

VKI

A VILLAMOSÍFARI KUTATÓ INTÉZET

KÖZLEMÉNYEI

9

1984

MŰSZAKI KÖNYVKIADÓ

VILLAMOSIPARI KUTATÓ INTÉZET

KÖZLEMÉNYEI

9

KÖZZÉTESZI:

DR. LUKÁCS JÓZSEF

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

SZERKESZTETTE

a Szerkesztő Bizottság:

BENCZE JÁNOS

okl. villamosmérnök,
a Villamos Berendezés Főosztály vezetője

BOGNÁR ALAJOS

okl. villamosmérnök,
a Szigeteléstechnikai Főosztály vezetője

DR. GANSZKY KÁROLY

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

KISS MIKLÓS

okl. gépészmérnök,
tudományos tanácsadó

DR. KOCSIS ALBERT

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

DR. MOCSÁRY JÓZSEF

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

MOLNÁR ISTVÁN

okl. villamosmérnök,
tudományos tanácsadó

DR. NAGY LÁSZLÓ

okl. villamosmérnök,
az Elektronikai Rendszerek Főosztály vezetője

DR. NÉVERI ISTVÁN

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

DR. SORS LÁSZLÓ

okl. vegyészmérnök
a Villamos Technológiák II. Főosztály vezetője

SZTRÓKAY ISTVÁN

okl. villamosmérnök,
a Villamos Technológiák I. Főosztály vezetője

TAR FERENC

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

**Felelős kiadó: Dr. Lukács József
a VKI igazgatója**

Megjelent a Műszaki Könyvkiadó gondozásában

**ISBN: 963 10 5337 7
HU ISSN: 0139-3359**

**Felelős szerkesztő: Guller Jánosné villamosmérnök
A kézirat lezárva: 1983. március**

**Kiadja a Műszaki Könyvkiadó
Felelős kiadó: Fischer Herbert igazgató**



**84/1720 Franklin Nyomda, Budapest
Felelős vezető: Mátyás Miklós igazgató
Műszaki vezető: Kőrösi Károly
Műszaki szerkesztő: Mózer István
A könyv ábráit rajzolta: Barabás Zoltán
Ívterjedelme: 32,875 (A5)
Példányszám: 800
Azonosítási szám: 01384**

ERŐSÁRAMÚ ELEKTRONIKA ÉS IRÁNYÍTÁSTECHNIKA

1. Áramirányítós szinkron motoros hajtások

BALLÓK IMRE – WEINER GYÖRGY

ÖSSZEFOGLALÁS

A frekvencia változtatásával a szinkron motor fordulatszáma folyamatosan változtatható. A szinkron motor táplálására és a frekvencia változtatására hálózati kommutációs áramirányító használható.

A cikkben ismertetjük a VKI-ban fejlesztés alatt levő áramirányítós szinkronmotor-sorozat felépítését és működési elvét; külön foglalkozunk az indítás megoldásával. Végezetül ismertetjük egy kísérleti hajtáson szerzett tapasztalatokat és mérési eredményeket.

ПРИВОДЫ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ТОКА

И. Баллок — Д. Веинер

Резюме

Изменением частоты плавно регулируется число оборотов синхронных двигателей. Для питания синхронного двигателя и изменения частоты можно применять преобразователь тока с сетевой коммутацией.

В статье излагаются построение и принцип работы ряда синхронных двигателей с преобразователем тока, находящегося в VKI в стадии совершенствования. Отдельно представляется решение запуска. Наконец описываются опыты и результаты измерения некоторого экспериментального привода.

ANTRIEBE MIT STROMRICHTERMOTOREN

I. BALLÓK – GY. WEINER

Zusammenfassung

Durch Ändern der Frequenz kann die Drehzahl des Synchronmotors kontinuierlich verändert werden. Zur Speisung des Synchronmotors und zum Ändern der Frequenz können netzgeführte Stromrichter verwendet werden.

