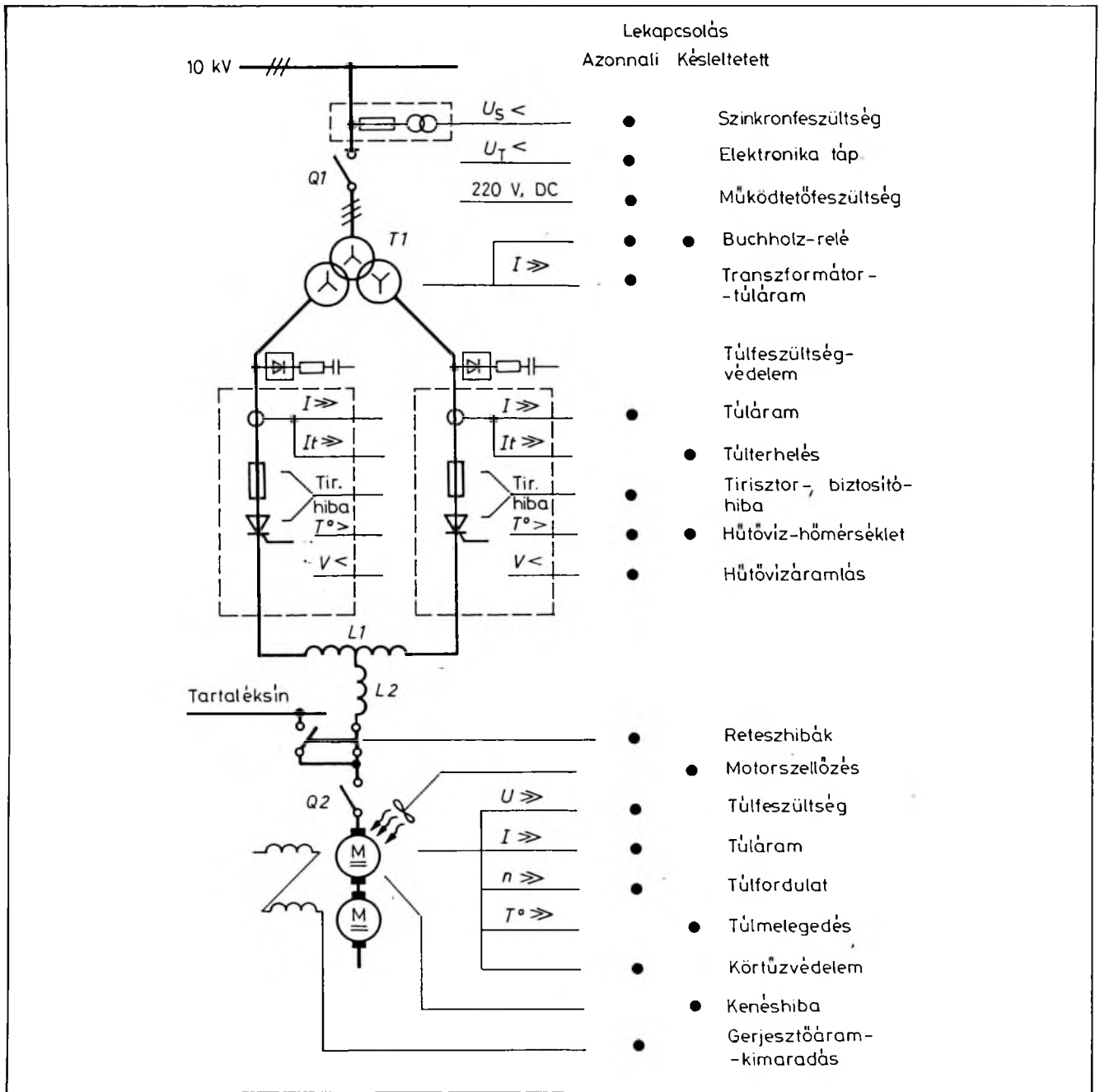
A rack fiókot sématabla egészíti ki, amelyen a szabályozókör felrajzolt tömbvázlata látható és az ábrában elhelyezett mérőpontok segítségével a szabályozás jelei működés közben ellenőrizhetők. A sématabla és a dugaszolható kártyarendszer lehetővé teszi, hogy a szabályozókörök egy részének kiiktatásával az esetleges szabályozási meghibásodások gyorsan feltárhatók.

5. Vezérlés, védelmek

Az állvány működéséhez szükséges vezérlési — és bizonyos védelmi — feladatokat OMRON gyártmányú *S6* típusú programozható logikai vezérlők, PLC-k látják el. Egy hajtásban két PLC-rendszer található. A PLC—1 az áramirányító, a PLC—2 a hajtás külső kapcsolatainak a vezérlését végzi. A PLC-rendszerek gondoskodnak a különböző be- és kikapcsolási sorrendek betartásáról, időzítéséről, valamint a hajtásnak a sori reteszelési rendszerbe való illesztéséről. A két PLC-busz összekötési lehetőség hiányában bizonyos számú be- és kimenetek összekötésével ad jelzéseket egymásnak.

A tervezés során a vezérlést — számítva a PLC-k esetleges meghibásodására — úgy alakítottuk ki, hogy a PLC-rendszerek önmagukban, kezelői közreműködés nélkül ne legyenek képesek a berendezés főkörének bekapcsolására vagy a hajtás elindítására, viszont önálló kikapcsolás vagy leállítás végrehajtására alkalmasak legyenek.

Üzembiztonsági okokból nyugvóáramú áramkörök létrehozására törekedtünk. A vezérlés fixen huzalozott részét is úgy alakítottuk ki, hogy a működtető egyenfeszültség eltűnése a *Q1* főmegszakító kikapcsolását indítsa. A PLC-rendszerek tartják az érzékelt hibajelzéseket, amelyek a hiba megszűnte után a közös hibatörölő gombbal törölhetők. Előjelzések esetében nem történik azonnali leállítás, csak a hiba jellegének megfelelő időzítés után, hacsak közben nem szűnt meg az előjelzést kiváltó ok.



10. ábra. A hajtásvédelmek vázlatos felépítése

Az áramirányítónak saját, gyors működésű elektronikus védelmei vannak, pl. biztosítókivadás esetén a PLC-1-től függetlenül a következő gyújtóimpulzust már le is tiltja, majd jelzi a hibát a PLC-2-nek, amire az a megfelelő kikapcsolási folyamatot végrehajtja. Más

esetben — pl. az elektronika tápfeszültségének kimaradásakor — a PLC-1 közvetlenül kikapcsolja az impulzustranzformátorok tápfeszültségét, mert ilyenkor a gyújtóegységek tiltása bizonytalanra válhat.

A védelmek beavatkozási rendszerének vázlata a 10. ábrán látható.

Elektronikus levegőszennyezés-érzékelő készülék

SZTRÓKAY ISTVÁN—SZEGŐ IMRE

ÖSSZEFOGLALÁS

A gázszivárgásokból adódó lakásbalesetek arra indították az intézetet, hogy kifejlesszen egy viszonylag olcsó, a lakásban könnyen elhelyezhető gázérzékelőt. A készülék kísérleti példányainak elkészítése és hatósági engedélyeztetése után az intézetben 1988-ban elkészült és a RAMOVILL-on keresztül piacra került 300 db gázérzékelő.

A cikk a készülék felépítésével, műszaki jellemzőivel foglalkozik, rámutatva a továbbfejlesztés lehetőségeire.

ELEKTRONISCHER LUFTVERSCHMUTZUNGSDETEKTOR

ISTVÁN SZTRÓKAY—IMRE SZEGŐ

Zusammenfassung

Wiederholte Unfälle in Wohnungen zufolge Gasaustritt veranlaßten das Institut einen verhältnismäßig billigen Gasdetektor zu entwickeln. Nach behördlicher Genehmigung der Versuchsmuster wurden 300 Gasdetektoren in dem Institut im Jahre 1988 hergestellt und über RAMOVILL auf dem Markt angeboten.

Der vorliegende Aufsatz befaßt sich mit dem Aufbau, den technischen Kennwerten und den Möglichkeiten einer Weiterentwicklung des Geräts.

ELECTRONIC AIR POLLUTION DETECTOR

ISTVÁN SZTRÓKAY—IMRE SZEGŐ

Summary

Repeated accidents in dwelling units as a result of gas leakage moved the Institute to develop a relatively cheap gas detector. After the first experimental devices had been produced and licensed by authority, 300 gas detectors were produced in the Institute and marketed through RAMOVILL in 1988.

This paper deals with the construction and technical parameters of the device as well as with the possibilities of developing further advanced types.

ЭЛЕКТРОННЫЙ ИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА

ИШТВАН СТРОКАИ—ИМРЕ СЕГЕ

Резюме

Несчастные случаи, происходящие в квартирах по причине утечки газа, побудили работников Института разработать сравнительно дешёвый, легко устанавливаемый в квартире газовый рецптор, указывающий присутствие газа. После изготовления экспериментальных образцов прибора и получения разрешения от властей на введение его в оборот в Унституте было изготовлено 300 индикаторов газа.

В статье описывается конструкция прибора, даются его технические параметры, рассматривается возможность его дальнейшего совершенствования.

A levegőszennyezés-érzékelő készülék kialakításának főbb szempontjai

A technika fejlődésével szorosan összefügg az a tény, hogy a természeti környezet — így a levegő is — a felhasznált anyagok hulladékaival szennyeződik. A szennyeződés sokszor látható is, (pl. kipufogógázok) de az élőlények számára a legveszélyesebbek a szagtalan, színtelen mérgező gázok, mint pl. a szén-monoxid.

A gáznemű energia szállítása (pl. gázvezeték zárt térben), valamint a lakóházak kéményeinek meghibásodása is veszélyt rejt magában. Alvás közben az érzékszervek működése jelentősen legyengül és még a szagosított gázok szivárgása is többször okozott tragédiákat.

A levegő szennyezettségének mértéke s a belégzés időtartama egyaránt fontos, mivel mindkettő növekedése fokozza a mérgezési tüneteket.

A következő összeállítás az előbbi két összetevő hatását szemlélteti szén-monoxidra.

Szén-monoxid-
tartalom
a levegőben

Élettani hatása

0,02% (200 ppm)
0,04% (400 ppm)
0,08% (800 ppm)

Enyhe fejfájás 2-3 óra múlva
Fejfájás 1-2 óra múlva
Kábultság, hányinger és kólika
45 perc után. Ájulás 2 óra múlva

0,16% (1600 ppm)

Fejfájás, rosszullet és hányinger
20 perc múlva
Halálos 2 óra múlva

0,32% (3200 ppm)

Fejfájás, rosszullet és hányinger
5-10 perc múlva
Halálos 30 perc múlva

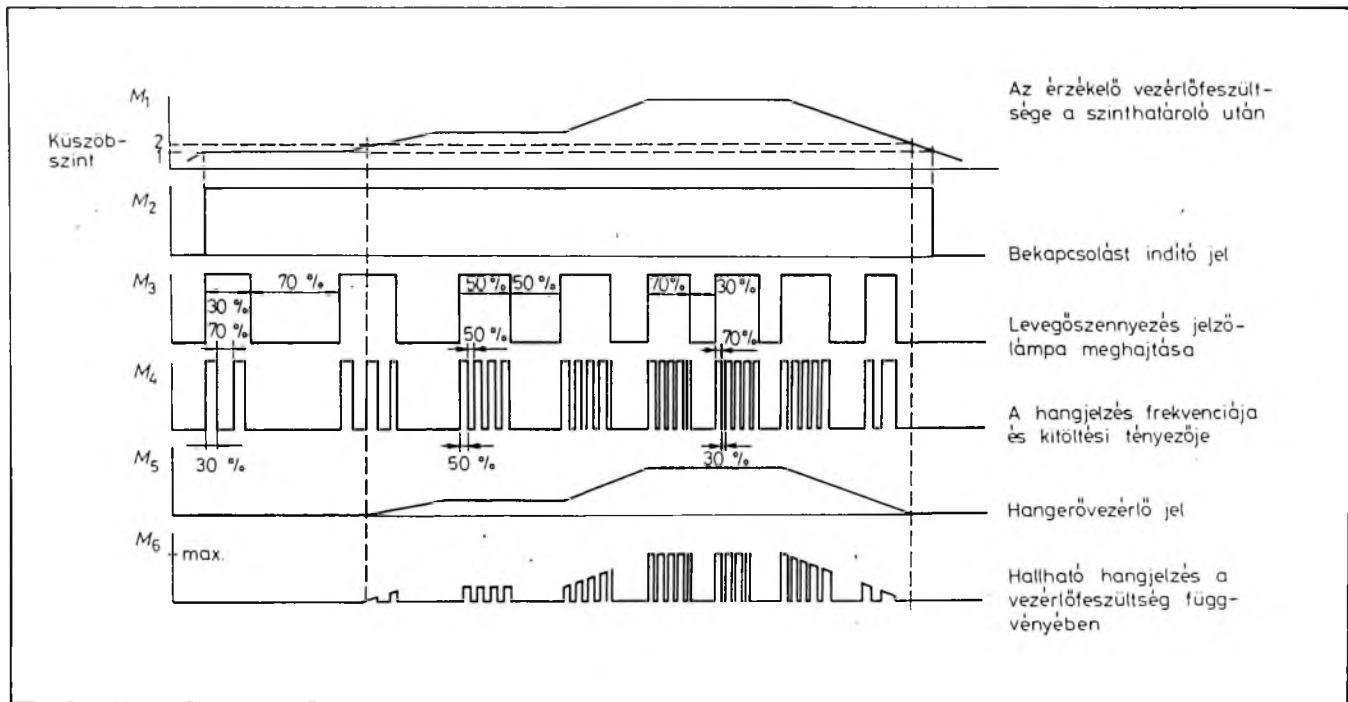
0,65% (6400 ppm)

Fejfájás, rosszullet és hányinger
1-2 perc múlva
Halálos 10-15 perc múlva

1,28%
(12 800 ppm)

Halálos 1-3 perc múlva

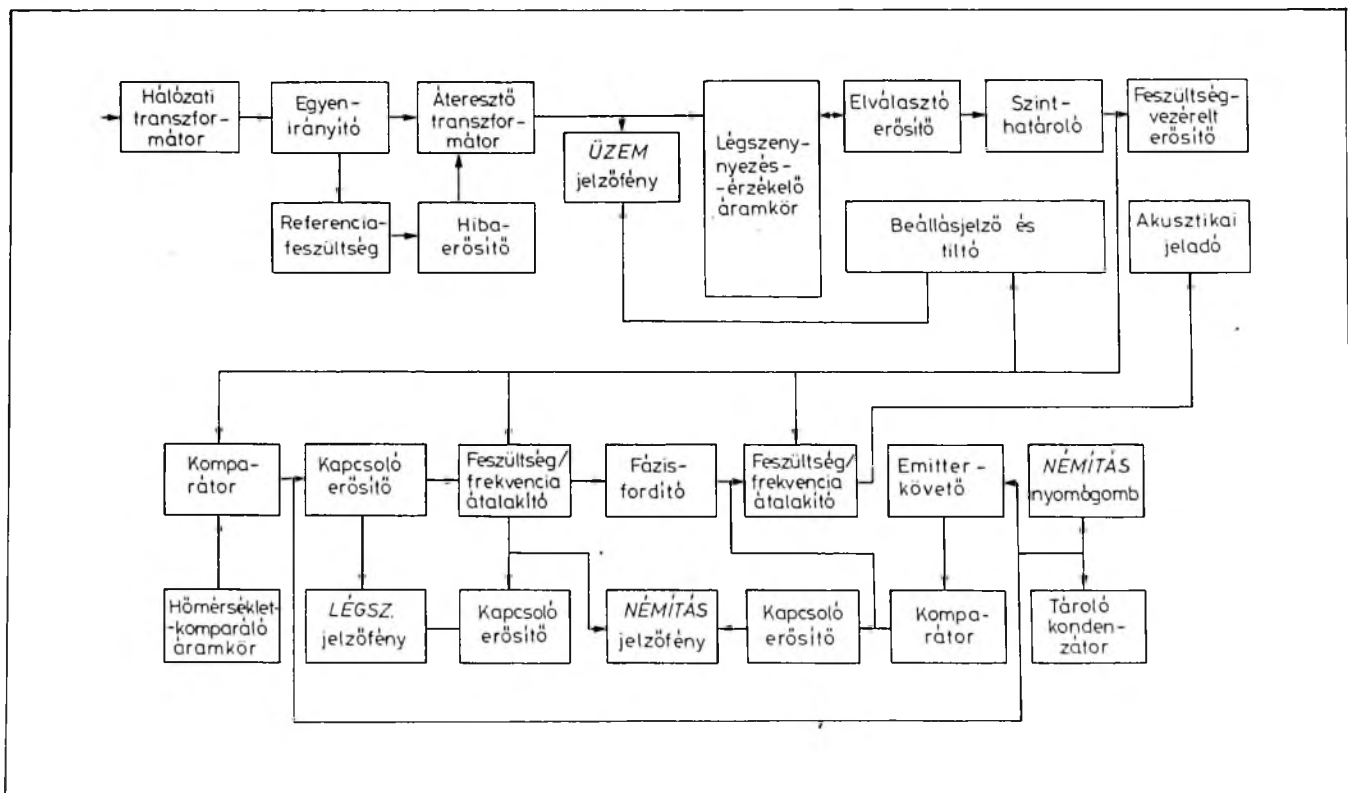
A gázok érzékelése átalakítók segítségével már eléggé elterjedt, és az érzékelők fejlesztésének köszönhetően ma már szelektív (csak egy meghatározott gázra érzékeny) érzékelők is léteznek.



1. ábra. A levegőszennyezés-érzékelő működési diagramja

Az élőlények számára az éltető levegőbe keveredett többféle gáznemű anyag jelent veszélyt, amely sok esetben csak gyengébb tünetekkel (pl. fejfájással, szédüléssel) jár, azonban többször ismétlődve, vagy hosszabb idő után, mérgezést vagy betegséget (pl. allergiát) okoz.

2. ábra. A készülék adatfeldolgozó egységeinek elrendezése



Ennélfogva, a levegőszennyezés-jelző készülék fejlesztési munkáinál inkább azok az érzékelők kerültek előtérbe, amelyek a legtöbb fajta gáz érzékelésére alkalmasak és megbízhatóak. A legmegfelelőbbnek a Figaro-cég (Japán) által gyártott TGS-család mutatkozott, ezt az SZKFI mérései is bizonyították. A műszer alapérzékenysége a 200 ppm-es CO szennyezésnél mért jelző-küszöbnél megfelelő, a gyártás során problémamentesen beállítható és hosszú ideig stabil. Az érzékelő — tulajdonságainál fogva — a 200 ppm-es szén-monoxiddal

történt hitelesítés esetén még a következő gáz-, ill. gőzcsoportok esetén is jelzést szolgáltat, bár nem azonos koncentrációk esetén: szénhidrogének (metán, propán-bután gáz, benzin), acetón, benzol, etilalkohol, széntetraklorid, szintetikus hígító és származékaik. Megtalálhatók közöttük az iparban, háztartásokban stb. leggyakrabban előforduló, a legtöbb ártalmat, ill. balesetet okozó gázfajták, amelyeknek már kis mennyiségére is megindul a jelzés.

A készülék érzékenységi küszöbének kiválasztása tehát elsősorban az egészség megóvása érdekében történt, azonban ezzel lehetővé vált a robbanás-, ill. tűzveszély korai előjelzése is. Az idevonatkozó előírások szerint a robbanásveszély az alsó robbanási határnál kezdődik, amely a biztosan robbanóképes koncentrációnak a 20%-a. Mivel a készülék már jóval a 20% ARH érték alatt jelzést szolgáltat, a választott küszöbérzékenység mind élettani, mind tűz-, ill. robbanásveszély szempontjából olyan pont, amikor a készülék jelzésének megindulása egyben a veszélyhelyzet elhárítására vonatkozó cselekvés megkezdésére hívja fel a figyelmet.

A levegőszennyezés-érzékelő készülék működésének módja

A levegőszennyeződésnek a küszöbérték fölé való emelkedése esetén a készülék — a stresszhatás elkerülése érdekében — eleinte csak lassan villogó fényjelzést ad. A növekvő levegőszennyezés gyorsabb villogással, azonos szaggatású hangjelzéssel bővül ki, vagyis a hangjelzés bekapcsolódása folyamatos. Amíg a levegőszennyezés erőssége nő, ennek a kombinált jelzésnek a hangereje, hangmagassága és szaggatásának sűrűsége egyre nő (1. ábra). A levegő tisztulásával ez a jelzés mód fordítottan zajlik le, optikai és akusztikus módon érzékelve az érzékelő által szolgáltatott jelet.

A gyakorlati életben — tudatos cselekvések alkalmával is — előfordul, hogy pl. oldószergőz vagy illatosító spray kerül a levegőbe, amelyről tudomásunk van. A készülék hangjelzése az előbbi esetben felesleges, azonban kikapcsolása magában hordozza annak a veszélyét, hogy a levegőszennyeződés elmúltával elfelejtik újra bekapcsolni. Ennek elkerülése érdekében a hangjelzés némítására van lehetőség, amelynek időtartama kb. 1/2 óra, és ez idő alatt a készülék megkülönböztető fényjelzést szolgáltat.

A készülék villamos feldolgozó egységeinek elrendezése (2. ábra) lehetővé teszi a távmérésre, távjelzésre

könnyen felhasználható jelek kiadását, ill. pl. szellőztetőgépek távvezérlését.

A megvalósított készülék felépítése

A tömbvázat alapján a készülék működése a következő. Bekapcsoláskor — amikor az érzékelő még hideg — a beállásjelző és tiltó áramkör szaggatott fényjelzéssel és a jelzőáramkörök letiltásával előzi meg az esetleges téves jelzésadást. A teljes beállási idő kb. 2 perc, ennek elteltével az előbbi áramkör kikapcsolódik, tiltása megszűnik. A levegőszennyezés hatására az érzékelő ellenállása lecsökken, amely a jelzésindító komparátor bekapcsolódásához vezet. Az analóg jelátalakítók a feszültség csökkenésének mértékében növelik a fényjelzés felvillanásának sűrűségét, a villogással szinkron hallható hangjelzés frekvenciáját és a hangerőt. A folyamat az érzékelő ellenállásának növekedésekor, a levegőszennyezés elmúlásakor fordítottan megy végbe. A környezeti hőmérséklet változásainak hatását az érzékelő mellé helyezett termisztor hatása küszöböli ki. A készülék némító áramköri egysége egy hosszú idejű késleltető (kb. 1/2 óra), amely a hangjelzés kikapcsolásakor pótlólagos és ellenfázisban működtetett fényjelzést is bekapcsol, jelezve ezáltal a szándékos némítást. Megjegyzendő, a készülék mechanikai konstrukciójával kapcsolatban az, hogy a folyamatos függőleges légáramlást a készülék működéséhez felhasznált (kb. 7 VA) villamos energia hővesztesége tartja fenn.

Áramköri megoldás biztosítja, hogy kellő darabszám esetén a feladatra előkészítendő BOA a legkevesebb és könnyen előállítható elemekkel készíthető típus legyen.

A megvalósított készülék esztétikus, jól szellőző műanyag házban nyert elhelyezést. Súlya kb. 1 kg, hordozható, bekapcsolás után kb. 2 perccel üzemkész.

A készülék ellenőrzése és forgalmazásának engedélyezése

A készüléket villamosan a MEEI, gáztechnikailag az SZKFI vizsgálta meg és hagyta jóvá. Az Állami Energetikai és Energiabiztonságtechnikai Felügyelet a készülék használati körét illetően, jóváhagyólag nyilatkozott.

A készülék gyártásbeviteléhez szükséges költségekből a RAMOVILL jelentős részt vállalt és ma is forgalmazza azokat.

Kis áramerősségű villamos ívek hőmérsékleteloszlásának mérése interferometrikus technikával

TANOS ERVIN—PILINYI ANDRÁS—RÉTFALUSI PÉTER—BÁN GÁBOR

ÖSSZEFOGLALÁS

A magneto-hidrodinamikus (MHD) elvű erőművek elektródproblémái gátolják a hosszú élettartamú generátorok létrehozását. Az erősen fluktuáló, kis hőmérsékletű plazmában fellépő ívelési jelenségek vizsgálatára különleges interferométert dolgoztunk ki. A különböző paraméterekkel jellemezhető villamos ívek előállítására és a mérések vezérlésére elektronikus vezérlő- és adatgyűjtő rendszert készítettünk. Az interferometrikus mérések alapján a mikroívek térbeli hőmérsékleteloszlását határoztuk meg.

TEMPERATURVERTEILUNGS-MESSUNG VON ELEKTRISCHEN LICHTBÖGEN KLEINER STROMSTÄRKE MIT HILFE VON INTERFEROMETRIE

ERVIN TANOS—ANDRÁS PILINYI—PÉTER RÉTFALUSI—GÁBOR BÁN

Zusammenfassung

Elektrodenprobleme bei magneto-hydrodynamischen (MHD) Kraftwerken beeinflussen die Lebensdauer der Generatoren ungünstig. Zur Untersuchung der Erscheinungen im Zusammenhang mit Lichtbogenbildung in dem stark schwankenden Plasma niedriger Temperatur wurde ein Spezialinterferometer entwickelt. Zur Herstellung von Lichtbögen verschiedener Parameter sowie zur Steuerung der Messungen benutzten wir ein selbst entwickeltes elektronisches Steuer- und Datenerfassungssystem. Auf Grund der interferometrischen Messungen wurde die räumliche Temperaturverteilung der Mikrolichtbögen bestimmt.

MEASUREMENT OF THE TEMPERATURE DISTRIBUTION OF LOW CURRENT ELECTRIC ARCS USING INTERFEROMETRIC TECHNIQUES

ERVIN TANOS—ANDRÁS PILINYI—PÉTER RÉTFALUSI—GÁBOR BÁN

Summary

Electrode problems of magnetohydrodynamic (MHD) power stations affect the life time of generators unfavourably. A special interferometer has been developed for investigating the arc phenomena occurring in the strongly fluctuating low-temperature plasma. An electronic control and data acquisition system has also been developed to produce electric arcs of different parameters and to control measurements. The 3D (three dimensional) temperature distribution of the microarcs can be developed on the basis of interferometric measurements.

ИЗМЕРЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДУГ ТЕХНИКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ПРИ НЕБОЛЬШОЙ СИЛЕ ТОКА

ЭРВИН ТАНОШ—АНДРАШ ПИЛИНЫИ—ПЕТЕР РЕТФАЛУШИ—ГАБОР БАН

Резюме

Проблемы электродов магнито-гидродинамических (МГД) электростанций затрудняют создание генераторов с длительным сроком службы. Для исследования явления образования дуги в низкотемпературной, сильно колеблющейся плазме был разработан специальный интерферометр. Для создания электрических дуг, характеризующихся различными параметрами, и для управления измерений была создана система электронного управления и сбора данных. На основе измерений интерферометрией было определено пространственное распределение температуры микродуг.

1. Bevezetés

A VKI optikai laboratóriumában hosszú ideje foglalkozunk interferometrikus plazmadiagnosztikai technikákkal. Néhány évvel ezelőtt kezdtünk hozzá egy új típusú interferométer fejlesztéséhez, amelyet fázistolással működő TV-moire interferométernek neveztünk el. Ennek segítségével vizsgálni lehet egy ív által okozott fázisváltozásokat még egy erősen fluktuáló közegben is, mint amilyen pl. az MHD-plazma vagy egy láng. A fluktuáló közeggel kapcsolatban van egy nagyon fontos előfeltevésünk, nevezetesen, hogy az általunk vizsgált ívdő a fluktuációk karakterisztikus idejénél jóval rövidebb. Az áramló plazmában égő villamos ív elméleti hőmérsékleteloszlásának leírására az [1]-ben található eredményeket használtuk fel. Jelen cikkben rövid leírást adunk az interferométerről, a kísérleti elrendezésről, az elméleti feldolgozó, kiértékelő formulákról és az eredményekről.

2. Hogyan működik az interferométer?

Különböző kutatók kísérelték már meg felhasználni a holográfiai és a szokásos interferometriai technikát plazmák mérésére [2], [3], [4]. A mi rendszerünk ugyanazt az információt adja, mint a holográfia, de természetesen csak egy irányból, mivel interferométer. Az interferometrikus csíkrendszerrel egy videomagnetofonon

rögzítjük, így max. 25 képet tudunk csinálni másodpercenként, amely sokkal gyorsabb, mint a szokásos holográfia. Az interferométer sémája az 1. ábrán látható. Ez egy szokásos Mach–Zender típusú interferométer. A TV kamera adja a szinkronjelet minden egyes képkocka kezdetekor. Ekkor az akusztó-optikus modulátor bekapcsolja a lézert (λ=632,8 nm) és az első expozíciót rögzítjük a vidikonon. Egy rövid idő múlva a fázis-modulátor bekapcsolódik és a tárgysugár fázisát eltolja π-vel, majd ezután a fényt bekapcsoljuk a második expozícióhoz. Mivel egy képkocka időtartamára a vidikon – integráló rendszer lévén – tárolja a csíkrendszert, a kétexpozícióból adódó csíkrendszer intenzitáseloszlásának összege jelenik meg a TV-képen, mindaddig, amíg az elektronsugár ki nem törli az információt. Gyakorlatilag mindkét expozíciót a képkocka kezdetén kell elkészíteni, a mi rendszerünkben a két expozíció közötti idő kisebb, mint 3 ms [8].

Az interferométer elméleti alapjai nagyon egyszerűek. A két síkhullám intenzitáseloszlásának összegét a következő formában lehet írni:

$$I = I_0 |\cos^2(kx) + \sin^2[kx + \beta(x)]|.$$

Természetesen, ha nincs változás a két expozíció között, akkor az összeadott intenzitások eloszlása az alkalmazott π fázistolásnak megfelelően homogén. Ha fázisváltozás történt a két expozíció között, akkor a homogén képet ez modulálja és föltűnnek a csíkok azon a helyen, és csak azon a helyen, ahol a változás történt. Ezt a változást a csíkok láthatóságának elemzésével lehet kiértékelni. A két expozíció közötti fázisváltozás okozta V láthatóságot a következő formában lehet felírni:

$$V = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \Big|_{\text{ív általi fázistolással}} = -\sin \frac{\beta}{2} \cdot \kappa(x)$$

ahol

$$\kappa(x) = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}};$$

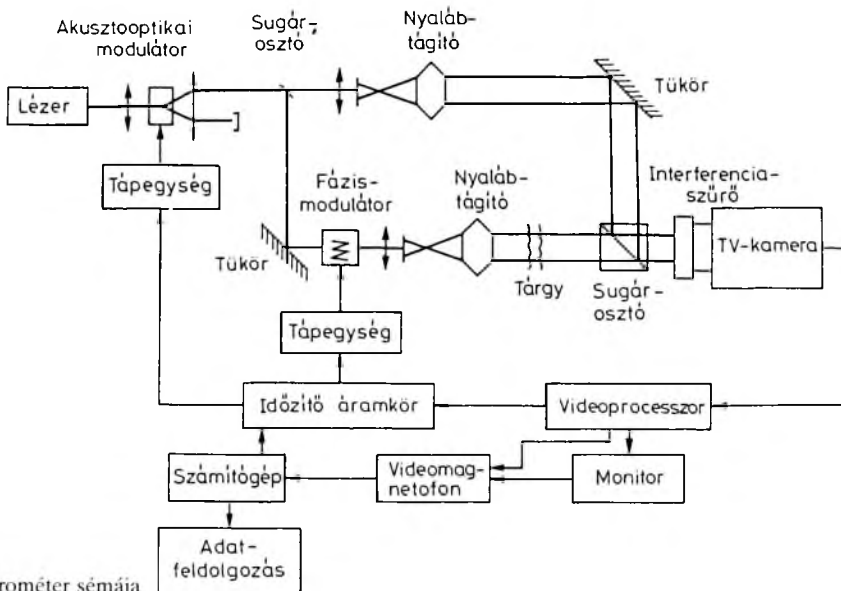
β a mérendő fázisváltozás; x koordináta; I_{max} a világos csíkok maximális intenzitása; I_{min} a csíkok minimális intenzitása; V a láthatóság.

A κ(x) függvény függ a helytől, mivel a gyakorlatban használt vizsgálo hullámok intenzitása nem állandó, hanem valamilyen eloszlású Gauss-nyaláb. Ezt meg lehet határozni az eredeti, még nem perturbált csíkrendszerből.

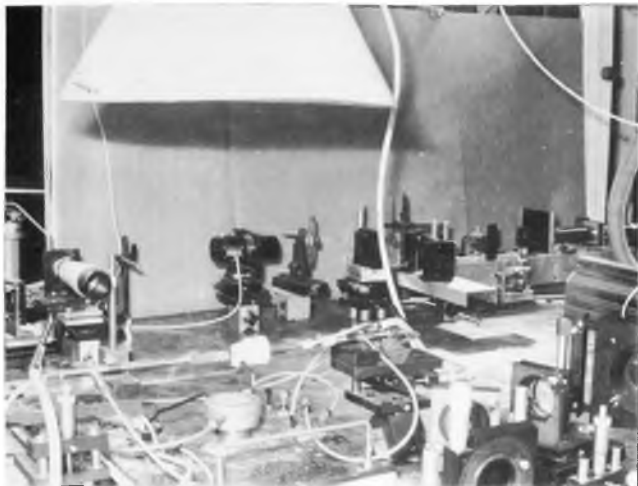
3. A kísérleti felépítés

Az interferométert egy vibrációmentes optikai asztalra építettük, amelynek középpontjában a plazmaforrást helyeztük el (PB égő), amint az a 2. ábrán látható. A kép háttérében látható a 3 mW-os hélium–neon lézer a fénymodulációs egységgel, az elektrooptikai fázistolóval és a tárgysugártágítóval. A 3. ábra mutatja az optikai rendszer kimenetét, az interferométer végét. Itt látható a referenciasugár nyalábtágítója, valamint az interferencia-szűrő, amelynek az a feladata, hogy az ív és lág saját fényét kiszűrje. A képen látható még néhány optikai elem, amelyet a plazmahőmérséklet és az atomkoncentráció mérésére használunk.

A mérőrendszert egy programozható, 8 bites mikroprocesszoron alapuló elektronikai rendszer vezérli. Ennek feladata, hogy beállítsa a különböző mérések időbeli eloszlását, vezérelje az elektrooptikai készülékeket, begyűjtsa a villamos ívet, begyűjtsa a videojel információit, nevezetesen a csíkrendszer intenzitáseloszlását, adatokat gyűjtsön a villamos ív elektromos paramétereiről, valamint ezeket az adatokat továbbítsa egy számítógé-



1. ábra. Az interferométer sémája



2. ábra. Az optikai elrendezés fényképe

gépnek. A villamos ív elektromos paramétereit mellett mérjük az elektródok hőmérsékletét is.

A kísérleti adatokat video-magnetofonnal rögzítjük, valamint a feldolgozás után floppy-diszken is. Ez a komplett elektronikus rendszer lehetővé teszi, hogy mind az ív begyűjtésakor, mind az ív kialvása után készíthessünk interferogramokat, valamint a villamos ív paramétereit statisztikus módszerekkel dolgozhassuk fel.

Az interferogramok kiértékelését Commodore 64 típusú számítógéppel végezzük, amelyre egy speciális programot készítettünk, és amely a videojel digitalizált formáját kapja az előzőekben említett elektronikus rendszertől.

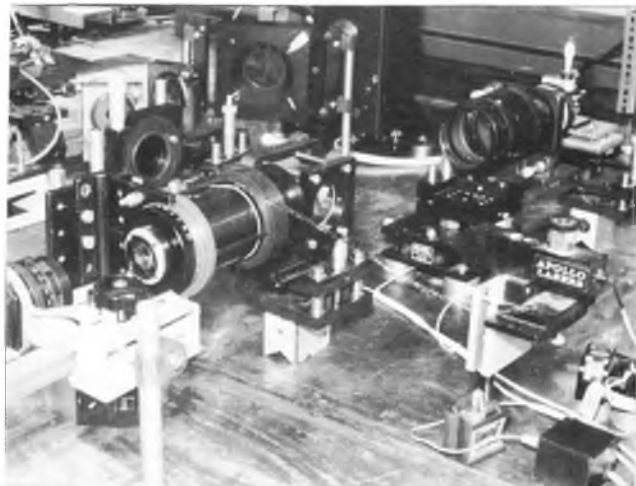
4. Az interferogramok kiértékelésének elmélete

Az interferogramok helyes kiértékeléséhez a következő eljárást kell végigcsinálni:

- meg kell határozni a hőmérséklet–törésmutató kapcsolatát;
- meg kell határozni az elméletileg lehetséges hőmérséklet-eloszlást;
- zajszűrést kell végezni;
- az elméleti és kísérleti adatok illesztésével meg kell határozni az elméleti eloszlásban meglévő szabad paramétereket;
- meg kell határozni az ívparaméterek és a hőmérséklet-eloszlás összefüggését.

Viszonylag egyszerű feladat a törésmutató hőmérséklet-függésének meghatározása. Jól ismert ugyanis a plazma összetétele a lokális termodinamikai egyensúly állapotában, valamint az egyes komponensek törésmutatója is [5], [6]. Ezeknek az adatoknak a felhasználásával a kívánt függvényt ki lehet számítani:

$$\chi_{iv} = \bar{a}e \left\{ -\frac{T}{T_0} \right\},$$



3. ábra. A fázistolós interferométer kimenete

ahol

$$\bar{a} = 9,296 \cdot 10^{-3}, T_0 = 2000 \text{ K, ha } T < 4000 \text{ K;}$$

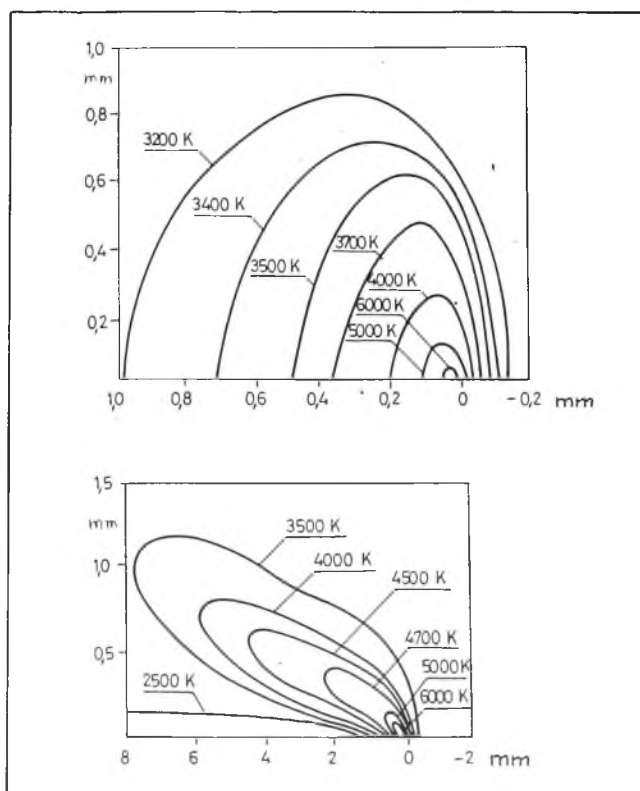
$$\bar{a} = 4,014 \cdot 10^{-3}, T_0 = 3356 \text{ K, ha } T > 4000 \text{ K.}$$

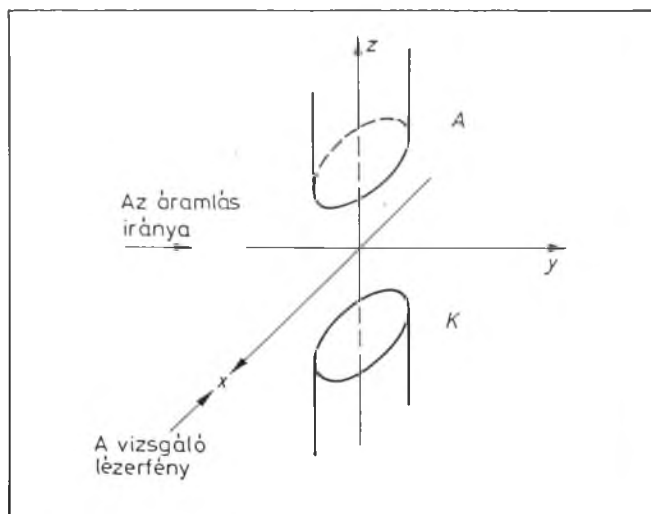
$$n_{pl} = 1 + 1,128 \cdot 10^{-2} \chi.$$

Egy plazmaáramban égő villamos ív hőmérséklet-eloszlását elméleti úton [1] írta le. Ez az elmélet a szokásos ívleírás, amelyet az áramló plazma hatásának figyelembevétele módosít. Az elméletileg kapható hőmérséklet-eloszlásokból egy példa látható a 4. ábrán.

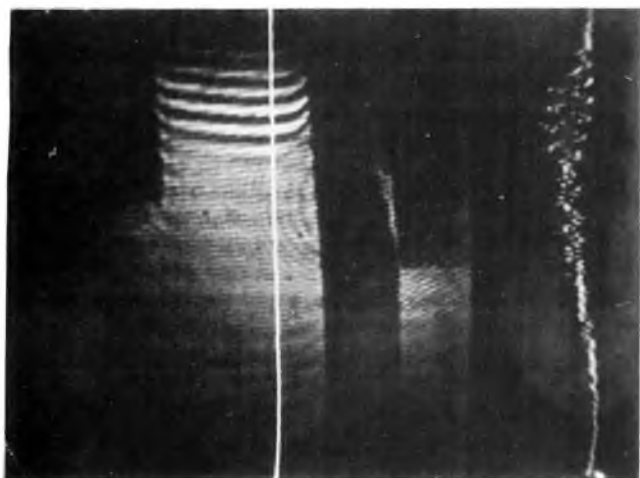
Ez az elméleti hőmérséklet-eloszlás végtelen sorral állítható elő, de a törésmutató térbeli eloszlását leíró

4. ábra. Az elméleti hőmérséklet-eloszlások





5. ábra. A mérési elrendezés koordinátarendszere



6. ábra. 10 A-es ív interferogramja

függvényre egy viszonylag egyszerű közelítő formulát találtunk:

$$n_{iv} = n_{pi} - cy^{1/2} \exp \left\{ dy^2 + \frac{a}{y} \exp[by \cdot x^2] \right\}$$

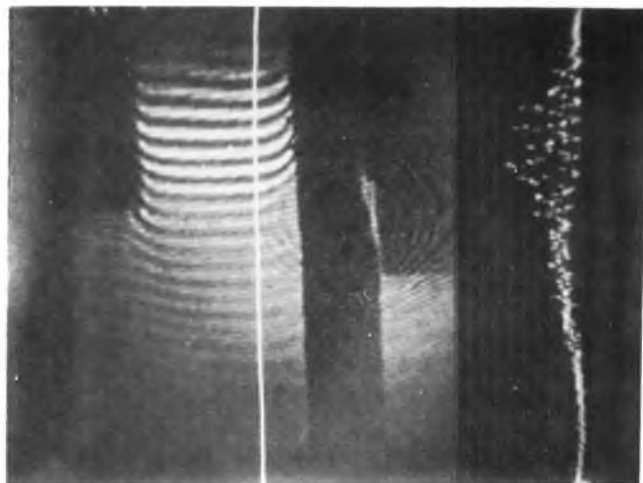
ahol n_{iv} az ív törésmutatója; n_{pi} az áramló plazma törésmutatója; a, b, c, d szabad paraméterek:

$$a < 0, [a] = \frac{1}{\text{mm}}; \quad b > 0, [b] = \frac{1}{\text{mm}};$$

$$c > 0, [c] = \frac{1}{\text{mm}^{1/2}}; \quad d < 0, [d] = \frac{1}{\text{mm}^2}.$$

A koordinátarendszert az 5. ábrán mutatjuk be. Az ív helyfüggési képletének birtokában meg lehet határozni a villamos ív által a vizsgáló lézertengelyben okozott fáziseltolást az ívtengely menti integrálással:

$$C \sqrt{\frac{\pi}{-a}} y_i \exp \left\{ dy_i^2 - \frac{b}{2} y_i \right\} = \frac{\lambda}{2\pi} \beta_i \quad (i = 1, 2, \dots, N),$$



7. ábra. 21 A-es ív interferogramja

ahol y_i az i -edik mérés koordinátája; β_i a mért fáziseltolás; $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ a lézertény hullámhossza.