In dem Artikel werden der Aufbau und das Funktionsprinzip der im VKI im Entwicklungsstadium befindlichen Baureihe der stromrichtergespeisten Synchronmotoren beschrieben. Das Anlaufverfahren wird auch behandelt. Es werden schliesslich die an einem Versuchsantrieb gewonnenen Erfahrungen und Messergebnisse erörtert.

Summary

The speed of a synchronous motor can be varied continuously by varying the frequency. Natural commutated converter can be used to supply the synchronous motor and for varying the frequency.

The paper deals with the process at the design and principles of operation of the series of machine commutated inverter drives under development at VKI.

A special discussion is given of the process of starting. Finally, the experiences and measurement results obtained with an experimental drive are described.

1. Bevezetés

Szabályozott hajtásokban leggyakrabban ma is egyenáramú motorokat használnak. Az egyenáramú motorokkal felépített hajtások igen jó szabályozási tulajdonságúak, és az egyéb megoldásokhoz képest kedvező árúak, de nagy hátrányuk a mechanikusan egyenirányító kommutátor. A kommutátor karbantartást igényel, nehezen gyártható, kényes, és korlátozza az egyenáramú gépekkel elérhető teljesítményt és fordulatszámot.

Inverterről táplált aszinkron motoros hajtás felhasználásával kiküszöbölhető a kommutátor, ekkor a kommutátorért cserébe az inverter tirisztorainak oltásához kényszeroltókört kell alkalmazni. Ez a megoldás a speciális elemek (impulzusüzemű kondenzátor, gyorstirisztor stb.) miatt – különösen nagyobb teljesítmények esetében (100 kW felett) – igen drága.

Az utóbbi években kialakult egy olyan fejlesztési irány, amely szabályozott hajtásokhoz szinkron motorokat alkalmaz. A szinkron motor táplálásához nem szükséges kényszerkommutációs inverter, használhatók az egyenáramú motorok táplálásához is használt hálózati kommutációs áramirányítók. Elmaradnak a drága gyorstirisztorok és kondenzátorok, viszont az egyszerű és olcsó aszinkron motort a bonyolultabb és drágább szinkron motorra kell cserélni, a komplett hajtás azonban olcsóbb lesz. Különösen nagy az előny nagy teljesítményű (MW nagyságrendű) hajtások esetén, de megfelelő szinkron motor alkalmazásával már néhányszor 10 kW teljesítménytől kezdve olcsóbb megoldás biztosítható.

Alacsony fordulatszám-tartományban üzemelő motorokhoz ciklokonverteres hajtást, egyébként ún. áramirányítós szinkron motoros hajtást alkalmaznak. A következőkben az utóbbit ismertetjük.

Áramirányítós szinkron motoros hajtások felhasználására az irodalomban legtöbb példát MW teljesítményű hajtások terén lehet találni. 100 MW fölötti hajtásokat használnak, ill. terveznek felhasználni tározós vízierőművekben [1]. Ugyancsak nagy teljesítményű hajtásokat használnak ventilátorok, fúvók és különböző szivattyúk hajtásához is [2], [3], [4]. A leggyakoribb felhasználásként lehet említeni a gázturbinák és szinkron kompenzátorok indítására szolgáló hajtásokat. Ez a leggazdaságosabb felhasználás, hisz a szinkron motor itt eleve adott [5], [6], [7], [8]. Az általános felhasználási célra kifejlesztett hajtássorozatok közül 7,5...200 kW-os teljesítménytartományban a Siemens [9], 100 kW...30 MW-os teljesítménytartományban pedig az angol G. E. C. [10] termékeit érdemes megemlíteni.

A drága és magas imporgényű aszinkron motoros hajtások helyettesítésére a VKI 30...300 kW-os teljesítménytartományban általános felhasználási célra szinkron motoros hajtássorozatot fejleszt ki. A hajtásokhoz EVIG gyártmányú (erre a célra

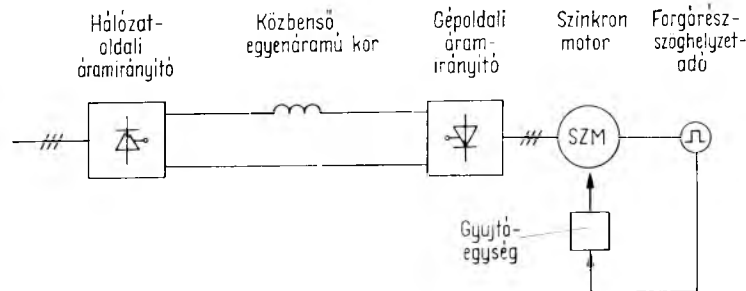
kifejlesztett), kefe nélküli, forgó gerjesztővel rendelkező szinkron motorokat használunk. A hajtások 0...1500/min fordulatszám-tartományban, négynegyedes üzemre készülnek. A sorozat legnagyobb teljesítményű tagja 1983-ban, a többi 1984-ben készül el. A következőkben a hajtások felépítését és egy 20 kVA-es szinkron generátorral készült kísérleti hajtás mérési eredményeit ismertetjük.

2. Működési elv

A szinkron motor fordulatszámát a frekvencia változtatásával folyamatosan tudjuk változtatni. Erre többféle megoldás ismeretes [11]. E cikkünkben a közbenső egyenáramú körrel rendelkező áramirányítóról táplált szinkron motoros hajtással foglalkozunk. Ezt a kialakítást áramirányítós szinkron motornak (ÁSZM) nevezik. Az általunk használt megoldásnál a szinkron motorhoz használt áramirányító hálózati kommutációs és önvezérlésű. A hajtás elvi felépítése az 1-1. ábrán látható. A gépdali áramirányító és a szinkron motor együttes üzeméhez leginkább egy kompenzálatlan, segédpólus nélküli egyenáramú motor üzeméhez hasonlít. Az egyenáramú motor esetében az áramátváltásra az egyik tekercelemről a másikra akkor kerül sor, amikor az adott kommutátorszelet a kefe alá ér. Önvezérlésű ÁSZM-nál ugyanez elektronikus úton valósul meg. A legegyszerűbb megoldás az, amikor a motorra szerelt helyzetérzékelő a gépdali áramirányító tirisztorait mindig egy megadott forgórészpozícióban gyűjtja. Az önvezérlés miatt a motor így mindig „szinkron” fordulatszámú üzemel. A tényleges fordulatszámot az egyenáramú motorhoz hasonlóan a közbenső egyenáramú kör feszültségével és a gerjesztéssel lehet változtatni.

Motoros üzemben a hálózatoldali áramirányító mint egyenirányító működik, és a hálózatról energiát táplál a közbenső egyenáramú körbe. A közbenső egyenáramú körből az energiát a gépdali áramirányító „visszatáplálja” a szinkron gép által előállított „hálózatba”, azaz a szinkron motorba. Ehhez a gépdali áramirányító gyűjtését inverter üzembe kell vezérelni. Ezt a megfelelő forgórész-szöghelyzetben való gyűjtással biztosítjuk. A gépdali áramirányító kommutációjához szükséges meddő teljesítményt a szinkron motor túlgerjesztésével fedezzük. Kis fordulatszámra a megfelelő túlgerjesztés nem biztosítható, a szinkron motor feszültsége kevés a kommutációhoz. Ilyenkor a gépdali áramirányító félvezetőinek minden kommutációja előtt a hálózatoldali áramirányító inverter üzembe vezérlésével megszüntetjük a közbensőköri egyenáramot, és a kommutáció árammentes állapotban történik. Így kis fordulatszámra „léptető üzemmódban” üzemel a hajtás.

Generátoros üzemben a gépdali áramirányító és a hálózatoldali áramirányító tirisztorait más forgórész-szöghelyzetben gyűjtjük. A gyűjtési időpontot ilyenkor



1-1. ábra. Önvezérlésű ASZM

úgy kell beállítani, hogy a géppoldali áramirányító egyenirányító üzemben, a hálózatoldali áramirányító pedig inverter üzemben dolgozzon.