A mért fáziseltolási adatok birtokában az egyenletrendszerből a legkisebb négyzetek módszerével meghatározható a d, b és $c/\sqrt{-a}$ paraméter. Ahhoz, hogy az a és c paramétert külön-külön is meghatározhassuk, további feltételezésre van szükségünk, mégpedig előfeltevéseket kell tennünk az ív tengelyének maximális hőmérsékletére, vagy méginkább a törésmutatójára. Ebből:

$$C = \frac{n_{pi} - n_{ivm}}{\sqrt[4]{-\frac{1}{4d} \exp \left\{ -\frac{1}{4} \right\}}}$$

képlet

ahol n_{ivm} a törésmutató az ív tengelyében ($T = T_{\max}$). Használva ezeket a „mért” a, b, c és d paramétereket meghatározható a kísérleti hőmérsékleteloszlás:

$$x^2 = \frac{\ln \{ n_{pi} - n_{iv}(T) \} - \ln C - \frac{1}{2} \ln y - dy^2}{a \exp(by)} y.$$

képlet

Ez a képlet egy adott T hőmérséklethez tartozó izotermákat írja le.

A kiértékelés további lépéseit az ún. csatornamodell alapján végeztük el. Ehhez első lépésben szimmetrizáltuk az eloszlásgörbéket. Ehhez első lépésben szimmetrizáltuk az eloszlásgörbéket. Ehhez meghatároztuk az izotermák tengelymetszeteiből és a tengelytől való legnagyobb távolságából adódó ellipsziseket (ezeket a méreteket tekintve az ellipszis tengelyeinek) és feltettük, hogy az áramlás fújó hatása nélkül ezek szimmetrikusan helyezkednének el. A hengerszimmetrikus eloszlást a féltengelyek számtani közepéből adódó átlagsugárból, a tényleges áramlással befolyásolt ív ettől való eltérését, excentricitását a féltengelyek különbségének és összegének hányadosából számítottuk.

A csatorna-modellből az ív magjára parabolikus, az ív köpenyére logaritmikus eloszlás adódik:

$$T = T_0 - \frac{\sigma E^2}{4\kappa_1} r^2 \quad r < r_c,$$

$$T = T_w - \frac{\sigma E^2}{2\kappa_2} r_c^2 \ln \frac{r}{R} \quad r_c < r < R,$$

ahol T_0 az ív tengelyhőmérséklete; σ az ív vezetőképessége az ív belső csatornájában; κ_1 az ív hővezetőképessége a magban; κ_2 az ív hővezetőképessége a köpenyben; E a villamos térerősség az ív magjában; T_w a falhőmérséklet (esetünkben a környező plazma hőmérséklete); R az ív sugara a $T = T_w$ helyen; r_c az ív sugara a mag és köpeny határán.

Az r_c paraméterre a két kifejezés egyenlősége ad egyenletet. Az E értékére az Elenbaas—Heller egyenletből kapható általános érvényű kifejezés:

$$E^2 = - \frac{-R\kappa_R \nabla T_{r=R}}{R \int_0^R \sigma(r)r dr}.$$

Mivel a $\sigma(T)$ és a Wiedemann—Franz törvényen keresztül $\kappa(T)$ függvények ismertek, $T(r)$ ismeretében már minden paraméter számítható. Elsőként az adott $T(r)$ eloszlásra a köpenyben logaritmikus, a magban parabolikus görbét illesztünk és r_c értékének folyamatos változtatása mellett megkeressük a mért és számított T értékek közötti minimális eltérést adó r_c értéket. A legjobban illeszkedő görbe kiválasztásánál figyelembe kell venni azt a két feltételt is, hogy mind a hőmérsékletnek, mind a hőáramoknak ($\kappa \nabla T$) meg kell egyeznie az $r = r_c$ helyen. Ezután a vezetőképesség eloszlása, az átlagos vezetőképesség, valamint a villamos térerősség is számítható az interferogramokból.

Minden általunk mért értéket befolyásol a zaj. A zaj hatásának a kiszűrésére a [7] szerinti szokásos digitális szűrőprocesszust használtuk, hogy az interferometrikus

képek valódi intenzitáseloszlását megkapjuk. A mért intenzitást „ablakoztuk”, majd ezután Fourier-transzformációt végeztünk. A visszatranszformálásnál csak azokat a Fourier-komponenseket tartottuk meg, amelyek közel voltak az eredeti alapharmonikusokhoz. Ez azt jelenti, hogy az alapsíkrendszer Fourier-komponensein kívül a többi komponenst nullává tettük. Az eljárás jónak bizonyult a nemkívánatos véletlenszerű hibák kiszűrésére.

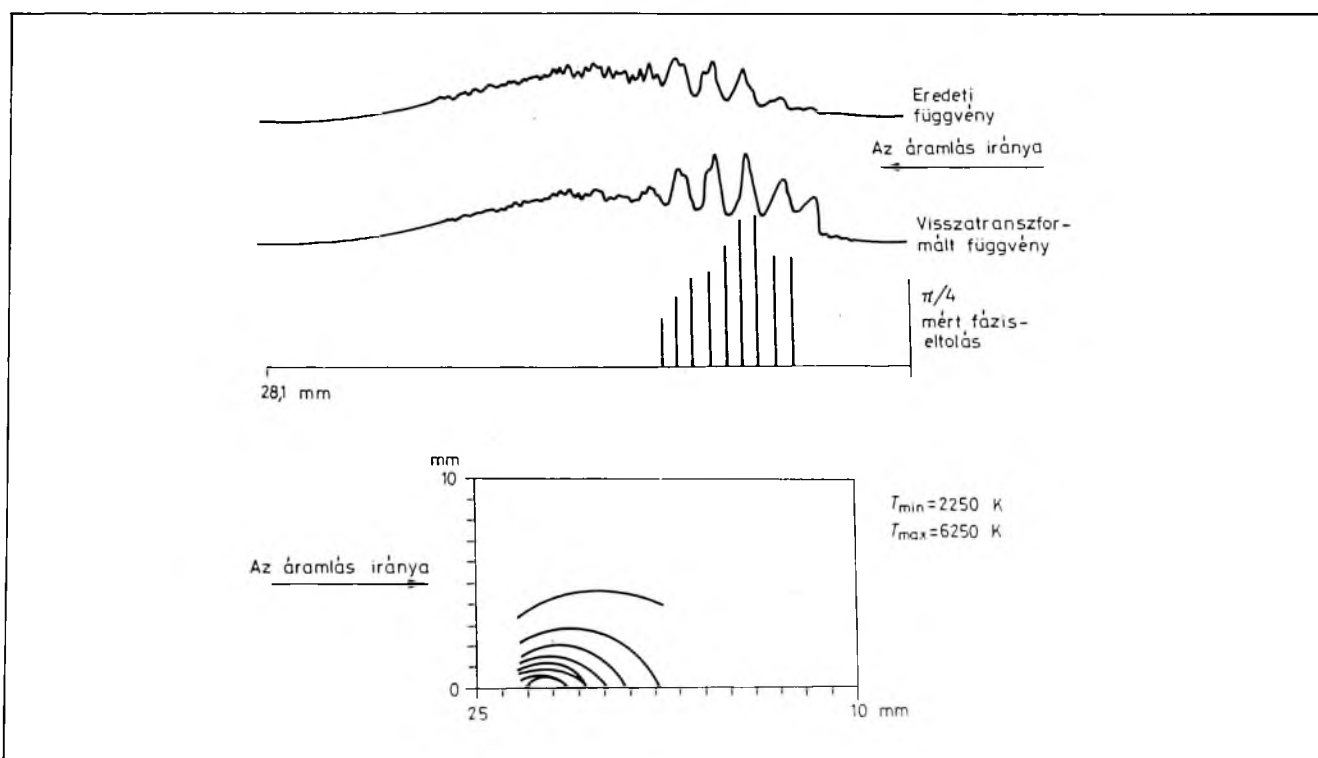
5. Kísérleti eredmények

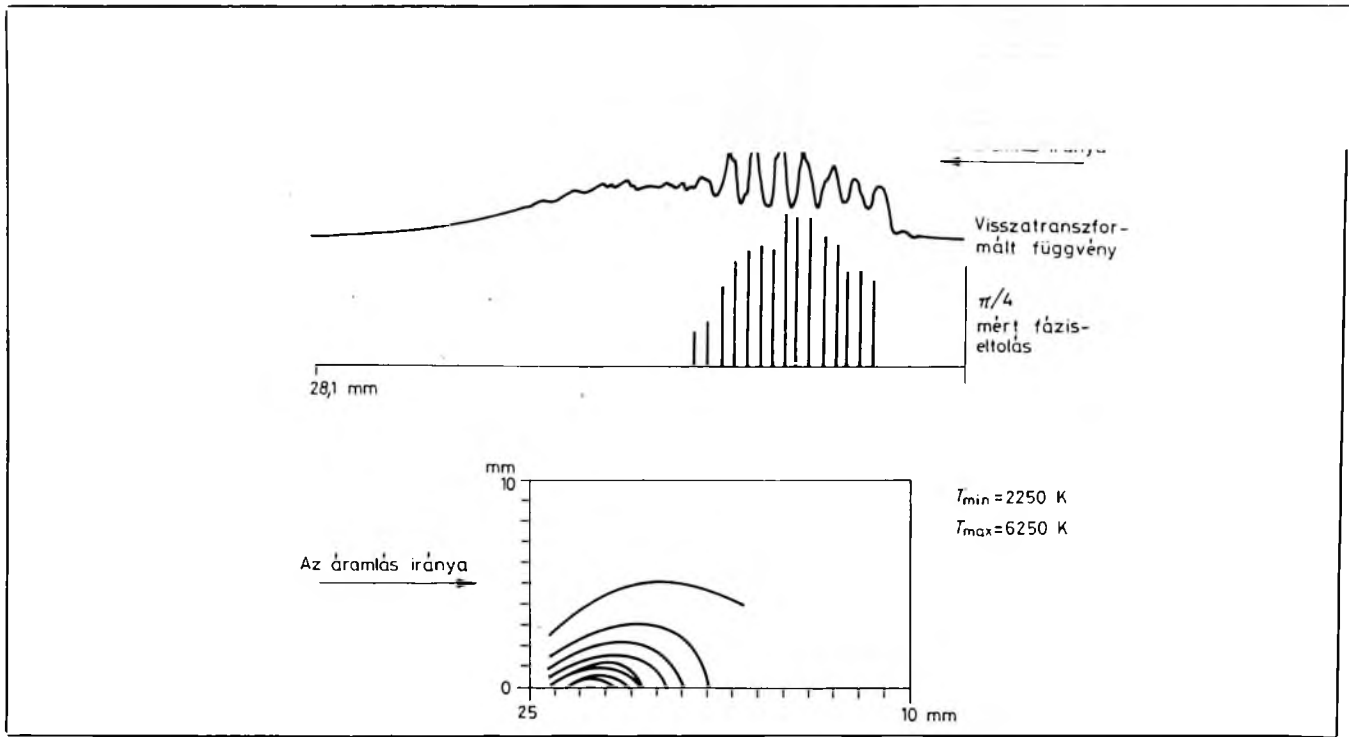
Az interferogramok néhány példája látható a következő ábrákon. Ezeket az interferogramokat az előbbieken ismertetett eljárással értékeltük. Az eredmények a 8. és a 9. ábrán láthatók. A méréseket 2150 K hőmérsékletű plazmában végeztük, ahol a káliumatomok sűrűsége $3 \cdot 10^{14}/\text{cm}^3$ volt. Az ábrán feltüntetett izotermák közötti hőmérsékletlépcső 500 K, az első izoterma hőmérséklete a plazmahőmérséklet felett 100 K-nel van.

A 10. ábra a szimmetrizálási folyamat szemléltetésére és eredményére ad példát, a 11. ábra pedig a logaritmikus és parabolikus görbék illesztésének menetét mutatja be az illesztési hibák és a hőáramok arányának feltüntetésével. A 12. ábra a hőmérséklet- és villamos vezetőképesség végeredményképpen kapható eloszlását mutatja. Ezen az ábrán feltüntettük a csatornamodellnek megfelelő átlagos vezetőképességet és a számolható villamos térerősségeket is. Az eredmények végül is igazolják a modell jogosságát az átlagos vezetőképességek közötti nagyságrendi eltéréseken keresztül is, bár a „ $\sigma = 0$ a köpenyben” feltevés a plazma jelenléte miatt nem tökéletesen elégíthető ki.

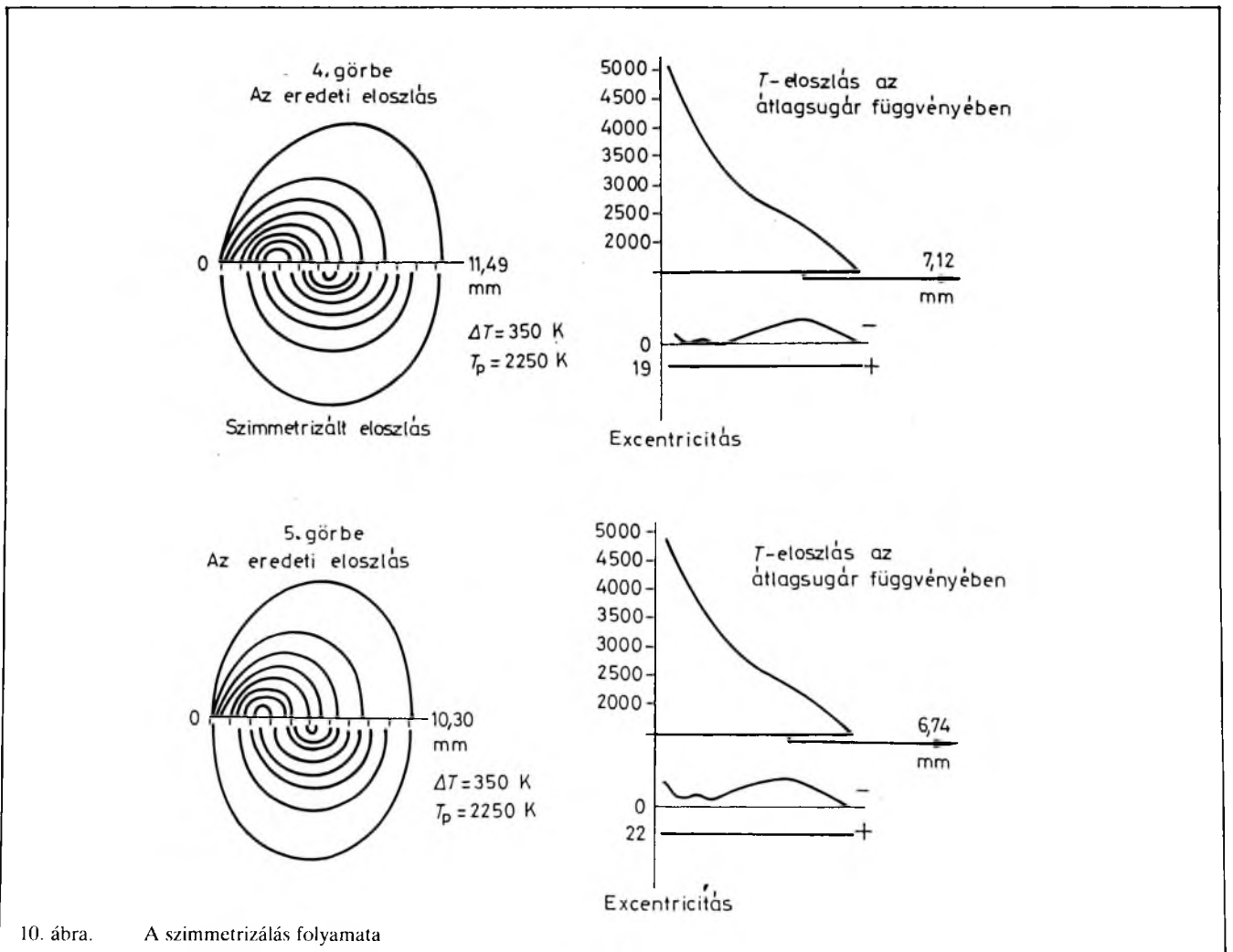
Hangsúlyoznunk kell, hogy a második alapfeltevésünkben szereplő maximális tengelyhőmérséklet értéke,

8. ábra. 10 A-es ív interferogramjának kiértékelése

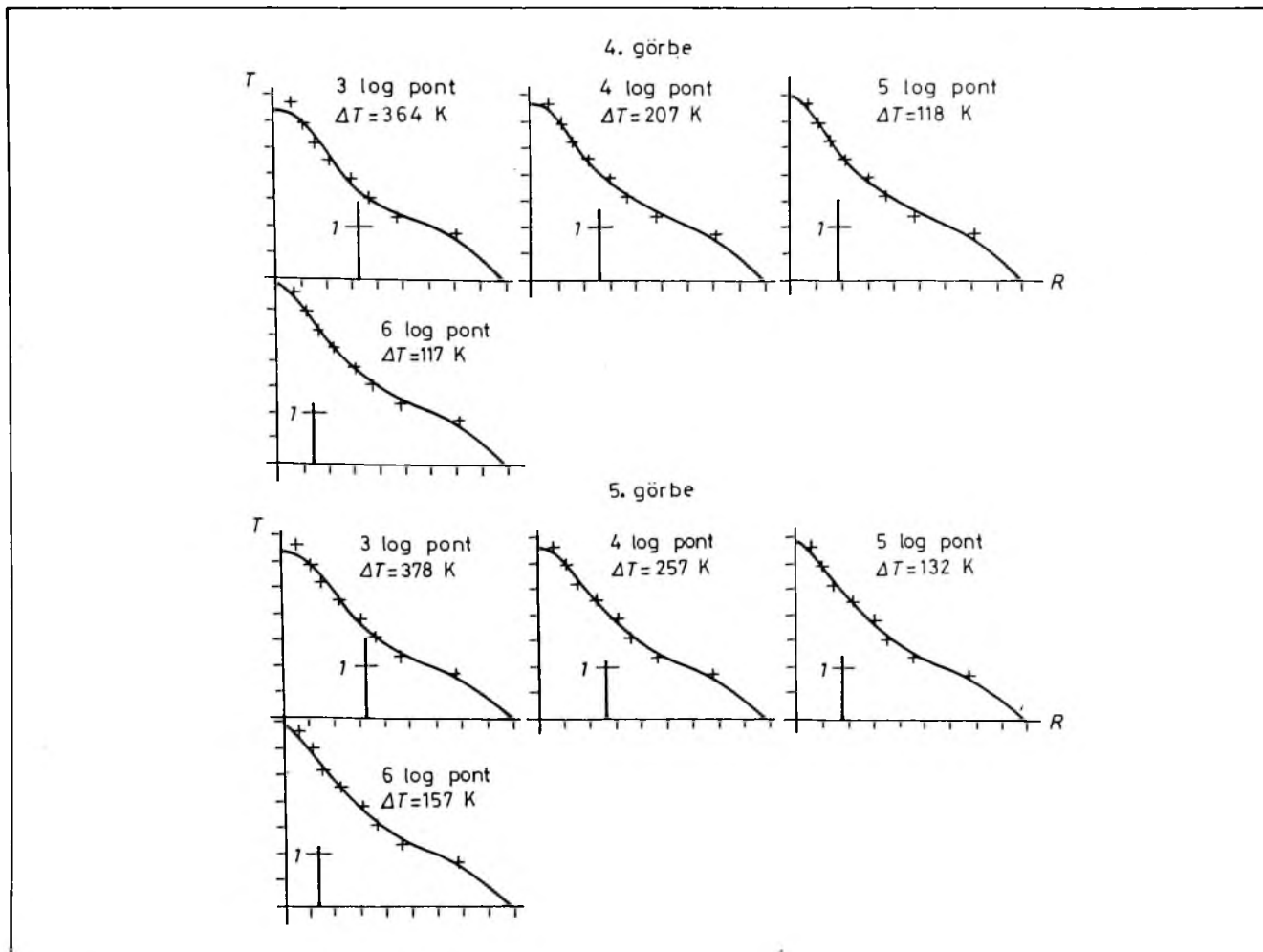




9. ábra. 21 A-es ív interferogramjának kiértékelése



10. ábra. A szimmetrizálás folyamata

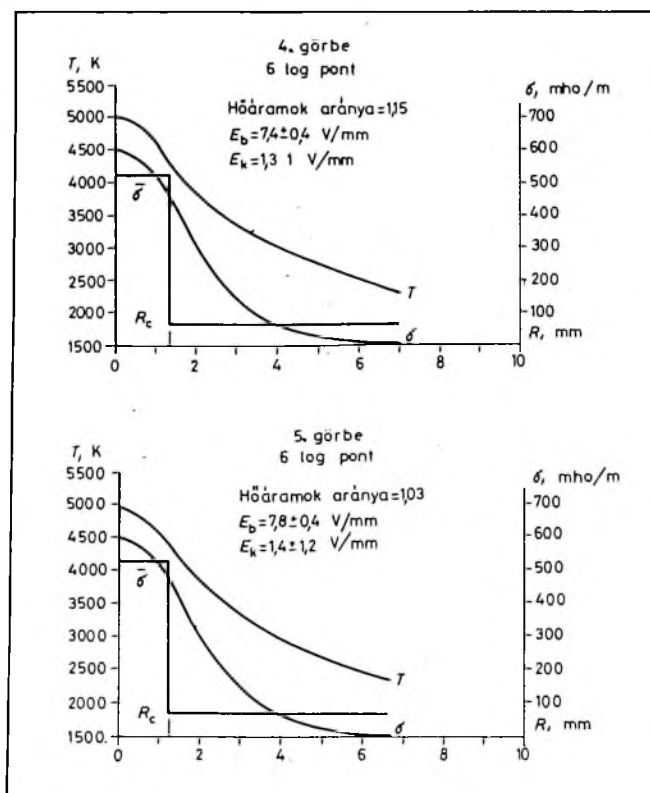


11. ábra. Logaritmosus és parabolikus görbék illesztése

ill. ennek változtatása a kiértékelt izoterma görbék külső részét — kb. 3500 K-ig — alig-alig változtatta. Ez azt jelenti, hogy a módszer jól dolgozik, hiszen előzetesen is várható volt, hogy az ív központi része, az ív magja igen kevésbé befolyásolja azt a fáziseltolást, amelyet maga az ív okoz.