A *forgásirányváltás* fázissorrendcserével történik. Ezt a géppoldali áramirányító gyűjtássorrendjének cseréjével valósítjuk meg.

Az áramirányítók gyűjtását a különböző üzemállapotokban összefoglalva az 1-2. ábra mutatja.

3. A szabályozás tényleges felépítése

A VKI-ban kifejlesztett, 4/4-es üzemre alkalmas ÁSZM hajtás felépítése az 1-3. ábrán látható.

3.1. Főbb funkcionális egységek

A *hálózatoldali* és a *géppoldali áramirányító* teljesen vezérelt háromfázisú hídkapcsolású.

A *szinkron motor* forgódíódás gerjesztésű. A csúszóérintkező nélküli gerjesztést a szinkron motor tengelyére a pajzson belül felszerelt háromfázisú aszinkron géppel biztosítjuk. Az aszinkron gép állórészét antiduktorral tápláljuk. A táplálás fázissorrendje mindig olyan, hogy az aszinkron gép forgómezeje a forgórész forgásirányával szembe forog. Így álló és forgó állapotban egyaránt indukálódik feszültség a forgórészben.

A *forgórész szöghelyzetének és fordulatszámának* az érzékelését a szinkron motor tengelyére szerelt impulzusadó biztosítja. Az impulzusadó fordulatonként 600 impulzust és egy nullimpulzust ad.

A *hálózatoldali áramirányító vezérlését* alárendelt áramszabályozó körrel rendelkező fordulatszám-szabályozó határozza meg. A motoros – generátoros, ill. előre-hátra irányú üzem megvalósítására a 4/4-es egyenáramú hajtásoknál is használt logikai reverzálóegység szolgál. A logikai reverzálóegység által szolgáltatott jelekből az *üzemmód-meghatározó logika* meghatározza az éppen szükséges üzemmódot, és vezérli az áttérést. Motoros – generátoros üzemmódváltás csak árammentes állapotban, forgásirányváltás pedig csak álló állapotban történhet.

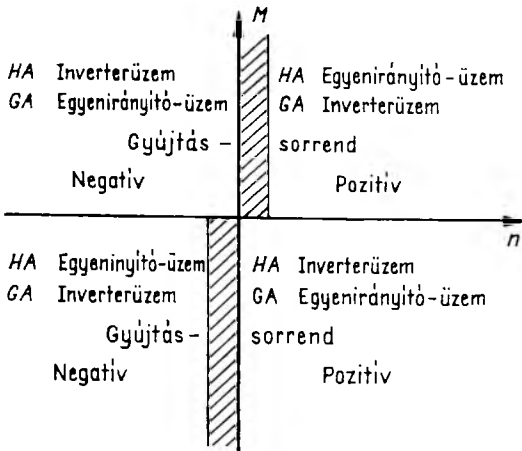
A *géppoldali áramirányító vezérlése* digitálisan történik. A gyűjtásszöget a forgórész szöghelyzetéhez képest a gyűjtásszög-alapjeladó írja elő. Ez a motoros – generátoros és indítási üzemmódnak megfelelően háromféle lehet ($\alpha_M, \alpha_G, \alpha_I$). A *gyűjtáskiosztó* határozza meg, hogy adott forgórész-pozícióhoz és forgásirányhoz mely tirisztorokat kell gyűjtani.

A gyűjtáskiosztó bemenetére a mindenkori forgórészszöghelyzet- és a gyűjtásszög-alapjel összege jut. Így a tirisztorok gyűjtása a forgórész nullhelyzetéhez képest a gyűjtásszög-alapjellel változtatható.

Az impulzusadó *nullhelyzetét* a szinkron motor forgórészéhez képest mechanikus beállítás helyett digitális formában, elektronikus úton, a „nullhelyzet-korrekciónal” lehet beállítani.