Irodalom

- [1] Berkovsky—Brodsky—Tikhotsky—Iacovlev—Hernberg: Model of constricted discharge burning on the electrode of open-cycle MHD generator. Ninth International Conference On MHD Electrical Power Generation. 1987, Tokió.
- [2] Zajdel—Osztrovszkaja—Osztrovszkij: Holographic plasma diagnostics. Journal of Technical Physics. 9:1405 (1968).
- [3] Rekalic—Nebe: Beugungsinterferenzverfahren zur Temperaturmessung am freibrennenden Gleichstrombogen. Experimentelle Technik der Physik. 5:467 (1974).
- [4] Tanos E.—Pilinyi A.—Gyimesi F.: Holographic investigation of electric arcs. Optica'80 Conference, Budapest
- [5] Chernov—Nedoshpasov—Noberezski: Sostav i shvoistva rabotsih tel MHD-generatorov otkritovo tsikla. Nauka, 1977, Moscow
- [6] Gardiner—Hidaka—Tanzawa: Refractivity of Combustion Gases. Combustion and Flame 40. 213 (1981).
- [7] Elliott—Rao: Fast Transforms Algorithms, Analyses, Applications. Academic Press, 1982.
- [8] Tanos E.—Pilinyi A.: Phase Shifting TV Moire Interferometry to Investigate Quick Phase Fluctuations. Proceedings of Laser 85' Opto-Elektronik, München, 1985.



12. ábra. A hőmérséklet és a villamos vezetőképesség eloszlása

Fémoxid túlfeszültséglevezetők élettartam-vizsgálatai

GYIMÓTHY KÁLMÁNNÉ

ÖSSZEFOGLALÁS

A választószikraköz nélküli, fémoxid túlfeszültséglevezetők méretezésének és üzemeltetésének sarkalatos kérdése a villamos minősítés és élettartam meghatározása. A gyártás felfejlődése a szükséges üzemi tapasztalatok hiánya miatt megelőzte a nemzetközi szabványosítást.

A cikk az intézetben kifejlesztett fémoxid levezetők különféle élettartam-vizsgálatait, üzemi működési próbáit ismerteti.

LEBENSDAUERPRÜFUNGEN VON METALLOXID-ÜBERSPANNUNGSABLEITERN

IDA GYIMÓTHY

Zusammenfassung

Die elektrische Qualifizierung und die Bestimmung der Lebensdauer von Metalloxid-Überspannungsableitern ohne Schutzfunkenstrecke sind grundlegende Probleme. Zufolge fehlender Betriebserfahrungen erfolgte eine rasche Entwicklung der Fertigung, ehe die internationalen Normen bestimmt werden konnten.

In der vorliegenden Arbeit sind die verschiedenen Lebensdauerprüfungen sowie Betriebsprüfungen der Funktionsfähigkeit der im Institut entwickelten Metalloxid-Überspannungsableiter beschrieben.

LIFE-TIME TESTS OF METAL-OXIDE LIGHTNING ARRESTERS

IDA GYIMÓTHY

Summary

Electric qualification and determination of the life-time are key problems in the design and operation of metal-oxide lightning arresters without protective spark gap. Because of unavailability of sufficient operating experience the production went before international standardization.

This paper describes the different life-time and operating tests of metal-oxide lightning arresters developed in the Institute.

ИССЛЕДОВАНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ РАЗРЯДНИКОВ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ БЕЗ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ИСКРОВОГО ПРОМЕЖУТКА, СОЗДАНЫХ ИЗ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ

ДЪИМОТИ КАЛМАННЕ

Резюме

Кардинальным вопросом пасчета размеров и эксплуатации разрядников перенапряжений без разделительного искрового промежутка, изготовленных из окислов металлов, является аттестация электрических параметров и определение срока службы. Вследствие недостатка необходимого эксплуатационного опыта развитие производства таких разрядников опередило международную стандартизацию.

В статье описываются различные исследования на срока службы разрядников из окислов металлов, разработанных в институте, проведенные испытания их работы.

Bevezetés

A ZnO alapanyagú nemlineáris ellenállások kutatásáról 1982-ben a VKI Közlemények 8. kötetében számoltunk be első ízben. Az ellenállástípus elsősorban túlfeszültségvédelemre szolgál. $U = f(i)$ karakterisztikája megközelíti az ideális védelemtől megkívánt jelleggörbét, ezért kiegészítő szerkezeti egység — szikraköz — nélkül alkalmazható. Az egységnyi térfogatra eső terhelhetősége, levezetőképesége jelentősen meghaladja a túlfeszültségvédelemre korábban alkalmazott SiC-típusét.

A ZnO nemlineáris ellenállás fejlesztésének sarkalatos kérdése volt mindig is a villamos stabilitás és élettartam meghatározása. A nemzetközi szabványosítás nem tudta követni azt a robbanásszerű fejlődést, amit a gyártás felfejlődése és a gyors elterjedési igény megkövetelt. Nem állt rendelkezésre még elegendő üzemi tapasztalat, amikor a VKI Közlemények 9. kötetében ezzel a kérdéssel először foglalkoztunk. A készülék levezetés közbeni működését számítógéppel modelleztük, amely a későbbi különféle laboratóriumi és hálózati próbákat jól megközelítette. Ezek alapján építettük meg az 5 kA és 10 kA típusú, porcelán tokozású hálózati túlfeszültséglevezetőket.

A készülékkonstrukció kidolgozásáról elsőízben a VKI Közlemények 10. kötetében számoltunk be. A villamos hálózatok és berendezések túlfeszültségvédelmére hazánkban is egyre gyakrabban alkalmaznak már ZnO levezetőket. Követelmény velük szemben, hogy tekintélyes energiamennyiséget nyeljenek el impulzus-szerű igénybevétel során, de a kisebb mértékű üzemi frekvenciás túlfeszültségeket is viseljük el, viszonylag hosszabb ideig. A villamos energia ezekben az esetekben a ZnO munkaellenálláson hővé alakul, megemelve annak hőmérsékletét. A túlfeszültséglevezető készülék hőgyensúlyának felbomlása hőmegfűtást okozhat, és a készülék rövidebb-hosszabb idő alatt hőátütéssel tönkremehet.

A fémoxid túlfeszültséglevezetők élettartalmát nagy-

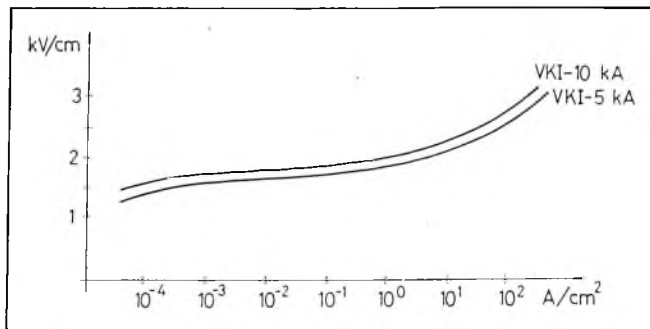
mértékben meghatározó termikus stabilitás kérdésével jelen cikkünkben foglalkozunk ismét részletesebben, az üzemi tapasztalatok alapján.

1. Fénoxid munkaellenállások anyagszerkezete és villamos paraméterei

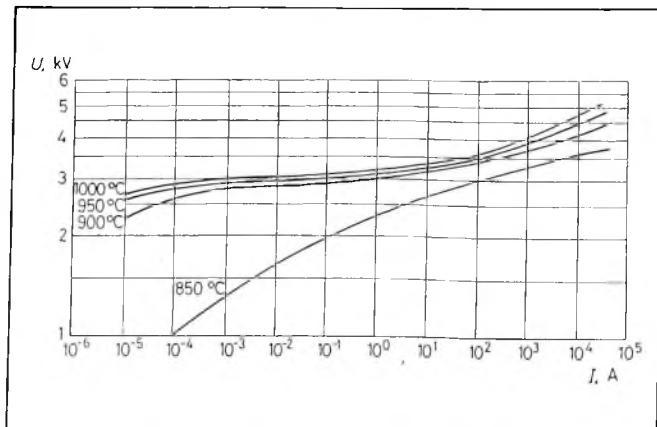
A túlfeszültségimpulzus levezetése során a munkaellenállás hőmérsékletének növekedése függ a munkaellenállás nemlinearitásától, anyagösszetételétől, technológiájától, geometriai méreteitől és a hőelvezetési lehetőségektől.

A ZnO alapanyagú munkaellenállások nemlineáris tulajdonságát a polikristályos égetett kerámiában kialakuló szemcsefelületi zárórétegek okozzák, ill. ezek sorosan-párhuzamosan kapcsolt egysége. A levezetőképességet a párhuzamosan kapcsolt szemcseszámok növelésével fokozhatjuk, a munkaellenállások küszöbfeszültségét pedig a sorbakapcsolt szemcseszám növelésével emelhetjük — bizonyos optimális határok között.

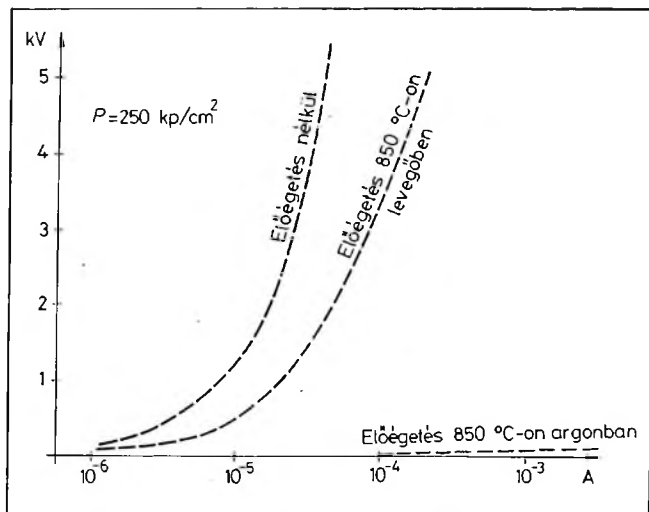
Az 1. ábrán bemutatjuk a VKI-ban kifejlesztett 5 kA ($\varnothing 54 \times 34$ mm) és 10 kA ($\varnothing 74 \times 34$ mm) levezetőképességű munkaellenállás paramétereit, térerősség—áramsűrűség függvényét. Az optimálisnak ítélt paraméterrel rendelkező ZnO munkaellenállásunkban átlagosan 20 μm -es a szemcseméret (15...25 μm között, elenyésző mennyiség $< 60 \mu\text{m}$) vagyis az átlagos szemcseszám 50 mm^{-1} . Az 5 és 10 kA-es 34 mm-es tárcsákban átlagosan 1700 szemcse van sorban, szemcsénként kb. 3,0 V/1 mA-es varisztorfeszültséggel.



1. ábra. VKI-5 kA és VKI-10 kA típusú ZnO ellenállás térerősség—áramsűrűség jelleggörbéje



2. ábra. Kalcinálási hőmérséklet hatása a nemlinearitásra



3. ábra. Kemenceatmoszféra hatása a nemlinearitásra

A normál ZnO — Bi₂O₃ — Sb₂O₃ — MnCO₃ — CoCO₃ — Cr₂O₃ anyagösszetétellel 150 V/mm érhető el. Az anyagösszetétel és technológia változtatásával természetesen csökkenthető ez az érték.

A kalcinálási hőmérséklet függvényében változik az anyagszerkezet és így a villamos paraméterek (2. ábra).

A hőkezelések során biztosított oxigénmennyiség szintén jelentősen befolyásolja a nemlinearitást (3. ábra). Ábránkon egy kísérletünket mutatjuk be, amelyet porkeveréken végeztük 250 kp/cm^2 nyomás alatt, a megfelelő szemcsekontaktus biztosítása érdekében.

Az argon védőgáz alatt végzett porégetéssel az anyag teljesen elvesztette félvezető jellegét.

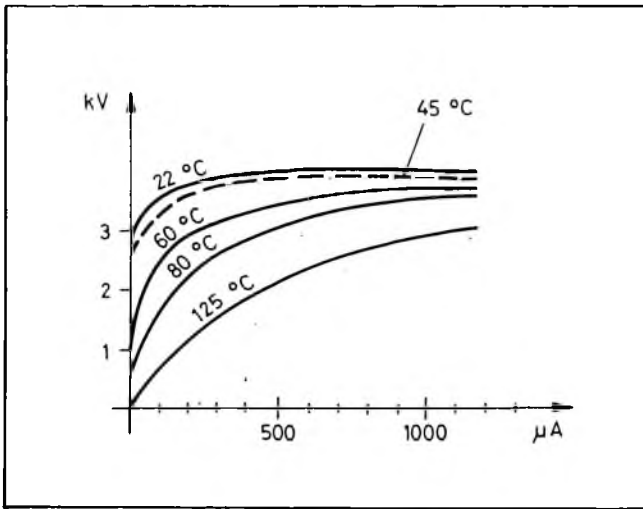
2. Fénoxid munkaellenállások tokozás nélküli hőstabilitása

A ZnO munkaellenállás $U = f(i)$ karakterisztikája a hőmérséklet emelkedés hatására változik, vezetőképessége megnő. Egy normál 5 kA-es típusú munkaellenállás vezetőképességének növekedését a környezeti hőmérséklet függvényében a 4. ábrán mutatjuk be. Az impulzusok hatására a felületi hőmérséklet növekedését az 1. táblázatban és 5. ábrán adjuk meg.

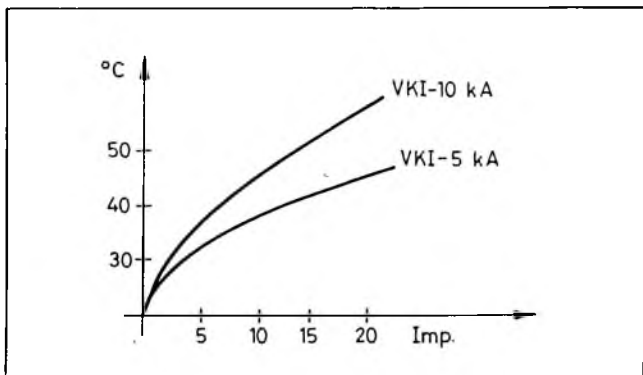
1. táblázat

Típus	Felület, cm^2	Térfogat, cm^3	Igénybevétel utáni felületi hőmérséklet, $^{\circ}\text{C}$			
			5×15 J/cm^2	10×15 J/cm^2	15×15 J/cm^2	20×15 J/cm^2
5 kA	22,9	84,0	35,1	40,5	43,7	46,6
10 kA	43,0	232,0	37,8	44,9	51,5	58,9

A munkaellenállások üzem közbeni viselkedésére hőstabilitására nagymértékben hat a készülékkonstrukció kialakítása, a tokozás.



4. ábra. VKI-5 kA típusú ZnO ellenállás vezetőképességének változása a környezeti hőmérséklet függvényében



5. ábra. VKI-5 kA és VKI-10 kA típusú ZnO ellenállás felületi hőmérsékletének növekedése 8/20 μs alakú $I_{névI}$ igénybevétel hatására

3. Készülék-konstrukció hatása a hőstabilitásra

3.1. Hosszú időtartamú üzemi frekvenciás túlfeszültségek hatása

A VKI Közlemények 1986. évi 10. kötetében számoltunk be első ízben az 5 kA-es ZnO túlfeszültségvezető készülék kialakításáról. Az első hálózati próbára bocsátott készülékeknek a nagy sorozatú gyárthatóságot; az egyszerű kivitel (árkérdések miatt) és az exportálhatóság érdekében a nemzetközi szabványoknak való megfelelést tartottuk szem előtt. A hosszú időtartamú üzemi frekvenciás túlfeszültségek elviselésével a készülékek túlterhelhetőségével csak e cikkben foglalkozunk részletesen.

A szikraköz nélküli ZnO túlfeszültségvezető az üzemi feszültséget meghaladó legkisebb feszültségemelkedést is érzékeli, és vezetőképessége

$$I = k U^{\alpha} \quad (\alpha = 30 \dots 50)$$

arányban nő meg.

Élettartam-vizsgálatainknál kiindulási pont volt a hálózati üzemi frekvenciás túlfeszültségek statisztikus idő-

tartama és csúcserőértéke. Néhány másodperctől több percre, esetleg órákig is eltarthatnak az üzemi frekvenciás túlfeszültségek.

– Nullpont-eltolódási túlfeszültség léphet fel szigetelt, kompenzált és nem hatásosan földelt elosztóhálózaton (hazánkban 42 kV-ig) földzárlatkor, de felléphet lényegesen kisebb mértékben és rövidebb ideig a hatásosan földelt hálózat egyes pontjain is zárlatkor.

A túlfeszültségvezetőket – bár fázis és föld közt üzemelnek – a szigetelt csillagpontú középvezetőségű hálózaton nem $U_{fázis}$ -ra, hanem $U_{névI}$ -re méretezzük, 15%-os biztonsági tényezővel. Vagyis célszerű a 6 kV-os hálózatra, 7,5 kV folyamatos üzemi feszültségű túlfeszültségvezető készüléket alkalmazni, 10 kV-ra pedig 12 kV-osat, 20 kV-ra 24 kV-osat, 30 kV-ra 40,5 kV-osat.

– Feszültségemelkedés léphet fel terhelt hálózati ágak kikapcsolásakor, hosszú távvezeték bekapcsolásakor, az induktív meddő teljesítmény túlzott kompenzálásának hatására a feszültségszabályozó berendezés helytelen beállítása miatt.

Helyes üzemvitel esetén számottevő feszültségemelkedés csak a terhelt hálózati ágak kikapcsolásakor léphet fel. A feszültségemelkedés nagysága a kapcsolt terhelés mértékétől, valamint a kikapcsolás utáni hálózatképtől, a generátorok jellemzőitől és a feszültségszabályozás módjától függ.

A feszültségemelkedés a szokásos hálózatképek és jól szabályozott turbógenerátorok esetében általában nem nagyobb 15...20%-nál, de hidrogenerátorokról táplált hálózaton a 30...40%-ot is elérheti.

Az üzemi feszültségnek közel kétszeresét is elérő feszültségemelkedés is felléphet, ha kis zárlati teljesítményről táplált hosszú távvezeték végén, vagy hosszú távvezetékéről táplált transzformátor szekunder oldalán kapcsoljuk ki a terhelést.

A korábban alkalmazott szikraközös szilíciumkarbid munkaellenállású túlfeszültségvezető 50 Hz-es megszólalási feszültsége közel kétszeres üzemi feszültségre volt beállítva. A szikraköz nélküli ZnO levezetők úgy vannak méretezve, hogy az üzemi feszültség kétszeresénél kezdenek számottevően vezetni.

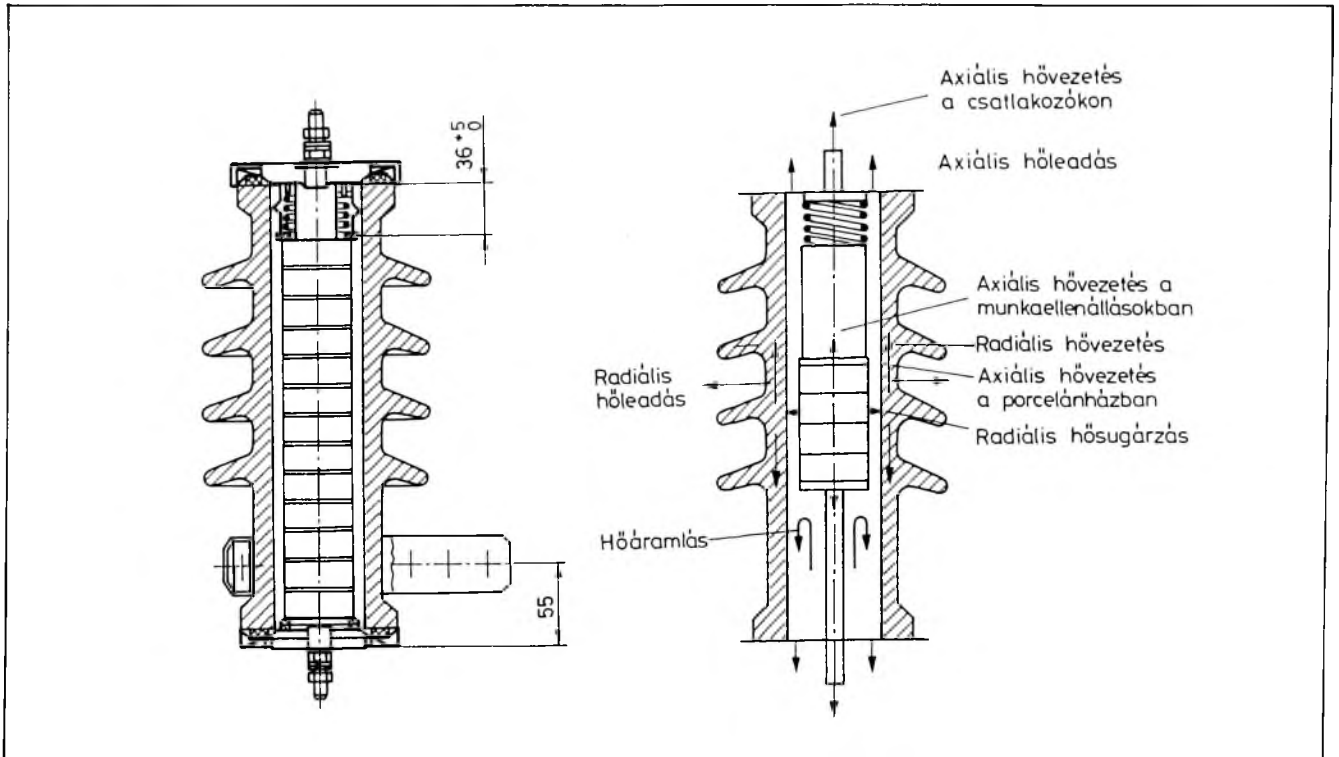
A hosszú időtartamú, üzemi frekvenciás túlfeszültség hatását készülék-konstrukcióra egy termikus modell kidolgozásával kezdtük, amellyel a vizsgálatok során hűten leképeztük az üzemi viszonyokat (6. ábra, 2. táblázat). A hőáramlási, hővezetési és hőszigetelési viszonyokat modellezve a túlfeszültségvezető készüléknek egy olyan arányos részét képeztük, amelynél

– az áramcsatlakozások az eredeti készülékével megegyeznek, és így a közvetlen hővezetési viszonyokat adaptáltuk;

– a porcelánházat mérés-technikai okokból nem az eredeti konstrukció szerint zártuk le, csak a hőkiáramlást akadályoztuk meg;

– hőszigetelés leképezésére a legkedvezőtlenebb H_H/H_M viszonyszám alapján választottuk meg a porcelán házrész méretét (esetünkben 40 mm-es, ernyő nélküli darabot).