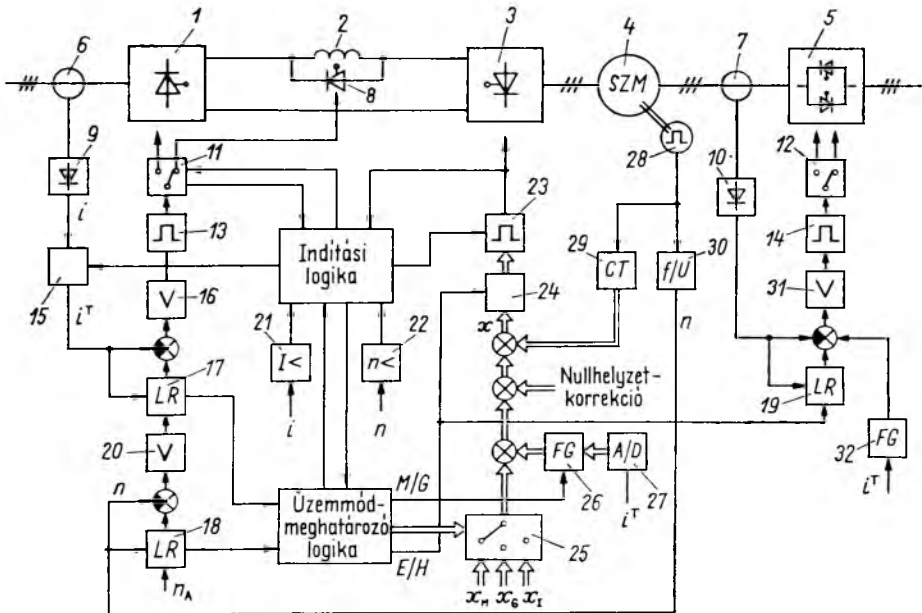
3.2. Az optimális munkapont beállítása

A szinkron motor jó kihasználhatósága érdekében mindig arra kell törekedni, hogy a motor a névleges fluxussal és az elérhető legjobb $\cos \varphi$ -vel üzemeljen. Az elérhető legjobb $\cos \varphi$ -nek az szab határt, hogy az inverter üzemben dolgozó géppoldali áramirányító tirisztoraira a kommutáció befejeződése után egy „kíméleti ideig” záró-



1-2. ábra. Áramirányítók vezérlése négynegyedes üzemben

HA hálózataldali áramirányító; GA géppoldali léptető üzemmód áramirányító;



1-3. ábra. ASZM hajtás szabályozása

n_A fordulatszám-alapjel; n fordulatszám; i áram; $\%M$, $\%C$, $\%I$ gyűjtásszög-alapjel; i^T tartott áram; E/H előre/hátra; M/G motor/generátor; 1 hálózataldali áramirányító; 2 fojtótekerecs; 3 géppoldali áramirányító; 4 szinkron motor; 5 antiduktor; 6, 7 áramváltó; 8 nulltirisztor; 9, 10 egyenirányító; 11, 12 gyűjtésátkapcsoló; 13, 14 háromfázisú gyűjtőegység; 15 tartókövető áramkör; 16 áramszabályozó; 17, 18, 19 logikai reverzalógység; 20 fordulatszám-szabályozó; 21, 22 komparátor; 23 impulzusképző; 24 gyűjtésátkiosztó; 25 gyűjtásszög-alapjeladó; 26 digitális függvénygenerátor; 27 A/D váltó; 28 impulzusadó; 29 számláló; 30 f/U váltó; 31 gerjesztőáram-szabályozó; 32 analog függvénygenerátor