A névleges beépítési feszültség (1,1...2,0)-szeres ér-

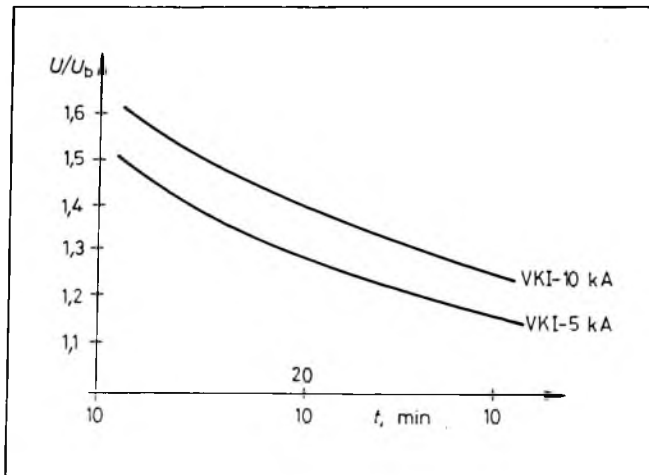


6. ábra. A VKI-5 kA-es készülék konstrukció termikus modellje

2. táblázat

Típus	H_M	H_H	D_M	D_{HB}	D_{HK}	D_{HE}
TLZ 12/5	136	225	54	65	90	160
TLZ 24/5	272	310	54	65	90	160
TLZ 40,5/5	459	530	54	65	90	160
TLZ 120/10	1088	1220	74	110	160	280

H_M a munkaellenállás-oszlop magassága,
 H_H a porcelánház belső magassága,
 D_M a munkaellenállás átmérője,
 D_{HB} a porcelánház belső átmérője,
 D_{HK} a porcelánház külső átmérője,
 D_{HE} a porcelánház ernyőmérete.



7. ábra. Üzemi frekvenciás túlterhelhetőségi görbe

tékig emeltük a terhelést. A vizsgálat t_0 kezdési időpontjának a $T = 30^\circ\text{C}$ elérésének időpontját választottuk a tárcsák felületén mérve a hőmérsékletet. A vizsgálat befejező t_1 időpontjának a $T = 60^\circ\text{C}$ elérésének idejét választottuk (önkéntesen), mivel az IEC ajánlásokban nincs pontosítva ez a vizsgálat.

Döntésünket a 4. ábra szerinti vizsgálatunk alapján hoztuk. Az ábrán látható, hogy a jelentősebb vezetés 60°C fölött indul meg, amely azonban még nem az élettartamhatár!

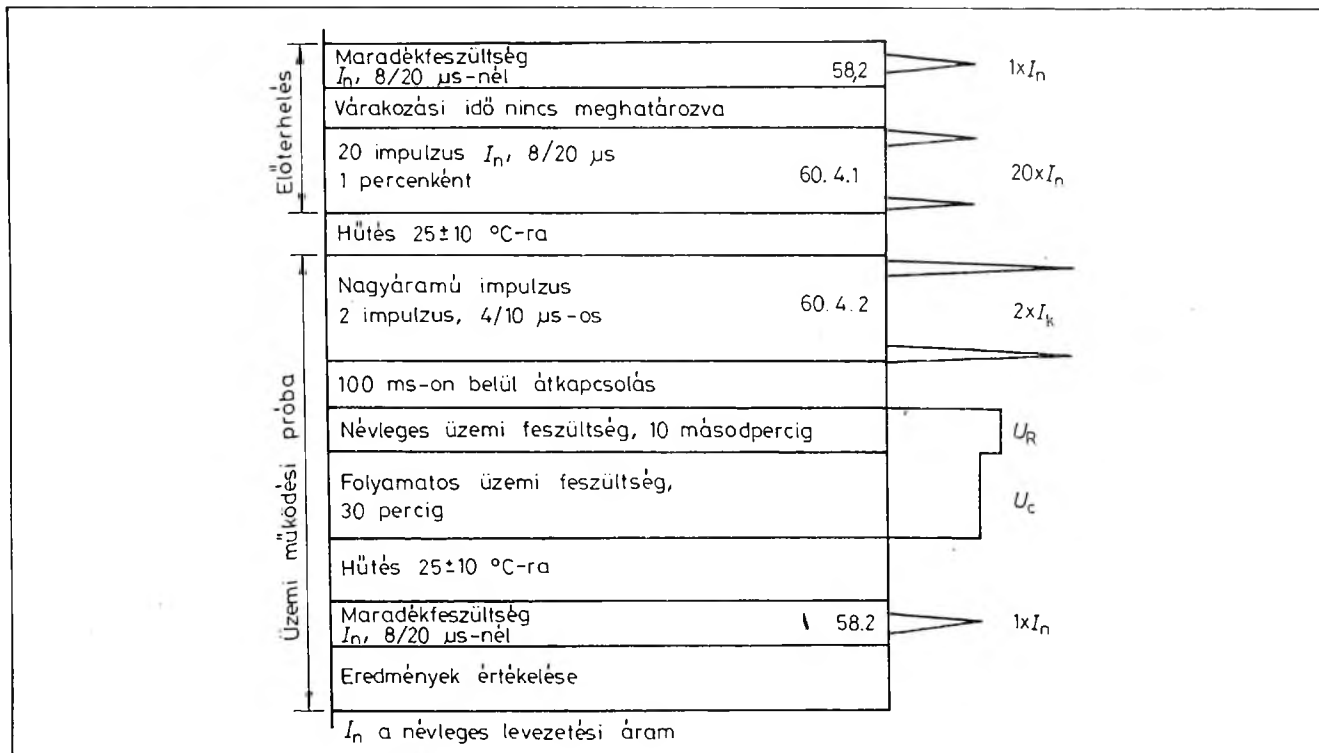
A túlterhelhetőség nagymértékben függ az $U_{1mA}/U_{beépítési}$ viszonyszám megválasztástól. E kérdés részletezésével az üzemi működtetőpróbával kapcsolatosan foglalkozunk (7. ábra).

3.2. Légtörési és kapcsolási túlfeszültségek hatása a hőstabilitásra

Légtörési túlfeszültségigénybevételt a levezetőkészülékekre $8/20 \mu\text{s}$ alakú 5 kA vagy 10 kA csúcsértékben határozzák meg a szabványok. Katasztrófa-igénybevételként $4/10 \mu\text{s}$ alakú 40 kA csúcsértékű igénybevétel kell számolnunk az optimális méretezésnél. A készüléknek a statisztikai adatok figyelembevételével 20 db $8/20 \mu\text{s}$ alakú 5...10 kA-es impulzust és 2 db $4/10 \mu\text{s}$ alakú 40 kA-es impulzust kell elviselnie paraméterromlás nélkül.

A kapcsolási tranziens túlfeszültségek kialakulása nagymértékben függ a hálózatkeptől és az üzemviteltől, ezek részletezése meghaladja e cikk terjedelmét, ezért a kapcsolási túlfeszültség-igénybevétel hatásával most nem foglalkozunk.

A túlfeszültséglevezető üzem közbeni viselkedését a 8. ábra szerinti üzemi működtetőpróbával modelleztük. Kiinduló referenciapontokként a ZnO tárcsákon az 1



8. ábra. Üzemi működési próba

mA_{uc} mellett mért varisztorfeszültséget és a névleges levezetőáram mellett mért maradékfeszültségét vettük.

Húsz 8/20 μs alakú, névleges levezetőáram értékű impulzussal vettük igénybe a mintákat, miközben a hőmérsékletnövekedést regisztráltuk (T_1). Ezeket az értékeket az 1. táblázatban adtuk meg részletesen. Az igénybevételek után 25 °C-ra hűtöttük vissza a mintákat, majd két nagyáramú impulzussal (I_k , T_k) vettük igénybe, amelyet követően 100 ms-on belül a névleges üzemi feszültségre kapcsolunk 10 s időtartamra, és azt követően 30 min-ig a folyamatos üzemi feszültségre. A vizsgálat teljes terjedelme alatt regisztráltuk a tárcsák felületi hőmérsékletét és a szivárgóáram változását. (Hőmegfűtés esetén ezen értékek a 30 perc alatt nem csökkentek volna). Az igénybevétel után ismét 25 °C-ra hűtöttük a mintákat, és visszamértük a kiinduló referenciapontokat. A vizsgálati eredményeket a 3. és a 4. táblázat tartalmazza.

Az üzemi működési próba és az üzemi frekvenciás túlterhelési próba eredménye határozza meg az egyes készüléktípusok használhatóságát és élettartamát. Egy-egy munkaellenállás-egység maradékfeszültségének értéke adott (9. ábra).

3. táblázat

Impulzusigénybevételek

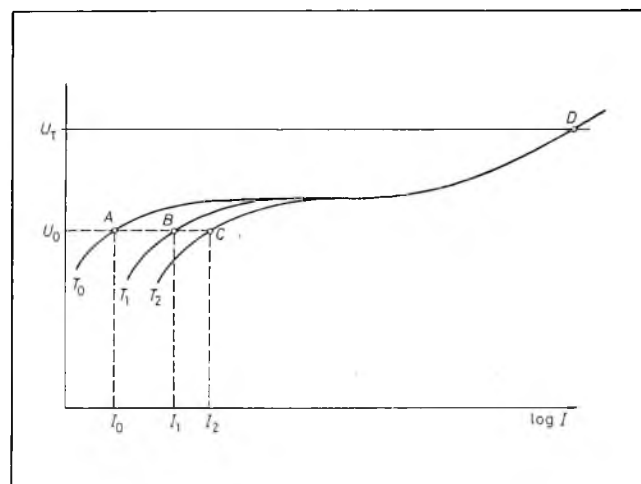
Típus	Méret, mm	$20 \times I_n$	$T_1, ^\circ C$	$2 \times I_k$	$T_k, ^\circ C$
5 kA	$\varnothing 54 \times 34$	$20 \times 12 \text{ J/cm}^3$	46,6	$2 \times 60 \text{ J/cm}^3$	54
10 kA	$\varnothing 74 \times 34$	$20 \times 14,6 \text{ J/cm}^3$	58,9	$2 \times 50 \text{ J/cm}^3$	50,4

4. táblázat

Impulzusigénybevételek utáni beépítési feszültség–szivárgóáram–hőmérséklet értékek

Típ.	U_{bep}	I szivárgóáram, mA		$T_k, ^\circ C$	
		$t=0$ perc	$t=30$ perc	$t=0$ perc	$t=30$ perc
5 kA	3 kV	1,6	0,97	54	29
10 kA	3 kV	1,8	1,25	50,4	26,9

A tárcsára megengedett állandó üzemi feszültség (U_0 , A pont) és a szivárgóáram határozza meg az adott üzemi feszültségre méretezett, sorba kapcsolt tárcsák számát, és így a teljes készülék maradékfeszültségét. Adott feszültséghez tartozó alacsony védelmi szintet viszonylag jobban igénybevevett, nagy szivárgóáramú készülékkel

9. ábra. ZnO levezető $u=f(i)$ karakterisztikája a teljes működési tartományban

kapunk. Az ilyen levezetőt melegebb környezeti hőmérsékleten üzemeltetve vagy gyakoribb üzemi frekvenciás túlfeszültséggel igénybe véve rövidebb lesz az élettartama, ezért az ilyen körülmények közé tervezett készülékeket szigorúbb vizsgálatoknak kell alávetni.

Hosszabb élettartamot a több, sorbakapcsolt ellenállásegységgel tudunk elérni, de ekkor a maradékfeszültség és a védelmi szint viszonylag magasabb lesz, és természetesen az anyagár-növekedés miatt a készülékek drágábbak. Hálózati szempontból a minél kisebb maradékfeszültség-érték (védelmi szint) és a minél nagyobb biztonság elérése a cél. Az előbbiekből láthatóan ez két egymással ellentétes követelmény, amelynek megoldása

a tervezők és gyártók szoros együttműködését, ill. a készülékek vizsgálati eredményeinek minél részletesebb nyilvánosságra hozatalát igényli.

Összefoglalás

Az intézetben kifejlesztett, ZnO munkaellenállásokkal épített, szikraköz nélküli túlfeszültséglevezetők üzem közbeni hőstabilitásának és élettartamának vizsgálatára kidolgozott mérések és az értékelési módszer képezi az alapját a jövőben a tényleges igényekhez legjobban közelítő egyedi és nagysorozati készülékek optimális méretezésének.

Üvegszálás paplannal erősített, hőre lágyuló, műanyagok fejlesztése és vizsgálata

DR. SERFŐZŐ ILONA (TVK)—SZAPLONCZAY PÁL—TISLER ISTVÁNNE

ÖSSZEFOGLALÁS

A hőre lágyuló műanyagok üvegszálás paplannal való erősítésével a kompozit anyagok új családja jött létre. Ezek az anyagok tulajdonságaikban is és feldolgozási technológiájukban is különböznek azoktól a kompozit rendszerektől, amelyek rövid vágott üvegszálat tartalmaznak és felhasználási területük is eltér ezekétől.

A dolgozat foglalkozik ezeknek az új kompozit anyagoknak a tulajdonságaival, előállításuk ismertetésével, feldolgozhatóságuk mikéntjével, kiemelve a polipropilén mátrixú rendszereket. Ismerteti továbbá a témában elért eddigi kutatási eredményeinket is, amelyek laboratóriumi körülmények között létrehozott kompozit rendszerek vizsgálatától az alakítási kísérletek elvégzéséig terjednek.

ENTWICKLUNG UND PRÜFUNG VON THERMOPLASTISCHEN GLASFASERVERSTÄRKTEN KUNSTSTOFFEN

DR. ILONA SERFŐZŐ (TVK)—PÁL SZAPLONCZAY—
ANIKÓ TISLER

Zusammenfassung

Benutzung von Glasfaserdecken zur Verstärkung thermoplastischer Kunststoffe hat eine neue Gruppe von Verbundstoffen hervorgerufen. Diese Stoffe unterscheiden sich sowohl durch die Eigenschaften wie auch durch die Technologie ihrer Verarbeitung von den Verbundsystemen, die kurzgeschnittene Glasfaser (Glasmatte) enthalten. Im Vergleich zu den letzterwähnten Stoffen unterscheidet sich auch das Anwendungsgebiet der neuen Kunststoffe.

Der vorliegende Aufsatz beschäftigt sich mit den Eigenschaften, Herstellung und Verarbeitungsmöglichkeiten der neuen Verbundstoffe mit besonderer Rücksicht auf Systeme mit Polypropylenmatrix. Bekanntgegeben werden auch die bisherigen Ergebnisse der Forschung bestehend sowohl aus Herstellung und Prüfung der Verbundsysteme im Laboratorium wie auch aus Verformungsversuchen.

DEVELOPMENT AND TESTING OF GLASS-FIBRE REINFORCED THERMOPLASTICS

DR. ILONA SERFŐZŐ (TVK)—PÁL SZAPLONCZAY—
ANIKÓ TISLER

Summary

A new group of composites has been brought about by the use of glass-fibre blankets to reinforce thermoplastics. These materials differ in both behaviour and processing technology from composite systems containing short pieces of glass-fibres and also their field of application is different.

This paper deals with the properties, production and processing techniques of these new composites with systems of polypropylene matrix in focus. Presented are also the results of research that have been obtained so far both in laboratory production tests and moulding experiments.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ ПЛАСТМАСС, УКРЕПЛЕННЫХ СТЕКЛОВОЛОКНИСТОЙ ВАТОЙ

Д-Р. ИЛОНА ШЕРФЕЗЭ—ПАЛ САПЛОНЦАИ—ТИШЛЕР
ИШТВАННЕ

Резюме

С подкреплением термопластических пластмасс стекловолоконной ватой создано новое семейство композитных материалов. Эти материалы по своим свойствам и технологии обработки также отличаются от тех композитных систем, которые содержат коротко резанное стеклянное волокно, кроме того различны и области их применения.

Статья рассматривает свойства новых композитных материалов, описывает их производство, способ их переработки, обращая особое внимание на системы с полипропиленовой матрицей. Авторы характеризуют также результаты исследований, достигнутые в данной области до сего времени, начиная с исследования композитных систем, созданных в лабораторных условиях, вплоть до проведения экспериментов по обр-зованию материалов.

Bevezetés

Az erősített műanyagok mint műszaki műanyagok körében a hőre lágyuló mátrixú rendszerek jelentősége egyre fokozódik. Az elmúlt tíz évben a szálerősített kompozitumok újabb generációi jelentek meg a műszaki, gazdasági vonatkozásban egyaránt sok előnyös tulajdonsággal rendelkező, rövid szálasanyagot tartalmazó erősített rendszerek mellett, amelyeket első generációs anyagokként tartanak számon.

Előállításuk, mint ismeretes, ún. kompaundálási eljárással történik, amely az alappolimer olvadékalapotba juttatását, majd az erősítőszál olvadékba adagolását és ezt követően az összetevők összekeverését, homogenizálását jelenti. E művelet legkíméletesebben extrudáló berendezésekkel hajtható végre, amelyeken a szálasanyag bevitelére külön adagolási lehetőség van. A kompaundálás eredményeként nyert granulátum szálltartalma rendszerint nem haladja meg a 40 tömeg%-ot, az átlagos szálhosszúság 0,1...0,3 mm között van. A feldolgozás fröccsöntéssel történik.

A második generációs, hőre lágyuló szálerősített kompozitumokhoz az ún. hosszú szállal töltött anyagok tartoznak, amelyekben az átlagos szálhosszúság rendszerint 8...10 mm között van. Ezek előállítása speciális

technológiát kíván, feldolgozásuk is eltér a szokásos fröccsöntéstől, a szakirodalom fröccs-prégelésnek (Spritzprägertechnik) nevezi. Ilyen, hosszú üvegszál erősítésű termoplasztikus anyaggal először az ICI jelent meg 1985-ben a SITEV '85 (Genf) és az NPE '85 (Chicago) nemzetközi műanyag-kiállításon.

A Verton márkanéven megismert termék átlagosan 10 mm szálhosszúságú üvegszál tartalmozó, Nylon 66 mátrixú kompozit volt [1], [2], [3]. Az anyag különlegessége abból adódik, hogy a feldolgozás során a hosszú üvegszálak sajátos vázszerkezete alakul ki a termékben, miáltal az megnövelt merevségű és szívósságú lesz, messze felülmúlva a rövidszál aszalt kompozitból készült termék tulajdonságait.

Az erősítőszál hosszúságának növelésére való törekvés további eredmények forrásává vált. E törekvés hátterében az ismert kompozit anyagok hátrányainak — ide értve a hőre keményedő reakciógyanta mátrixú rendszereket is — kiküszöbölése állt. Az eredmények új anyagok megjelenésében konkretizálódnak, amelyeket közös néven FIT rendszereknek (*fiber impregnated with thermoplastic*) neveznek, utalva előállításukra és anyaguk alkotó komponenseire, vagyis arra, hogy ezek hőre lágyuló mátrixszál impregnált, az erősítőszál végtelen szál, szálköteg, szövet vagy paplan formájában tartalmazó anyagok. A szál impregnálását különböző módon lehet megvalósítani.

Kis viszkozitású anyag esetében a polimert olvadék állapotban impregnálóteknőbe helyezik, és az olvadékon áthúzzák az impregnáló szálanyagot. Ezt *forróolvadákos eljárásnak* nevezik.

A *fluid ágyas eljárásnál* a por alakú termoplasztot elektrosztatikus térben lebegtetik és ezen a fluid ágyon vezetik át a szálanyagot, amelynek megfelelően előkészített felületére a lebegő polimer por szemcséi rátapadnak. Az immár polimert hordozó szálakat alkalmas fűtőberendezésekbe — infravörös vagy nagyfrekvenciás kemence — vezetve, a polimer ráolvad a hordozóra [4].

A *szuszpenziós eljárásnál* a polimer port tartalmazó vizes szuszpenzió képezi az impregnálóközeget, amelylyel az erősítő szálanyagot elegyítik. A szuszpenzió víztartalmának eltávolításával, hőkezeléssel alakítják ki a megfelelő kompozitumot [5]. Ezek a hőre lágyuló, száltartalmú anyagok már harmadik generációs anyagoknak tekinthetők, amelyekre az igen nagy fajlagos merevség és szilárdság jellemzők. Köztük üvegszál, szénszál, aramidszál rendszerek is megtalálhatók. A mátrix elvileg bármely hőre lágyuló anyag lehet.

A FIT kompozitumok között külön csoportként említjük a paplan erősítésű rendszereket, ezek a GMT (*glass mat thermoplastic*) anyagok. A következőkben ezek tulajdonságaival, előállítási és alkalmazási lehetőségeivel kívánunk foglalkozni.

1. Üvegpaplan erősítésű termoplasztok tulajdonságai

Amikor a merev, nagy húzószilárdságú üvegszálakat és a nagy nyúlású és deformációképes termoplasztokat társítják, a létrehozott kompozitum viselkedésében az a

két alapvető tényező fog szerepet játszani, amelyet a szál által bevitt tulajdonságok és a polimer mátrix által kölcsönzött tulajdonságok jelentenek, vagyis a kompozitanyagok tulajdonságai összességét a mátrix és szál domináns sajátságok határozzák meg. Amíg a mátrix meghatározó szerepe olyan igénybevételeknél érvényesül, amelyekben a terhelést a polimer anyagnak kell hordoznia, addig a szálak jelenlétének hatását akkor észleljük, ha a terhelés felvételében — jellegüknek fogva — az erősítőszálak vesznek részt.

A rétegelt, paplan erősítésű anyagokban — mivel a paplan szálanyagának elrendeződése rendszerint statisztikus eloszlást mutat — a mechanikai tulajdonságok hosszirányban és keresztirányban azonosak. Az ilyen anyagok izotrópok és izotrópiájuk száldomináns sajátságának tekinthető. A száldominancia létezésével tudjuk megmagyarázni a végtelen üvegszál tartalmozó kompozitumok igen jó fárasztási ellenállását az azonos töltöttségű, de rövid szál tartalmozó kompozitumokhoz viszonyítva [6].

Igy pl. ha a hajlítóerő hatására kialakuló kúszás mértékét vizsgáljuk, azt tapasztaljuk, hogy egy polipropilén (PP) mátrixú, rövidszál, fröccsöntött anyag a terhelés ráadása után 30 perccel eltörik, míg a PP mátrixú, paplan erősítésű rétegelt rendszer 50 óra után ugyanezen terhelés mellett alig 1%-os kúszást szenved. Az ütésállósági vizsgálatok tapasztalatai is hasonlóképpen eltérő viselkedésről adnak számot.

A nem erősített PP ütőszilárdsága az üvegesedési hőmérséklet (T_g) alatt erősen lecsökken, az anyag ridegtörést mutat. Ezzel szemben az üvegpaplannal történő társítás hatására még a hőmérséklet -40°C -ra csökkentése sem idéz elő romlást az ütőszilárdságban. Rövid üvegszál tartalmozó PP kompozitum esetében viszont a szobahőmérsékleten mért ütőszilárdság és a T_g alatti hőmérsékleten mért ütőszilárdság között nem mérhető jelentős eltérés, ami arra utal, hogy a rövid üvegszál bevitelével a rendszer elridegedik, azáltal, hogy az üvegszálakkal valójában feszültségkoncentráló göcöket vittünk az anyagba.

A rövid üvegszál és paplan erősítésű, PP mátrixú rendszerek töréskialakulási és töréstovaterjedési vizsgálataiból leszűrhető, a két anyag közötti lényeges különbséget igazoló tapasztalat azt sugallja, hogy a PP mátrixú GMT anyagok alkalmazása bizonyos területeken igen jelentős előnyökkel járhat.

Ha tehát a GMT rendszerben felhasznált paplan egyenes száleloszlású, kitértetett irány nélkül elrendeződő hosszú üvegszálakból áll, a termoplasztal való impregnálás során, megfelelő technológia esetén struktúrájában nem változik, így a GMT lemeznek elvileg izotróp anyagként kell viselkednie. A tapasztalatok szerint az egységes szerkezetű, félkész termék a feldolgozás során szerkezeti felépítését tekintve csak minimálisan változik, vagyis a félkész anyag legfontosabb jellemző tulajdonságai a késztermékben gyakorlatilag megmaradnak. Ez újabb előnyként említhető a rövid szál erősítésű anyagokkal szemben, amelyeknek végső tulajdonságait a feldolgozás körülményei módosítják. A rövid szállal erősített anyagok fröccsöntéssel való alaka-

dása során az olvadék áramlása szálorientációt idéz elő. A szerszámfalakhoz közeli rétegekben az üvegszálak az olvadék áramlási irányával párhuzamosan rendeződnek el, míg a távolabbi rétegekben az áramlási iránnyal meghatározott szögben orientálódnak a formadarab geometriája, falvastagságok függvényében [7].

A hosszú üvegszálás paplan az izotrópia mellett további *kedvező tulajdonságokat* kölcsönöz a GMT anyagnak. Ezek: a nagyobb szakítószilárdság, a jobb dinamikus tulajdonságok, a jó rezgéselnyelő képesség, a nagyobb hődeformációs hőmérséklet. *Hátrányai* közül elsőként kell megemlíteni, hogy mivel előállításához félkész termékre van szükség, a rövid szállal erősített granulátumnál drágább, valamint azt, hogy alakítási lehetőségei is korlátozottabbak, mint a fröccsöntés, bár nagyobb méretű darabok előállítását teszi lehetővé és mindezt termelékenyebben.

A gyantamátrixú kompozitok, így pl. a poliészter mátrixú prepregek (SMC; sheet moulding compound) esetében a sajtolással történő alakadás során az anyagban térhálósodással járó kémiai reakció játszódik le, amelyhez megfelelő hőmérsékleti körülmények szükségesek, ezek időtartama optimális körülmények között meghatározott. A GMT anyagok feldolgozását kémiai reakció nem kíséri, kizárólag fizikai folyamatokkal kell számolni, amelyek között a hőtraszport dominál. Ebből adódik az az előny az SMC anyagokkal szemben, hogy az alakítási sebességük nagyobb, a feldolgozási technológiájuk termelékenyebb.

Nem hagyhatjuk figyelmen kívül a GMT rendszereknek egy, a megítélés szempontjából napjainkban egyre jelentősebb sajátosságát az SMC és más reakciógyanta mátrixú rendszerekkel szemben, ez pedig a környezetkímélő mivolta. Sem a rétegelési technológia során, sem az alakításnál egészséget károsító gázok vagy gőzök nem keletkeznek. A gyártási hulladékok újra feldolgozhatók, ill. könnyen megsemmisíthetők, vagyis a GMT anyagok környezetbarátok.

1.1. Poliolefin mátrixú, üvegszálás paplan erősítésű rendszer tulajdonságai és előállítása

A hőre lágyuló polimer kötőanyagú, üvegszálás paplan rétegelt rendszer kifejlesztése, majd elterjedése főként a járműipart érinti, ahol a gépjárművek nagy méretű alkatrészeinek gyártásában eddig alkalmazott fém anyagokat kiválthatja. Különösképp alkalmas pl. alvázvédő burkoló lemez, légterelő, motorburkoló elemek, egyéb zajelnyelő egységek, lökhárítók, üléskaolyók céljára. Ebben a felhasználási körben elsősorban a PP mátrixú GMT anyagra kell gondolnunk, amelynek PP komponense, mint a következő tulajdonságok hordozója — kis sűrűség, könnyű feldolgozhatóság, polimer-modifikálási lehetőség, kedvező vegyszerállóság, mérsékelt ár — kedvezően befolyásolja a kompozit felhasználási esélyeit. Minthogy az üvegszáltartalom a GMT-PP rendszer tulajdonságait befolyásolja, meg kell említeni, hogy legkedvezőbb, legkiegyensúlyozottabb szilárdsági, feldolgozhatósági tulajdonságok 20...50 tömeg%

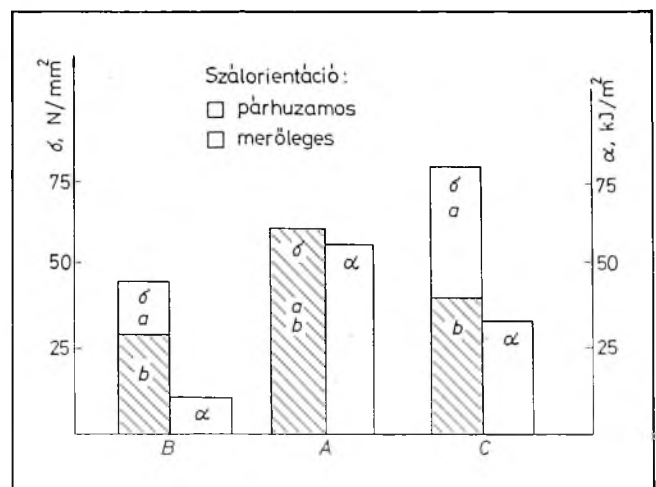
1. táblázat

30 és 40 tömeg% üvegszáltartalmú GMP-PP anyagok tulajdonságai

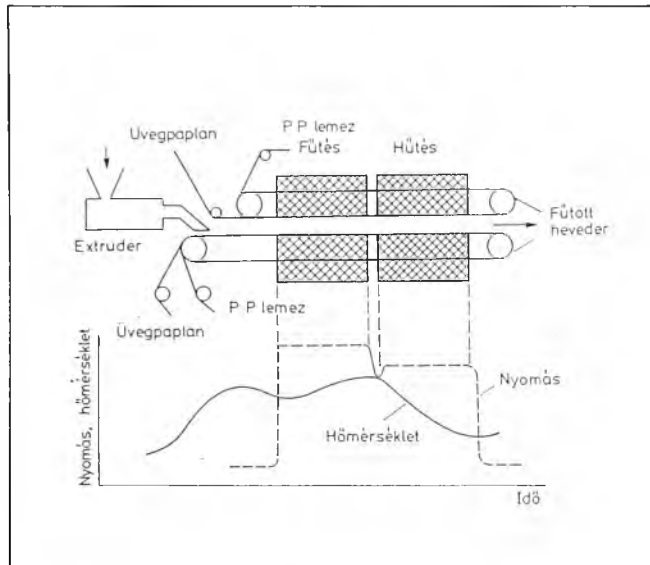
Jellemzők	GM 30 PP	GM 40 PP
Sűrűség, g/cm ³	1,13	1,19
Üvegtartalom, tömeg%	30	40
Hajlítószilárdság, N/mm ²	100	140
Hajlítási rugalmassági modulus, N/mm ²	4800	5600
Szakítószilárdság, N/mm ²	85	105
Húzási rugalmassági modulus, N/mm ²	4500	4800
Nyúlás, %	3...4	2...3
Ütőhajlító szilárdság, kJ/m ²		
-40 °C-on	59	77
+23 °C-on	54	71
+40 °C-on	53	70
Ejtőtömeges ütésállóság, J		
50%-os meghibásodás teljes meghibásodás	13	15
teljes meghibásodás	42	47
Terhelés alatti behajlási hőmérséklet, °C	153	156
Lineáris hőtágulási együttható, K ⁻¹	29 · 10 ⁻⁶	27 · 10 ⁻⁶

üvegtartalommal érhető el. 50% felett az alakadás válik nehezkessé, 20% alatt nem mutatható ki lényeges szilárdságnövekedés. A gyakorlatban a 30 és 40 tömeg% üvegtartalmú rendszereket alkalmazzák leginkább. Ezeknek fizikai tulajdonságait az 1. táblázatban ismertetjük.

Ha a 30 tömeg% töltöttségű vágott üvegszálat és az üvegpaplant tartalmazó PP kompozitumok szakítószilárdságát összehasonlítjuk, az 1. ábra szerinti arányokat tapasztalhatjuk. Vagyis az üvegpaplannal erősített (A) anyag szakítószilárdsága a vágott üvegszálás rendszerénél (B) nagyobb, de nem éri el a kémiaileg aktivált felületű, vágott üvegszál tartalmú kompozitumét, azonban ha figyelembe vesszük a vizsgált tulajdonság irányfüggőségét, megállapíthatjuk A anyag izotrópiáját. Ugyanez az ábra mutatja az ütőhajlító-szilárdság értékeit, ahol szembeötlő a paplan erősítésű anyag nagy ütésállósága [8]. Az elmondottakat kiegészítve a 2. ábrával, amelyen az ütőhajlító-szilárdság hőmérséklettel való változása



1. ábra. PP-30 t% üvegpaplan (A), PP-30 t% vágott üvegszál (B) és kémiaileg kezelt PP-30 t% vágott üvegszál (C) tartalmú kompozitumok szakítószilárdsága és ütőhajlító-szilárdsága



2. ábra. Kettős hevederes rétegelési eljárás vázlata

látható, a GMT-PP kompozitumnak mint a poliolefin bázisú anyagrendszerek speciális típusának egyedülálló tulajdonságai nyilvánvalóvá válnak.

Hogy a GMT-PP rendszert mint szerkezeti anyagot a vélhető alkalmazási területeken használatos szerkezeti anyagokkal összehasonlíthatni tudják, vizsgálatokat végeztek. Ezek az egytömeggű ütésállósági vizsgálatok GMT, SMC, alumínium és acél célszerűen megválasztott vastagságú mintáinak ütési energia hatására bekövetkező roncsolódási viselkedésének összehasonlítására adtak lehetőséget [9]. A tapasztalatokat a 2. táblázat adatai jellemzik, amelyek értékeléséhez a 3. táblázat segítségével a következőket mondhatjuk el:

- a vizsgált anyagok közül már a legkisebb ütési energia is sérülést okoz az SMC, alumínium és acélnál,
- a 10,4 J-os ütési energia az SMC-nél a felületen repedéssel járó sérülést ejt, ugyancsak a jelenség a GMT-PP-nél 19,4 J-nál következik be,
- ezekből az adatokból számítható az azonos sérülési fokozatot előidéző, egységnyi vastagságra vonatkozó ütési energia, amely a GMT-PP-nél 6,9 J/mm, míg az SMC-nél 4,2 J/mm.

Ha figyelembe vesszük a két anyag eltérő sűrűségét (GMT-PP: 1,2 g/cm³, SMC: 1,8 g/cm³) könnyen belátható, hogy pl. egy biztonsági szerkezeti elem előállítására SMC helyett GMT-PP-ből a mintegy 30%-os tömegcsökkenés mellett az energiaelnyelőképesség 50%-os növekedésével járhat.

Mint említettük, a GMT-PP rétegelt rendszer önhorodó, lap formájában előállított félkész termék. Olyan lemez, amelyet üvegpaplan réteg vagy rétegek polipropilénnel való átmregnálásával hoztak létre. Ennek gyakorlati kivitelezésére különböző gyártási technológiákat dolgoztak ki, amelyek mindegyike olvadék állapotú polimerrel való rétegelésen alapul.

Egyik ismert megoldás szerint a mátrix anyagból extrúzióval kialakítanak egy meghatározott vastagságú le-

2. táblázat

Különböző anyagok ütési energia hatására bekövetkező roncsolódási jellemzői

Ütési energia, J	Vizsgált anyagok és vastagságuk			
	GMT 2,8 mm	SMC 2,5 mm	Alumínium 1,0 mm	Acél 0,81 mm
3,8	Nincs hatás 1,4 J/mm	Alul repedés 1,5 J/mm	Horpadás 3,8 J/mm	Horpadás 4,7 J/mm
10,4	Alul repedés 3,7 J/mm	Felül repedés 4,2 J/mm	–	–
19,4	Felül repedés 6,9 J/mm	–	–	–

3. táblázat

Éjtömegű ütési energia hatására bekövetkező sérülések súlyosságának sorrendje

Sérülés súlyosságának fokozata	Sérülés helye a próbatesten	Sérülési kép
1.	alsó oldalon	alig észlelhető sérülési nyomok
2.	felső oldalon	behorpadás
3.	alsó oldalon	repedezés
4.	felső oldalon	repedés a behorpadási területen
5.		a próbatest átszakadása

mezt, amelyre rávezetik az üvegpaplant. Ezt az előláminátumot hengerson átvezetve a mátrixanyag újabb olvadékával borítják be, amelyet egy extruderből nyernek. A továbbiakban a paplan átmregnálódása, a légzárványok eltávolítása érdekében a rétegelt anyagoknak fűtött hengerek között kell áthaladnia, majd az anyagot le kell hűteni [10].

Egy másik ismert előállítási eljárás az ún. kettős hevederes rétegelés, ugyancsak folyamatos technológia, amely egymástól két, térben és időben elkülöníthető lépésből áll. Az első lépésben extrudálással meghatározott vastagságú lemezt hoznak létre a mátrix anyagából. A rétegeléshez az előgyártott lemezeket használják fel, amelyeket a 2. ábra által bemutatottak szerint fűtő- és hűtőzónával ellátott hevederek közé vezetnek be az impregnálendő két üvegpaplannal együtt. A megfelelő átitatódás érdekében az üvegpaplanok közé egy extruderből olvadék állapotú polimert juttatunk. Az egymásra rétegzett anyagok ezek után a hevederek által kifejlesztett nyomóerő hatására a fűtőzóna által biztosított hőmérsékleten összeépülnek, majd a konstans nyomáson tartott anyag a hűtőzónán áthaladva lehűl. Darabolás után, mint félkész termék, továbbfeldolgozásra használható [11].

1.2. GMT-PP rétegelt anyagok feldolgozása

Az üvegpaplan erősítés és a hőre lágyuló mátrix a GMT anyagok alakításának módját is meghatározza, amely a fémeknél ismert mélyhúzásához, ill. az SMC-nél alkalmazott sajtoláshoz hasonlítható. Alapelve az, hogy az alaplemez a mátrix lágyuláspontja körüli hőmérsékletre melegítve könnyen formálhatóvá válik, ami érszint a polimer képlékeny állapotából, részint az üvegpaplan struktúrájából adódik. A képlékeny állapotú anyag sajtolószerzámba helyezve a szükséges sajtolónyomás hatására a szerszámot kitölti és felveszi annak alakját. Lehűlés után formatartó lesz és a szerszámból eltávolítható. A lehűlést a sajtolószerzám hőelvonása idézi elő, amelyet a szerszám hőmérsékletének szabályozásával lehet befolyásolni.

A GMT sajtolásakor a szerszámba helyezett anyag áramlására a szerszám kitöltése során a viszkózus folyás jellemző. A sajtolás alatt a szálak erősítőanyag a rendszer fluiditásától függően orientálódhat. Az erősítőszálak elmozdulásában olyan jelenség is felléphet, amelynél a mátrix és a szál szeparálódik, a sajtolt darabban inhomogenitás lép fel.

A GMT folyási viselkedésének megismerésére kísérleteket végeztek, amelyekben az alakítási hőmérsékletre felmelegített, a megkülönböztethetőség érdekében különböző színűre festett GMT lapokat a sajtolási eljárásnak megfelelő módon a szerszámban egymásra helyeztek, majd elvégezték a sajtolást.

A tapasztalat azt mutatta, hogy a leghosszabb folyási úthossz a középsíkban elhelyezkedő lapnál jelentkezett, a legrövidebbet a szerszámfalhoz legközelebb elhelyezkedő lapoknál észlelték [12]. Ezt a jelenséget feltehetően az a hőmérséklet-gradiencia idézi elő, amely az anyag szerszámok okozta lehűléséből ered. A sajtolás megfelelő hőmérsékleti körülményei kialakításának jelentősége van a késztermék inhomogenitása elkerülésében, a mátrix és a szálanyag szeparálódásának megakadályozásában. Ezért lényeges az alakítás paramétereiként a sajtolószerzám hőmérsékletének optimalizálása és hőszabályozása, a feldolgozandó anyag előmelegítési hőmérsékletének pontos kimérése és a sajtolási sebesség meghatározása.

A GMT anyagok feldolgozásánál — mint korábban említettük — a sajtolást az anyag előmelegítése előzi meg. A hőközlés különböző módon, konvekciós vagy sugárzásos kemencékben történhet. A megfelelő hullámhosszúsággal sugárzó infravörös kemencék igen jó hatásfokkal melegítik fel a GMT anyagot, az előmelegítés ideje 90...180 s.

A kivágott, felmelegített GMT lapokat sajtoláskor a szerszámba helyezük. A sajtolószerzámok rendszerint vertikális zárásúak, záróperemes megoldásúak, vízhűtések, és megvezetőcsapokkal vannak ellátva.

A sajtolószerzám mozgatása, a sajtolás hidraulikus vagy mechanikus présekkel történhet. A sajtolás során a szerszám zárási sebességének lehetőleg nagynek kell lennie (500 mm/s). Amikor a felső szerszámfél eléri a sajtolandó anyagot, a nagy zárási sebességről átvált az ún. sajtolási sebességre, amely 5...30 mm/s-os zárásnak felel meg. Végeredményben ez a sebesség határoz-

za meg a sajtolási nyomás felépülésének sebességét. A sajtolási nyomás 80...200 bar között van, idejét az anyag lehűlési sebessége határozza meg, ez rendszerint 40...80 s és független a darab nagyságától. Végülis ez rendkívül nagy termelékenységgű formaadást tesz lehetővé, amely az SMC-vel szemben 300%-os növekedést jelent. Előnyként kell megemlíteni, hogy a PP nem túl nagy olvadáspontja (180...200 °C) következtében a feldolgozásnál szükséges energiaigény mérsékeltebb az SMC-hez képest, a sajtolásnál pedig a 40...60 °C közötti szerszámhőmérséklet biztosítása miatt nincs szükség fokozott energiateljesítményre.

2. Az erősített, rétegelt poliolefin rendszerek hazai fejlesztésének ismertetése

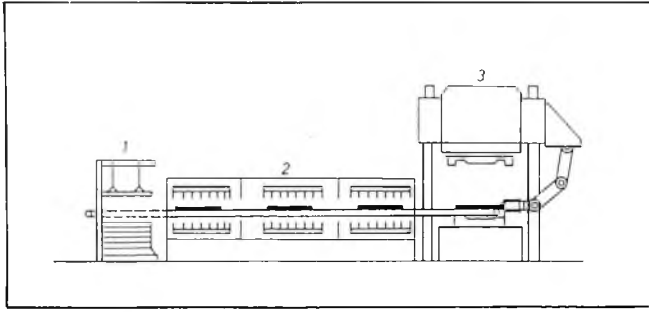
Abból a megfontolásból kiindulva, hogy a GMT anyagok, ezen belül a GMT-PP rendszerek felhasználása növekedik, a hazai poliolefin gyártásra alapozva 1984-ben megkezdtük a hosszú üvegszál, ill. paplan erősítésű poliolefin rétegelt rendszerek kutatási munkáját. A munkát a Tiszai Vegyi Kombinát anyagi támogatásával végeztük. Iránya polipropilén és lineáris polietilén mátrix különböző anyagú és szerkezetű erősítőszálak anyaggal való rétegelésével létrehozott, erősített rendszerek tulajdonságainak vizsgálata volt.

Az erősített rendszereket lényegében szakaszos rétegelési eljárással állítottuk elő laboratóriumi körülmények között. Erősítőanyagként üvegszálak paplant, hurkolt és kötött üvegszálak kelmét, nyújtással orientált polipropilén szálakat vizsgáltunk. A különböző rendszerek vizsgálata azt mutatta, hogy a legnagyobb erősíthatóság az üvegszálak anyagoknál észlelhető, de az üvegtartalom mellett az üvegpaplan rétegek száma is befolyásolja a rendszer szilárdsági jellemzőit. Pl. 25 tömeg% üvegtartalom esetén az egyrétegű erősítőpaplant tartalmazó anyag szakítószilárdsága 37 N/mm² volt, háromrétegű paplannal, 25% üvegtartalommal viszont 49 N/mm².

A kísérleti munkában előállított GMT-PP anyagaink fizikai tulajdonságai vizsgálatánál a korábban ismertetett, ezen rendszerekre jellemző sajátságokat igazolni tudtuk. Feltártuk a vázanyag szerkezeti felépítésére vonatkozó követelményeket. Tanulmányoztuk a szakaszos rétegelés technológiai paramétereit. A szerzett tapasztalatok alapján a technikai berendezéseink adta mérhető tárok között a szóban forgó rendszerek előállítására vállalkozni tudunk.

Kutatási munkánk az előállítás technológiai kérdéseinek, a félkész termékek tulajdonságainak vizsgálatán túl kiterjedt a feldolgozási technológia tanulmányozására is. A 3. ábrán látható feldolgozási vázlat kísérleti üzemi szintű megvalósítása képezte a sajtolások technikai berendezés vonatkozású háttérét azzal az eltéréssel, hogy az előmelegítés egylépcsős volt.