feszültséget kell adni. Más szóval az összegyűjtés megakadályozásához mindig megfelelő invertertartalékot kell biztosítani. A gépdali áramirányítót a forgórész-nullhelyzethez képest egy állandó κ_M szöggel gyűjtjük. A forgórész-nullhelyzet és a kapocsfeszültség közt azonban szintén van egy fáziseltolás, amely az armatúra-visszahatás miatt ráadásul erősen változik. Az egyenáramú motor analógiájával élve ez annak felel meg, hogy terhelés hatására a segédpólus nélküli egyenáramú gép semleges vonala eltolódik. A szikrammentes kommutáció érdekében ilyenkor a kékfeket az üresjárású semleges vonalhoz képest el kell tolni. ÁSZM esetében ezt az eltolást elektronikus úton a κ_M , ill. κ_G gyűjtásszög alapjel módosításával biztosítjuk. A módosítás mértékét a terhelőáram függvényében egy EPROM-ban tárolt függvénykapcsolat határozza meg. Terhelés hatására a kompenzálatlan, segédpólus nélküli egyenáramú motornak nemcsak a semleges zónája tolódik el, hanem változik a gépben a fluxus nagysága is. Ugyanez történik az ÁSZM-nél is. Méréseink és számításaink szerint a légrésfluxust jó közelítéssel állandó értéken tudjuk tartani, ha terheléskor a gerjesztőáramot a terhelőárammal együtt növeljük. A növelés mértékét diódás analóg függvénygenerátor határozza meg.

3.3. Indítás megvalósítása

Mint említettük, indításkor a gépdali áramirányító kommutációja árammentes állapotban történik. Az áramszünet nyomatékcsökkenést okoz, ezért arra kell törekedni, hogy minél rövidebb ideig tartson. Az áram megszűnését a közbenső egyenáramú köri fojtótekercs rövidrezárásával gyorsítjuk. A rövidrezárást nulltirisztor végzi.

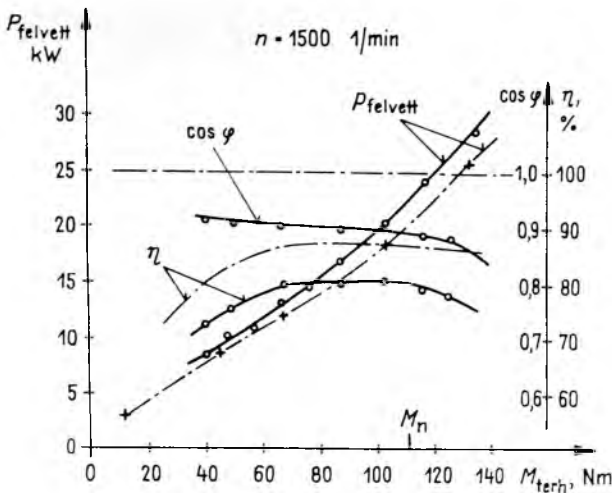
A kommutáció lezajlása után az áramot vissza kell állítani a kommutáció előtti értékre, és biztosítani kell, hogy a nulltirisztor kialakuljon. Az általunk kifejlesztett megoldásnál a teljes kommutáció az üzembiztosan elérhető legrövidebb idő alatt – a hálózati áramirányító egy üteme alatt – zajlik le. Az indítási üzemmód körülbelül a névleges fordulatszám 10%-áig tart, és ebben a tartományban az indítási logika vezérli a kommutációk lefolyását.

Ahhoz, hogy induláskor az áram egyáltalán kialakuljon, biztosítani kell, hogy a hálózatoldali áramirányító gyűjtásakor a gépdali áramirányító megfelelő tirisztorai is gyűjtőimpulzust kapjanak. A gyűjtőimpulzus megismétlését nulla áram esetén szintén az indítási logika vezérli.

Mivel a kommutáció árammentes állapotban történik, így értelemszerűen nincs szükség invertertartalékra. Így indítási üzemmódban szabadon beállítható a κ gyűjtásszög, és megfelelő megválasztással biztosítható, hogy a gép fluxus- és áramvektora merőleges legyen egymásra, és így adott gerjesztés esetén a maximális nyomatékot szolgáltatssa a motor. A mérések szerint ily módon az áramszünetek ellenére is nagyobb indítónyomaték érhető el, mint utána, a gép feszültségről kommutáló normális üzemmódban.