Intézetünk hőtechnikai területen meglévő felkészültségének köszönhetően az előmelegítéshez infravörös hullámhosszon sugárzó kemencét használtunk, amelynek kétoldali sugárzó felületét kerámia fűtőlapra felvitt, feketén sugárzó kerámiamáz biztosítja. A kísérleti ke-



3. ábra. Az üvegpaplanal erősített, hőre lágyuló műanyag lemez feldolgozásának vázlata
1 a levágott lemez elhelyezése a szállítoszalagon; 2 előmelegítő rendszer; 3 gyors zárású sajtológép szerszámmal

mencét a Szigeteléstechológiai és Hőtechnikai Főosztály fejlesztette ki. A sajtolási kísérlet során olyan formatestet állítottunk elő, amelyen merevítőbordák vannak, mélysége 100 mm, amely egyben megegyezik az anyag folyási úthosszával, az oldalfalak kúpossága 2° , a falvastagság 2,5 mm. A formatest tömege 100 g.

A sajtolás lépései: a szerszámot kitöltő, szükséges mennyiségű anyag kimérése, ennek meghatározott méretű lapokra darabolása, előmelegítés a kemencében a mátrix lágyuláspontjára, majd a sajtológépszerszámba helyezés, szerszámmazás és az anyag lehűtése után a darab kivétele. A sajtolás ciklusideje 40 s. Hasonlóan rövid, 40-45 s-os ciklusidővel tudtunk előállítani 3,5 mm vastagságú kemény üléslapokat, amelyekhez a préselendő anyag tömege 1100 g volt. Irodalmi forrás szerint [11] nem szükséges több szerszámfoglalási idő, pl. egy 3500 g tömegű $530 \times 480 \times 580$ mm befoglaló méretű, 6 mm falvastagságú ülésváz kialakításához sem.

Tapasztalataink igazolják, hogy a formaadás technikailag egyszerűnek, időben gyors lefolyásúnak tekinthető. A darab felülete jó szerszámkitöltésre utal, az üvegszálak azonban a felszín közelében meglátszanak. Ez nem a sajtolás mikéntjéből, hanem az anyag alapvető sajátosságából ered, ezért a GMT nem esztétikus felületi minőségi igényekhez alkalmas szerkezeti anyag, hanem nagy szívósságot igénylő, nagy korrózióállóságú szerkezeti elemek számára ajánlható elsősorban, ahol az anyagmegtakarításnak is jelentősége van.

Az elmondottak alapján, ha a szakirodalmi eredetű

információkat és a saját tapasztalatainkat összevetjük, nagyfokú átfedést állapíthatunk meg. Ennek alapján úgy gondoljuk, hogy a poliolefin mátrixú GMT rendszerek témájában olyan komplex ismeretanyaggal rendelkezünk, amely az alkalmas alapanyagok specifikációja, a GMT rendszer előállítása és végtermékké feldolgozása körét felöleli. Laboratóriumi, kísérleti méretekre szabott fejlesztési munkát célszerűnek látjuk a gyakorlatba átültetni. Ennek azonban alapvető feltétele a GMT anyagok iránti megfelelő piaci igény megjelenése. Eképpen fejlesztési munkánk mellett az anyag piaci bevezetésével, műszaki konzultációk, feldolgozási bemutatók szervezésével is foglalkozunk.

Jelenleg folyamatban van az Ikarusz Gyár megbízása alapján egy nagyméretű formadarab gyártásának ipari realizálása a VSZM 2. sz. Gyárában.

Irodalom

- [1] Döring, E.: Thermoplastische Composites für Hochleistungsanwendungen in der Automobilindustrie, Deutsche ICI GmbH., kézirat
- [2] Attendance down but innovation still present, European Plastics News, July 1985. p. 26–30.
- [3] The largest, best attended NPE show. Chicago '85. European Plastics News, August, 1985, p. 8–15.
- [4] Stuart Wood, A.: Pultrusion it's getting to be something extra in RP processing, Modern Plastics International, July 1983, p. 29–31.
- [5] Reiner—Stolze: High Performance Composites with Thermoplastic Matrix, Macplas International, Techn. Magazine for Plastics and Rubber Ind., Nov. 1986, p. 91–96.
- [6] Silvermann: Creep and impact resistance of reinforced thermoplastics: long vs. short fibers, 40 th Ann Conf., Reinforced Plastics/Composites Inst., The Soc. of the Plastics Ind. Inc., Jan. 28.—Feb. 1., 1985.
- [7] Leach—Moore: Failure and fracture of short glass fibre-reinforced nylon composites, Composites, Vol. 16., No 2., April 1985, p. 113–120.
- [8] Glasmattenverstärkte Thermoplaste für den Automobilssektor, Plastverarbeiter, Vol. 36, No. 7, 1984. p. 44–47.
- [9] Polypropylene Based Azdel Composite, AICHE Symposium Series, New Composite Materials and Technology, Vol. 78., No 217, p. 46–49, 1984.
- [10] GB 2040801 A
- [11] Walter Hibber: Double belt press processing, Sandvik Process Systems, Ismertető, Nov. 1984.
- [12] Ikeda, Teruaki: Main features and commercial production of sheets for stamping, Techno Japan Vol. 19, No. 10, Oct. 1986, p. 31–43.

Sötétsugárzó kerámia síkfűtőelemek kifejlesztése és ipari alkalmazása infrasugárzó rendszerekben

BARSAI ÁRPÁDNÉ—BÁN PÉTER—CSOMÁN GYÖRGY

ÖSSZEFOGLALÁS

A kerámiába ágyazott huzallellenállások sík fűtőtestként való alkalmazása mintegy két évtizedes múltra tekint vissza. Kezdetben öntési technológiával készült, majd fejlesztéseink révén egy sokkal termelékenyebb porsajtoltós technológiára térhettünk át.

A fűtőelem hatékonyságának növelése érdekében a fejlesztési munka a felületi sugárzók emisszióképességének fokozására irányult. Ezt különféle bevonóanyagok alkalmazásával értük el.

Bemutatunk ipari alkalmazási példákat műanyagipari, textilipari és cipőipari alkalmazásokra.

A jelenlegi fejlesztési munka az ún. INFRATHERM komplett fűtési rendszerek kidolgozására irányul, amelynek célja a villamosenergia-felhasználás kb. 30%-kal történő csökkentése.

ENTWICKLUNG VON DUNKELSTRAHLENDEN KERAMIK-FLACHHEIZELEMENTEN UND IHRE INDUSTRIELLE ANWENDUNG IN INFRAROTSTRAHLUNGSSYSTEMEN

ZSUZSA BARSAI—PÉTER BÁN—GYÖRGY CSOMÁN

Zusammenfassung

Seit etwa zwei Jahrzehnten werden Drahtwiderstände eingebettet in Keramik als Flachheizkörper benutzt. Anfangs erfolgte die Herstellung mit Hilfe eines Gießverfahrens. Zuzufolge Entwicklung war es später möglich, uns auf eine wirtschaftlich weitaus günstigere Pulverpreßtechnologie umzustellen. Um die Wirksamkeit des Heizelements zu erhöhen, erfolgte die Entwicklung in der Richtung der Erhöhung des Emissionsvermögens der Oberflächenstrahler durch Anwendung verschiedener Überzüge.

In der vorliegenden Arbeit werden Anwendungsbeispiele in der Kunststoff-, Textil- und Schuhindustrie angeführt.

Zur Zeit erfolgt die Entwicklung kompletter Heizsysteme „INFRATHERM“ genannt mit etwa 30% vermindertem elektrischen Energieverbrauch.

DEVELOPMENT OF DARK RADIATING FLAT CERAMIC HEATING ELEMENTS AND THEIR INDUSTRIAL APPLICATION

ZSUZSA BARSAI—PÉTER BÁN—GYÖRGY CSOMÁN

Summary

Wire-wound resistors embedded in ceramic material have been used as flat heaters for about two decades. At the beginning, casting techniques had been used to produce heaters of this type while later, as a result of development, it was possible to change over to an economically more favourable and much more productive powder moulding process. With a view to increase the efficiency of the heating element, the development has been focussed on increase of the emissivity of the surface radiators by using different coats.

This paper presents examples of application in plastics industry, textile industry and shoemaking.

At present, so called „INFRATHERM“ complete heating systems are being developed, designed to reduce the electric energy consumption by about 30%.

РАЗРАБОТКА И ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛОСКИХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ТЕМНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СИСТЕМАХ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

BARSHAI ARPADNE—PETER BAN—DYERDY CHOMAN

Резюме

Применение проволочного сопротивления, установленного в керамику, в качестве плоского нагревателей ведется уже в течение двух десятков лет. Вначале подобные элементы изготавливались технологией литья, затем в ходе разработок стали переходить на более производительную технологию прессовки из порошка. В интересах увеличения эффективности нагревателей работа по усовершенствованию была направлена на повышение эмиссионной способности поверхностных излучателей, что достигалось за счет применения различных покрывающих материалов.

В статье приводятся различные примеры применения в пластмассовой, текстильной и обувной промышленности.

Настоящая разработка направлена на создание комплектов нагревательных систем по имени „ИНФРАТЕРМ“ в целях снижения потребления электроэнергии примерно на 30%.

1. Általános rész

1.1. Bevezetés

A technika rohamos fejlődése és a villamos fűtőkészülékek elterjedése következtében egyre nagyobb igény mutatkozik korszerű fűtőkészülékek és komplett fűtési rendszerek iránt. Egyre sürgősebbé válik az ipari fűtési, szárítási folyamatok korszerű, energiatakarékos megoldása, mivel az energiaárak állandóan növekednek.

A hőtadás formájának döntő szerepe van a technológiai folyamatokban, ez határozza meg a folyamatok minőségét, az átfutási időket, tehát a technológiai folyamatok gazdaságosságát jelentősen lehet vele befolyásolni.

Bármilyen hőcserélési folyamatról van szó, a hőtadás mindhárom formája egyidejűleg fordul elő; egymáshoz való arányukat részben a rendszer hőmérséklete, részben anyagi tulajdonságok határozzák meg [1].

Hővezetés esetében az energiacsere a test részecskéi közötti közvetlen érintkezés útján megy végbe. Folyadékokban és nem fémes szilárd testekben az energia átvitele hullámok segítségével, fémekben a szabad elektronok diffúziója, gázokban pedig atomok vagy molekulák diffúziója révén történik.

Áramlásos hőcsere (konvekció) csupán gázokban és folyadékokban jön létre.

A hőszállítás nem egyéb, mint az energia elektromágneses hullámok alakjában történő terjedése. Ez a jelenség természetére nézve különbözik a hővezetéstől és az áramlástól, és energiaátalakulás kíséretében történik [2].

A hőmérséklet emelkedésével növekvő mértékben játszik szerepet a sugárzás.

Ha a konvekciót és a hővezetést összehasonlítjuk a hőszállítással, azt találjuk, hogy az előbbieket hajtóereje a hőmérsékletkülönbség, az utóbbié viszont a hőmérséklet szintje.

Az volt a feladatunk, hogy kerámiai ágyazású, síkfűtőelemeket fejlesszünk ki, majd azokat speciális célokra lássuk el infraszugárzó bevonattal. Az előbbieket alapján ezért választottuk a sugárzásos elven alapuló megoldást, alkalmazkodva az ipari technológiák igényeihez.

A gazdaságosság és maguk a felhasználási technológiák esetenként megkívánják, hogy ne az egész tárgyat, hanem annak csak egy részét melegítsük át [3].

Jelenleg a komplett infraszugárzó rendszerekben próbáljuk síkfűtőelemeinket felhasználni. Az eredményeket a 2. fejezetben ismertetjük.

1.2. A hőszállítás és tulajdonságai

Hőszállítás esetében nincs közvetítő közegre. Az energiát a hullámmozgás törvényei szerint terjedő fotongáz közvetíti. Ha a hőmérséklet nem túl nagy és a sugárzó test nem bocsát ki fényhullámokat, infravörös sugárzásról beszélünk. A sugárzásos hőátadás jelentős előnye, hogy a hasznosítható energiamennyiség legnagyobb része a sugárzásból ered, továbbá hogy a testek közötti számottevő hőmérséklet-különbség esetén a hőátadás három alapvető formája közül ez a forma válik meghatározóvá.

Az anyagba behatoló sugárzó energia részben abszorbeálódik, növeli a molekulák kinetikus energiáját, részben változás nélkül halad át az anyagon. Ez az abszorpció kizárólag olyan sugarak esetében megy végbe, amelyeknek frekvenciája megegyezik a sugárzó anyag molekuláinak sajátfrekvenciájával. Ez azt jelenti, hogy minden sugárzásos hőközlési folyamatnál feltétlenül kell ismerni a sugárzó test által kisugárzott energia hullámhossz szerinti eloszlását (emissziós spektrumát), és a befogadó anyag abszorpciójának hullámhossz szerinti eloszlását [4], [5].

Az infravörös sugárzás mennyiségi és minőségi elemzésére Planck, Wien, ill. Stephan és Boltzmann állítottak fel mérési és számítási módszereket [1], [3], [4].

1.3. Az emisszióképesség szerepe

A kisugárzott energia a sugárzó testek emisszióképességétől függ, ezért fejlesztéseink az emisszióképesség növelésére irányultak, hogy a fűtőtest hőtartalmának minél nagyobb hányada használódjon fel sugárzás útján. Az emisszióképesség a hullámhossztól, a hőmérséklettől, a sugárzó test anyagától és alakjától, valamint a sugárzófelület nagyságától is függ.

Az infravörös sugárzó testeket három nagyobb csoportba szokták sorolni:

- világos sugárzók (rövidhullámú sugárzók),
- középhullámú sugárzók,
- sötétsugárzók (hosszúhullámú sugárzók).

A világossugárzók felépítése az izzólámpához hasonló: vákuumban vagy védőgázzal töltött üvegcsőben izzó wolframszál, amelynek hőmérséklete meghaladhatja a 2000 °C-ot. Ez esetben az emisszió az 1,3 µm-es hullámhosszon maximális.

A középhullámú sugárzók elvi felépítése hasonló a világos sugárzókéhoz, de izzószálként krómnikkel huzalt alkalmaznak, az izzási hőmérsékletük mintegy 1100 °C. Sugárzási maximumuk 2,3–2,5 µm-es hullámhosszon van.

E két infraszugárzó típusnak előnye a nagy emisszióképesség, a nagy sugárzási energiasűrűség, valamint, hogy sugárzási energiájukat gyorsan (a bekapcsolás után pár század másodpercen belül) adják le.

A harmadik csoport a sötétsugárzók csoportja. Ennek a csoportnak jellemzője a kerámiába mint szigetelőanyagba ágyazott huzalleállás. A sötétsugárzók hőmérséklete a legkisebb, általában 500...700 °C-ot nem haladja meg. Sugárzási maximumuk 3...5 µm között van.

A kerámiai sötétsugárzók az előbbiekhöz képest lassabban érik el az egyensúlyi hőmérsékletet, így gyors, lökészerű felfűtésre nem alkalmasak. Figyelembe véve azonban azt, hogy sugárzási intervallumuk igen széles (kb. 2...10 µm közé esik) és a 3...5 µm közötti sugárzási maximum környezetében a legtöbb szerves anyagnak (műanyag, lakk stb.) abszorpció maximuma van, az ipar igen sok területén előnyösen alkalmazhatók.

További előnye a kerámiai sötétsugárzóknak a formai variálhatóság, valamint az, hogy a felületek sugárzóképeségét különleges rétegek (pl. különféle mázbevonatok) célszerű kialakításával növelni lehet. Munkánk során ezirányú fejlesztési megoldásokra törekedtünk.

2. Kutatási eredmények

2.1. Kerámiai anyagú síkfűtőelemek kifejlesztése

A legtöbb konvekciós fűtési módnál előnyös, ha a fűtőtest felületi hőmérséklete nem haladja meg lényegesen a fűteni kívánt tér hőmérsékletét. Ez általában az egyenletes hőleadás és a káros helyi túlmelegedések elkerülése érdekében előnyös. A fűtőtestek felületi hőmérsékletének csökkentése érdekében a hőleadó felületet növelni kell. Az utóbbi mintegy két évtizedben számos műszaki megoldást dolgoztunk ki ennek elérése érdekében.

Megállapították, hogy egyik legjobb módszerként a kerámiai ágyazással történő felületnövelés mutatkozik.

Ennél a felületnövelési eljárásnál a huzallellenállást a célnak megfelelő kerámiai anyagba ágyazzák valamelyik kerámiai formálási mód alkalmazásával, majd az ágyazóanyag által igényelt égetési hőmérsékleten a fűtőszállal együtt kiégetik. A kontakt hővezetés miatt lehetővé válik, hogy a fűtőhuzalok hőmérséklete a szabadon izzó fűtőszálakéhoz képest 100...400 °C-kal kisebb legyen. Ez viszont lényeges élettartam-növekedést jelent.

Az ágyazóanyagoknak a biztonságos üzemelés, a hosszú élettartam érdekében egyidejűleg sokféle követelményt kell kielégíteniük. Többek között nagy mechanikai szilárdságra, nagy hőlékésállóságra, nagy szigetelési ellenállásra, fűtőszállal szembeni indifferenciára van szükség.

Hőtechnikai szempontból a hőlékésállóság és a fűtőszállal szemben mutatott viselkedés a legfontosabb, ugyanis ezek nagymértékben meghatározzák a fűtőelem terhelhetőségét, valamint az élettartamát.

2.2. Kerámiai huzalágyazó anyag kidolgozása

A szakirodalomban leírt, tapasztalati úton felállított összefüggés szerint a hőlékésállóság mértéke a hőtágulási együtthatóval fordított, a hővezetőképességgel egyenes arányban van. Ezért célszerűnek mutatkozik a huzalágyazó kerámiai masszák hőtágulási együtthatóját csökkenteni, a hővezetőképességét pedig növelni. Kísérleti masszáink előállításakor célszerűnek tartottuk a masszák kordierittartalmát figyelemmel kísérni. A kordierit a kerámiai anyagok között egyike a legkisebb hőtágulási együtthatójú anyagoknak (hőtágulási együtthatója $1...3 \cdot 10^{-6}$ m/m°C). A kordieritképződés csak 1250 °C feletti hőmérsékleten megy végbe, ez a hőmérsékleti tartomány magas, ezért – a fűtőszál károsodása miatt – a kordieritet előre elkészített kordierit-fritt formájában adagoltuk a masszához.

Mutatkozott egy másik probléma is. A kordierit kis hőtágulása miatt a nagy kordierittartalmú anyagokat, amelyeknek hőtágulási együtthatója kisebb, mint a bevonóanyagoké, nagyon nehéz mázzal bevonni, éppen a hőtágulási együtthatók különbözősége miatt, akár dekor-, akár infrabevonatról van szó. Ez vezetett arra a megoldásra, hogy anyagösszetételeinkben csak olyan mértékben alkalmazzunk kordieritet, hogy jelenlétével a kívánt anyagi tulajdonságokat biztosítani tudjuk. A kísérleti masszák százalékos kordierittartalmát az 1. táblázat mutatja.

Az anyagfajták vizsgálatánál – mint az egyik legfontosabb tulajdonságot – a hőtágulási együtthatót állapítottuk meg először.

A hőtágulási együttható mérését SADAMEL DP típusú dilatométeren végeztük. A mérési eredményeket a 2. táblázat tartalmazza.

Az anyagok dilatométeres mérési eredményeinek alapján igen fontos információkhoz jutottunk. A különböző anyagösszetételekkel végzett kísérletek alapján megállapítható, hogy a hőlékésállóság, ill. a terhelhetőség szempontjából a kordierittartalom növelésével

1. táblázat

Kísérleti masszák százalékos összetétele

A massa jelölése	Kordierittartalom, %
II	0
II/10	9
II/11	18
II/12	27
II/13	36
II/14	45

2. táblázat

Különböző kordierittartalmú hőtechnikai anyagok hőtágulási együtthatói

Az anyag jelölése	Kordierittartalom, %	α (100...600 °C) hőtágulási együttható 10^6 1/°C
II	–	5,40
II/10	9	4,28
II/11	18	4,43
II/12	27	3,27
II/13	36	2,81
II/14	45	2,64
tiszta korderit	100	2,25

jelentős javulást lehet elérni a kordieritet nem tartalmazó masszákhoz képest.

A kordieritet nem tartalmazó alapmasszához viszonyítva a 45% kordieritet tartalmazó masszával a terhelhetőség (azonos összfelület esetén) mintegy tízszeresére növelhető – a fűtőelem károsodása nélkül – és eléri a 2 W/cm²-es értéket. A huzalágyazó anyag hővezető képességének növelése lehetővé teszi, hogy a fűtőelem felülete és a fűtőhuzal közötti hőgradiens minél kisebb legyen, ezáltal csökken a nagyobb hőmérséklet-különbségek hatására kialakuló mechanikai feszültség, nő az anyag hőmérséklet-változással szembeni ellenállása.

A hővezetőképesség növelésére a kordieritnél nagyobb hővezetőképességű anyag adagolásával is végeztünk kísérleteket és méréseket. Egyik anyag a mullit, a másik a szilíciumkarbid (SiC) volt.

A mullittartalmú masszakkal végzett kísérleteink azt mutatták, hogy viselkedésük lényegesen nem tér el a kordierites masszákétól így ezt a kísérleti vonalat befejeztük.

Az előzőekben leírt mullittartalmú anyagkísérletekkel párhuzamosan a SiC tartalmú anyagokkal is végeztünk kísérleteket. (A SiC hővezetőképessége kb. tízszerese a mulliténak). Azonban ezeket a kísérleteket aránylag hamar befejeztük, mivel a fűtőelemek rövid fűtési idő után már 300 °C körül kiégték. A kiégett panelek vizsgálatánál részben helyi átégéseket, részben pedig fűtőhuzal-szálszakadást találtunk. Ezek magyarázata egyrészt a SiC nagyobb hőmérsékleten már jelentősebb mértékű vezetőképessége, másrészt az igen kemény SiC szemcsék nyíróhatása. Mindezek alapján mindkét anyag huzalágyazó anyagként történő felhasználását elvetettük.

2.3. Kerámiai ágyazású síkfűtőelemek gyártástechnológiája

Két évtizedes múlta visszavezethető kerámiai ágyazású huzalellenállású síkfűtőelemek gyártására számos gyártástechnológiai megoldást dolgoztak ki. Mi a porsajtólósos technológiai eljárást választottuk. Ez az eljárás csak az utóbbi években kezd elterjedni.

Az eljárás lényege az, hogy az alapanyagokat — esetünkben nedvesen, golyósmalomban — aprítják, homogenizálják. Nedves őrlés esetén az iszapot szűrőpréselik, szárítják és ezután megfelelő nedvességtartalomra beállítják. Jelenleg már alkalmazzák a porlasztva szárítást, az ún. „atomizeres” granulálást is.

A megfelelő szemcseszerkezetű és nedvességtartalmú granulátum a sajtolóüzembe kerül. A sajtolás két lépésben történik. A présgépre felfogott szerszámba először a kimért sajtolóanyag egy részét töltjük be, ezt egyenletesen elsimítva ráhelyezzük a fűtőszálberakót a fűtőszállal. Elvégezzük az első sajtolást (max. 2 MPa nyomás), majd a fűtőszálberakó kiemelése után a kimért anyag szerszámba történő betöltése után ismételt sajtolással (max. 10 MPa) készítjük el a síkfűtőelemet. Szárítás és égetés után kerül szükség szerint felületi mázbevonat a fűtőelemre. Ismételt égetés után elektromos vizsgálatok következnek.

2.4. Élettartam- és terhelési vizsgálatok

A kerámiai ágyazású huzalellenállású síkfűtőelemek kifejlesztésének szintén igen fontos része az ágyazóanyag — huzalellenállás kölcsönhatása, ill. ezzel összefüggésben az élettartamviszonyok vizsgálata. Az elvégzett kísérleteink alapján megállapítható, hogy az általunk kidolgozott ágyazóanyag és a fűtőhuzal között káros, élettartamot hátrányosan befolyásoló kölcsönhatás nincs.

A táblázatból kiderül, hogy extrém esetekben sincs olyan kölcsönhatás, amelyből a fűtőelem élettartamának csökkenésére lehetne egyértelműen következtetni (3. táblázat).

3. táblázat

Fűtőelemekbe épített Nikrothal 80 huzalok ellenállásváltozása

Sorszám	A fűtőszál fajlagos felületi terhelése, W/cm ²	Fűtőszál-átmérő mm	A fűtőelem fajlagos felületi terhelése, W/cm ²	Üzemidő, h	Ellenállás-változás, %
1	0,17	0,5	0,1	1500	+0,40
2	0,47	0,5	0,2	1500	+0,15
3	1,88	0,5	0,3	1500	+0,15
4	4,35	0,5	0,5	1500	+2,02
5	6,72	0,5	0,6	1500	+3,67
6	5,72	0,5	1,0	1500	-0,68
7	3,33	0,65	0,7	1500	+2,56
8	14,72	0,4	0,7	1500	-0,52
9	10,0	0,65	2,0	600	-4,18
10	20,16	0,5	2,0	600	-5,38
11	44,16	0,4	2,0	600	-5,38

Megállapítottuk a különböző átmérőjű és fajlagos terhelésű fűtőszálak vizsgálatával, hogy élettartamukat elsődlegesen nem a fajlagos terhelés, hanem a környezetükben kialakuló hőmérsékleti viszonyok határozzák meg. A kerámia ágyazás esetén a fűtőhuzalok terhelhetőségét nagymértékben fokozhatjuk, ha biztosítani tudjuk azt, hogy a környezetében uralkodó hőmérséklet a szigetelési ellenállás szempontjából a kritikus érték alatt maradjon [6].

2.5. A kerámiai sötétsugárzók anyagának kidolgozása

A különböző ipari hőkezelési folyamatok megoldásánál a minőségen kívül igen fontos a gazdaságosság kérdése is. Ahhoz, hogy valamely ipari hőkezelési folyamatot a minőség és gazdaságosság szempontjából is optimálisan oldjunk meg, a hevíteni kívánt anyag vagytest tulajdonságainak ismeretében kell a fűtési rendszert és a hőtávitel formáját megválasztani. Az ipari berendezések esetében igen sok területen előnyösnek mutatkozott a hőszugárzás útján történő hőtávitel. Ennek kapcsán kezdtünk foglalkozni a kerámiai ágyazású infrásugárzó testek megvalósításával. Az infrásugárzó testek kialakításához, a követelményeknek legjobban megfelelő kerámiai anyagot az előző fejezetben már ismertettük. Ez a kordierites massa a szükséges technológiai segédanyagok alkalmazásával alkalmas nedves, száraz sajtólásra, öntésre, extrudálásra és kis módosítással fröccsöntésre is. Ez abból a szempontból jelent igen nagy előnyt, hogy a különböző ipari hőkezelő berendezésekhez formára, nagyságra is a legalkalmasabb fűtőtest kialakítására ad módot.

Munkánk során több kérdést kellett megoldani. Ezek között szerepelt:

- a sötéten sugárzó anyag kiválasztása,
- fűtőtestre történő felvitel módja,
- a felvitt anyag optimális rétegvastagságának meghatározása,
- a megfelelő mérési módszerek kiválasztása.

A célunk az volt, hogy minél jobban megközelítsük az abszolút fekete test sugárzási jellemzőit, hogy a hőtávitel formáját 600 °C alatti tartományban is a konvekciós hőtáadás rovására a sugárzás felé toljuk el. Első lépésben ismert nagy sugárzóképesége alapján szilícium-karbid tartalmú, majd különböző szobahőmérsékleten — de a sötétsugárzók működési hőmérsékletén is — stabil fénoxidtartalmú rétegtanyagokat vizsgáltunk. Az említett szilícium-karbid mellett szerepelt többek között mangánoxid, kobaltoxid, rézoxid, vasoxid, nikkeloxid.

A rétegtanyagok felvitelének megoldására két lehetőség kínálkozott. Egyik a sajtolási technológia, amelynél a nyersgyártás során vékony (1...2 mm-es) rétegben a felületre sajtoljuk a sugárzó bevonatot és a kerámiai testtel együtt égetjük ki. Másik megoldás a kerámiai máz formájában történő rétegfelvitel.

Az első eljárás előnye az, hogy a sugárzó bevonat kialakítása a nyersgyártással egyidejűleg történik, más technológiai lépést nem igényel, így gazdaságos. Hátránya egyrészt, hogy csak a sajtolással előállítható sugár-

zók esetében alkalmazhatók, másrészt, hogy a réteg összetételének olyannak kell lennie, hogy a kerámiai test kb. 1200 °C-on történő kiégetésénél stabil maradjon és az emisszióképességét megtartsa, a hordozó anyagával ne lépjen reakcióba.

A máz formájában történő felvitel hátránya, hogy csak külön technológiai lépésekkel oldható meg (égetés utáni szórás, majd ismételt égetés), előnye viszont, hogy formálási technológiától és formától függetlenül bármilyen kiképzésű sugárzóra felvihető. A mázas technológia fejlesztése mellett döntöttünk a sokrétű alkalmazási lehetőség miatt. Mintegy 20 féle különböző összetételű mázazási és égetési kísérletsorozat alapján választottuk ki a kísérletre alkalmasnak látszó bevonatokat (4. táblázat).

4. táblázat

Sugárzó bevonatok emissziós tényezői

A sugárzó bevonat jele	ϵ emissziós tényező
Natúr felület	0,75
SiO	0,89
Si1	0,93
FM 1	0,97
FM 2	0,99
FM 3	0,93
FM 4	0,93

Az emissziós tényező számszerű meghatározását AGA Thermovisio 680/102C típusú műszerrel végeztük. A műszer működésére és a számítási módszer ismertetésére nem térünk ki, csupán mérési eredményeinket a táblázatban foglaljuk össze (5. táblázat).

5. táblázat

A felhasznált alapanyagok kémiai összetétele

Összetevő oxidok	Timföld	Meka kaolin	Agyag-pala	Talkum	G-2 agyag
Al ₂ O ₃	97,26	28,60	36,54	0,28	31,80
SiO ₂	1,20	57,50	55,10	59,60	50,70
Fe ₂ O ₃	0,24	0,48	2,58	0,46	1,87
CaO	0,37	0,27	0,54	0,13	0,98
Na ₂ O	0,12	0,14	0,17	0,24	0,27
K ₂ O	0,13	0,70	1,48	0,16	2,72
TiO ₂	0,20	0,20	1,20	0,20	0,80
Izzítási vesztl.	0,40	11,53	1,93	6,13	9,82

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a kidolgozott sugárzó bevonatokkal a natúr kerámiai felülethez viszonyítva a sugárzás mértéke számottevően növelhető. A sugárzási intenzitás növekedése kb. 16...18%, amely megfelelő reflektáló bevonat alkalmazása esetén mintegy 30%-ra növelhető. A sugárzásos hőátvitelen alapuló ipari hőkezelési folyamatoknál a sugárzott teljesítmény ilyen mértékű növekedése energiatakarékosságban vagy technológiai folyamat gyorsításában mutatkozik meg [7], [8].

3. Ipari kísérletek, alkalmazások

A világ műanyagipara igen nagy mennyiségben használ hőre keményedő poliészter alapú, üvegszállal erősített, ún. SMC anyagot különféle műszaki termékek előállítására. Ez a technológia részben nagy fajlagos energiaigénye, és hosszú ciklusideje miatt részben amiatt, hogy a keletkezett hulladékok, környezetszennyezők, nem dolgozhatók fel újra, ma már nem mondható korszerűnek. A fejlett ipari államokban megjelent az SMC-hez hasonló célokra feldolgozható polipropilén mátrixú, üvegszállal erősített anyag.

Ez az anyag (közkeletű rövidítése GMT) lemez formában kerül forgalomba és megfelelő méretre szabás, majd előmelegítés után alacsony hőmérsékletre (kb. 60 °C) temperált szerszám adja meg az alakot.

A technológia hazai megismertetésében és az első hazai kísérletek lefolytatásában a VKI úttörő szerepet vállalt. Főosztályunk a fejlesztés során az üvegszálas polipropilén lemezek előmelegítését kívánja a fejlesztési munka keretében megoldani. Kísérleti céllal létrehoztunk egy kétoldali fűtéssel ellátott, fiókos rendszerű infrakemencét, amely jó szabályozhatósága révén alkalmas volt a GMT feldolgozáshoz szükséges optimális technológiai paraméterek elérésére. A sugárzással átvitt energia az emisszióképességtől, az abszorpció mértékétől, valamint a két test közötti távolságtól függ. Irodalmi adatokból tudtuk, hogy a polipropilén lemezek előmelegítésére a 3...4 µm hullámhosszú infravörös sugarak a legalkalmasabbak. A Wien-törvény alapján az abszolút fekete testre meghatározható az a hőmérséklet, amelyen az emittált sugárzás spektrumeloszlás függvényének maximuma van [9].

$$\lambda_{\max} T = 2,88 \cdot 10^{-3} \text{ mK.}$$

Ez annyit jelent, hogy a feketén sugárzó test 450 és 680 °C közötti hőmérsékleten az energia legnagyobb részét 3 és 4 µm közötti hullámhosszon sugározza ki.

A megépített kemence infrasugárzói ezt a hőmérsékletet tudják biztosítani, és a sugárzó lapok távolsága az anyagtartó hálózattal állítható.

Az elvégzett kísérletek alapján megállapítható volt, hogy az előmelegítési idő csak nagyon kis mértékben függ az előmelegítendő lemez színétől. Berendezésünk ugyanolyan vastagságú és üvegszáltartalmú lemezt fehér színben 100, fekete színben 90 másodperc alatt melegített fel átlagosan 220 °C-ra. Természetesen más műanyagokból készült lemezeket is melegítettünk elő, és már ekkor nyilvánvalóvá vált a kemence energiatakarékos üzemeltethetősége, az előmelegítés egyenletessége és kíméletes volta. Az energiamegtakarítás konkrét mértékére következtethettünk egy előkísérlet-sorozat során, amelyet az egyik hazai faipari vállalatnak végeztünk. A kísérlet során faátvonó tapaszt kellett beszárítanunk. A vállalat jelenleg meglévő gyártósorán a szalagsebességből adódóan maximum 3 perc állt rendelkezésünkre a beszárításhoz.

A meglévő gyártósor alapján kismintát készítettünk és az elvégzett kísérletek igen jó eredményeket hoztak. A gyártósoron beépített mintegy 170 kW teljesítményű

kvarcsugárzókat a VKI-ban fejlesztés alatt álló ún. INF-RATHERM fűtéssel helyettesítve 60%-os energiamegtakarítás érhető el. A kismintába beépített 8 kW fűtőteljesítményű sugárzóegység a felfűtés után, 450 °C-on üzemelve 2,4 kW villamos energiát fogyasztott. Figyelembe véve, hogy a gyártósoron a kipárolgott oldószerek eltávolítására elszívást alkalmaznak, az elszívás mértékétől függően az energiamegtakarítás valamelyest csökken. Még így is 40...50% energiamegtakarítást érhetünk el, amely népgazdasági szinten is nagy jelentőségű.

Az INFRATHERM fűtési rendszereket nullátmentes teljesítményszabályozással vezéreljük, amely hálózatkímélő, és túllengésektől mentes szabályozást tesz lehetővé.

Jó eredményeket értünk el már meglevő szárítósorokon is. A korábbi infrasugárzók helyett beépített paneleink kifogástalanul és az eddigieknél jóval gazdaságosabban működnek cipő-, papír-, üveg-, textil- és élelmiszeripari üzemekben egyaránt.

Példaként említjük meg az Üvegipari Művek Budapesti Ampullagyárában működő MM 30 típusú, francia gyártmányú temperáló gépsorát, amelyben vonalsugárzó fűtőberendezést alakítottunk át az általunk kifejlesztett infrasugárzó fűtőtestek alkalmazásával. Az eredetileg beépített 16 kW teljesítmény helyett 12 kW alkalmazásával tudtuk ugyanazt a hőmérsékletet tartani, úgy, hogy a gyártósor forgási sebességét még növelni is lehetett. Sikeresen alkalmazza az Acélipari Sinus Szerszám-gépipari Szövetkezet az általa gyártott C 247 típusú cipőorr- és talpaktiváló berendezéseiben, amelyet mind nyugati, mind keleti országokban forgalmaznak. A „Keratherm” fűtőtesteket a Temaforg Vállalatnál az Icerbefama Fehrer típusú termofixáló gépsorában hasznosítják.

4. Összefoglalás

Fejlesztési eredményeinket röviden összefoglalva a következőket állapíthatjuk meg:

- kifejlesztettük a kerámiai ágyazású fűtőtestek biztonságos előállításához szükséges ágyazómasszát;
- megállapítottuk, hogy az alkalmazott ágyazóanyag és a fűtőszál között nincs az élettartamot befolyásoló káros kölcsönhatás;
- mérésekkel igazoltuk, hogy a kifejlesztett infrabevonatú fűtőtest emissziós tényezője megközelíti az abszolút fekete test tényezőjét;
- sorozatgyártásra alkalmas technológiai eljárást vezetünk be;
- az ipari területeken alkalmazásra kerültek termékeink.

A hevíteni kívánt anyag jellemzőinek birtokában képesek vagyunk optimálisan működő komplett hőközlő egységet megtervezni, kivitelezni, ill. abban műszaki részt vállalni.

Irodalom

- [1] *Faltn, H.*: Műszaki hőtán. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1970.
- [2] *Smith, R. H.*: The Detection and Measurement of Infrared Radiation. 2. kiadás. Oxford Clarendon Press, 1986
- [3] *Berhert, R.*: Infrarottechnik.
- [4] *Bommer, P.*: Heizung und Trocknung mit Infrarotstrahler. Elektrizitätsverwendung 1966. 41.5. p 143—158
- [5] *Mazur M.*: Einfluss der Strahlentemperatur in der Infrarotlacktrocknung. Elektrowärme, 1962. 20.5. p. 217—221.
- [6] *Kocsis—Olchváryné—Barsainé*: Kerámiai anyagú síkfűtőelemek kifejlesztése. VKI zárójelentés Bp., 1975.
- [7] *Kocsis—Olchváryné—Barsainé*: Infravörös tartományban sugárzó kerámiai mázbevonatok kifejlesztése. VKI zárójelentés. Budapest, 1975.
- [8] *Olchváryné*: Kerámiai anyagú sötétsugárzók emisszióképességének növelése. VKI Közlemények 6. kötet. 18. cikk
- [9] *Dr. Vida György*: Műszaki hőtán. Tankönyvkiadó, Budapest, 1983.
- [10] *Mihejev M. A.*: A hőátadás gyakorlati számításának alapjai. 6. átdolgozott kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1987.

Tartalom

Dr. Néveri István 1931—1989	3
<i>Dr. Nagy László—Németh Géza: Háromfázisú inverterek megvalósítása állásos követőszabályozással</i>	5
<i>Dr. Bencze János: Váltakozóáramú hajtások rendszerezése . Molnár Károly—Molnár János: Térvezérlésű tranzisztoros, főáramkörű, soros konverter</i>	9
<i>Weiner György—Gyarmathy Sándor: Középfeszültségű áramirányító kifejlesztése</i>	15
<i>Ballók Imre—László János—Nagy Attila—Nemeskéry Géza: Hengerművi sorvonó motorok 9 MW-os hajtásai</i>	21
<i>Sztrókey István—Szegő Imre: Elektronikus levegőszennyezés-érzékelő készülék</i>	31
<i>Tanos Ervin—Pilinyi András—Rétfalusi Péter—Bán Gábor: Kis áramerősségű villamos ívek hőmérsékleteloszlásának mérése interferometrikus technikával</i>	41
<i>Gyimóthy Kálmáné: Fémoxid túlfeszültségevezetők élet-tartam-vizsgálatai</i>	45
<i>Dr. Serfőző Ilona (TVK)—Szaplóczay Pál—Tisler Istváné: Üvegszálas paplannal erősített, hőre lágyuló műanyagok fejlesztése és vizsgálata</i>	53
<i>Barsai Árpádné—Bán Péter—Csomán György: Sötétsugárzó kerámia síkfűtőelemek kifejlesztése és ipari alkalmazása infrasugárzó rendszerekben</i>	59
	65

Inhalt

<i>Dr. István Néveri (1931—1989)</i>	3
<i>Dr. László Nagy—Géza Németh: Dreiphaseninverter mit Stellungsfolgeregelung</i>	5
<i>Dr. János Bencze: Systematisierung von Wechselstromantrieben</i>	9
<i>Károly Molnár—János Molnár: Feldgesteuerter Wandler mit Transistorhauptstromkreis</i>	15
<i>György Weiner—Sándor Gyarmathy: Entwicklung von Mittelspannungsstromrichtern</i>	21
<i>Imre Ballók—János László—Attila Nagy—Géza Nemeskéry: 9-MW Walzwerk-Antriebe</i>	31
<i>István Sztrókey—Imre Szegő: Elektronischer Luftverschmutzungsdetektor</i>	41
<i>Ervin Tanos—András Pilinyi—Péter Rétfalusi—Gábor Bán: Temperaturverteilungs-Messung von elektrischen Lichtbögen kleiner Stromstärke mit Hilfe von Interferometrie ...</i>	45
<i>Ida Gyimóthy: Lebensdauerprüfungen von Metalloxid-Überspannungsableitern</i>	53
<i>Dr. Ilona Serfőző (TVK)—Pál Szaplóczay—Anikó Tisler: Entwicklung und Prüfung von thermoplastischen glasfaserverstärkten Kunststoffen</i>	59
<i>Zsuzsa Barsai—Péter Bán—György Csomán: Entwicklung von dunkelstrahlenden Keramikflachelementen und ihre industrielle Anwendung in Infrarotstrahlungssystemen ..</i>	65

Contents

<i>Dr. István Néveri (1931—1989)</i>	3
<i>Dr. László Nagy—Géza Németh: Three-phase inverters built up on the basis of positional follow-up control</i>	5
<i>Dr. János Bencze: Systematization of a.c. drives</i>	9
<i>Károly Molnár—János Molnár: Field controlled booster converter with transistor main circuit</i>	15
<i>György Weiner—Sándor Gyarmathy: Development of medium voltage converter</i>	21
<i>Imre Ballók—János László—Attila Nagy—Géza Nemeskéry: 9-MW rolling mill drives</i>	31
<i>István Sztrókey—Imre Szegő: Electronic air pollution detector</i>	41
<i>Ervin Tanos—András Pilinyi—Péter Rétfalusi—Gábor Bán: Measurement of the temperature distribution of low current electric arcs using interferometric techniques</i>	45
<i>Ida Gyimóthy: Life-time tests of metal-oxide lightning arresters</i>	53
<i>Dr. Ilona Serfőző (TVK)—Pál Szaplóczay—Anikó Tisler: Development and testing of glass-fibre reinforced thermoplastics</i>	59
<i>Zsuzsa Barsai—Péter Bán—György Csomán: Development of dark radiating flat ceramic heating elements and their industrial application</i>	65

Содержание

<i>Д-р Иштван Невери</i>	3
<i>Д-р Ласло Надь—Геза Немет: Осуществление трехфазовых инверторов с позиционным автоматическим управлением</i>	5
<i>Д-р Янош Бенце: Систематизация приводов переменного тока</i>	9
<i>Карой Мольнар—Янош Мольнар: Последовательный конвертор с полевым транзистором в главном контуре</i>	15
<i>Вайнер Дьёрдь—Дьярмату Шандор: Разработка преобразователя тока среднего напряжения</i>	21
<i>Имре Баллок—Янош Ласло—Атила Надь—Геза Немешкери: 9 мвт-ные электроприводы двигателей валков линии прокатного стана</i>	31
<i>Иштван Строкаи—Имре Серё: Электронный индикатор загрязнения воздуха</i>	41
<i>Эрвин Танош—Андраш Пилиnyi—Петер Ретфалуши-Габор Бан: Измерение распределения температуры электрических дуг техникой интерферометрии при небольшой силе тока</i>	45
<i>Дьймоги Калманте: Исследование срока службы разрядников перенапряжений без разделительного искрового промежутка, созданных из окислов металлов</i>	53
<i>Д-р Илона Шерфёзё—Пал Саплонцаи—Тишлер Иштбанне: Разработка и исследование термопластических пластмасс, укрепленных стекловолоконистой ватой ...</i>	59
<i>Баршай Арпадне—Петер Бан—Дьёрдь Чоман: Разработка и промышленное применение керамических плоских нагревателей темного излучения в системах инфракрасного излучения</i>	65