4. Mérések

A méréseket egy 20 kVA-es csúszógyűrűs gerjesztésű szinkron géppel végeztük. A szabályozás felépítése megegyezett az 1-3. ábrán láthatóval, csak a gerjesztőkört antiduktor helyett – értelemszerűen – vezérelhető egyenirányítóval tápláltuk. Az 1-4. ábrán ábrázoltuk a mért teljesítményt, a hatásfokot és a szinkrongép $\cos \varphi$ -jét a terhelés függvényében. Látható, hogy ez a szabályozás 0,86...0,92 közötti $\cos \varphi$ -t biztosít. A hajtás hatásfoka ennek megfelelően jónak mondható, 0,75 és 0,82 közötti.

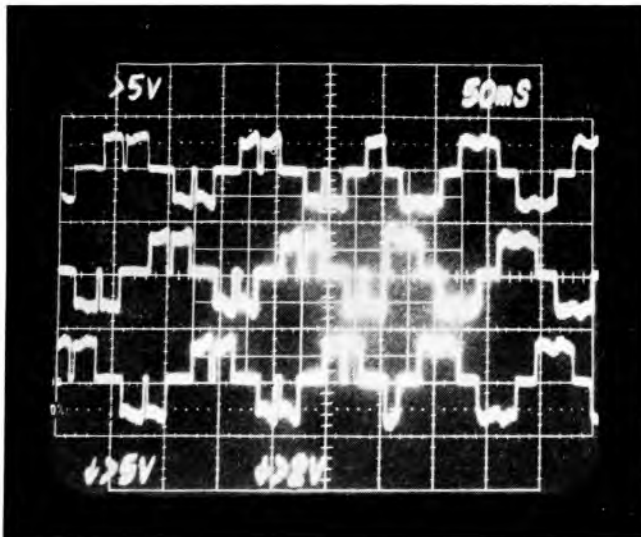


1-4. ábra. A kísérleti ASZM hajtás felvett teljesítménye, hatásfoka és a szinkron motor $\cos \varphi$ -je a terhelés függvényében
 — ASZM; - - - szinuszos táplálás

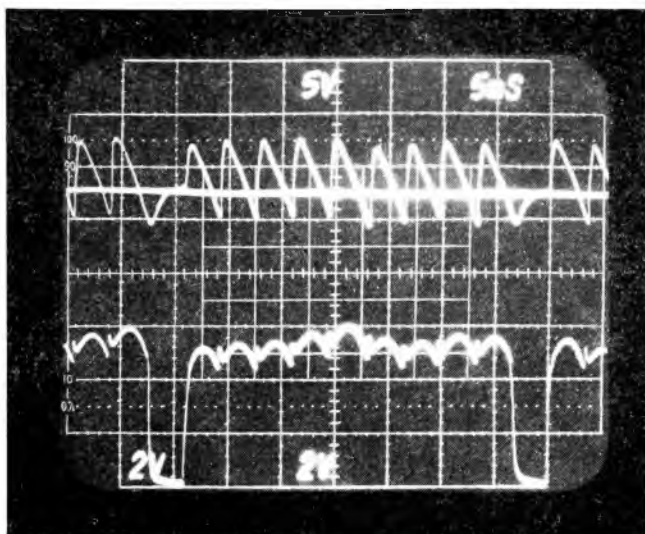
Összehasonlításképpen szaggatott vonallal feltüntetjük a hálózatról szinuszos feszültséggel táplált szinkron motor jelleggörbéit is. Az áramirányítóról történő táplálás 5...10% hatásfokcsökkenést okoz. A hajtás eredő hatásfoka azonban jobb, mint az inverterről táplált aszinkron motoros hajtásé.

Az 1-5. ábrán különböző üzemmódokban a fordulatszám, az áram és a feszültség időfüggvényei láthatók (1. a 14. és 15. oldalt).

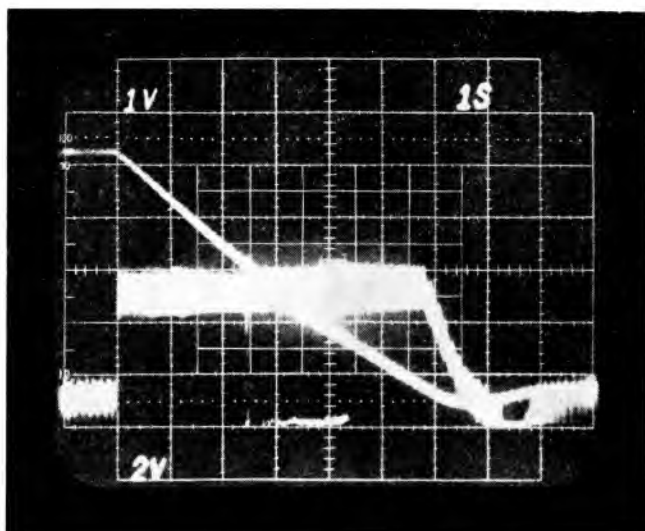
1-5. ábra.



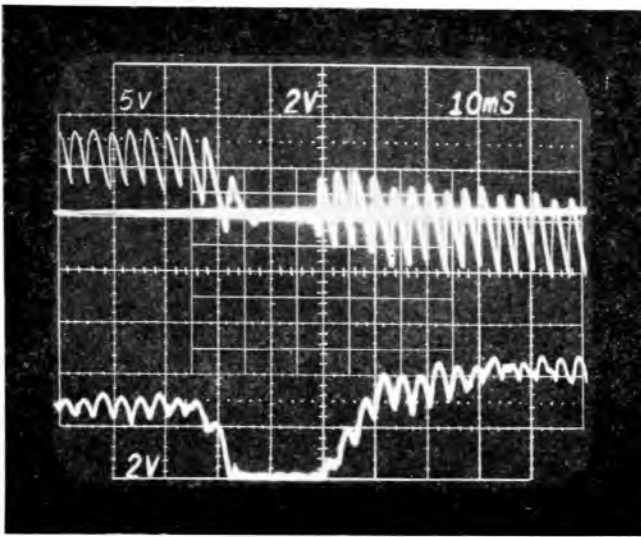
Indítási/motoros üzemmódtás



Indítósos üzemmód



Reverzálás



Motoros/generátoros
üzem váltás

1-5. ábra. Az ASZM hajtás különböző üzemmódban

n motorfordulatszám 187,5 (min) osztás;
 i_d közbenső körű egyenáram 20,6 A/osztás;
 u_d közbenső körű egyenfeszültség 300 V/osztás;
 i_d közbenső körű egyenáram 30 A/osztás;
 u_d közbenső körű egyenfeszültség 300 V/osztás;
 i_d közbenső körű egyenáram 20,6 A/osztás;
 i_R, i_K, i_T a szinkron motor vécáli árama 60 A/osztás

Irodalom

- [1] Kerkmann, R. I. stb.: An inquiry into adjustable speed operation of a pumped hydro plant. Part I. Machine design and performance. Part II. System Analysis. IEEE Trans **99** (80) 5. p. 1828...1844.
- [2] Eckert, J.: 30 MW blast furnace blower drive with two pole synchronous motor and static starting converter. Siemens Power Engineering **1** (79. jan.) 1. p. 11...15.
- [3] Peneder, F.—Lubasch, R.: Statische Hochlaufeinrichtungen für Pumpspeicherwerke, Phasenschieber und Gasturbogruppen. Brown-B. Mitt. **61** (74) 9/10. p. 440—447.
- [4] Högberg, K.-E.: Frequency converters for starting the motor/generators for Foyers Pumped Storage Power Station. ASEA-J. **49** (76) 3. p. 51...56.
- [5] Saupe, R.—Wandt, D.: Der Frequenzanlauf von Generatoren in Gasturbinenkraftwerken über moderne Thyristorumrichter, Techn. Mitt. AEG-Tel. **69** (79) 5/6. p. 216...219.
- [6] Peneder, F.—Suchanek, V.: Normierte Anfahrereinrichtungen. Brown B. Mitt. **65** (78) 9. p. 607...613.
- [7] Kolb, O.—Peneder, F.—Suchanek, V.: Statische Anfahrereinrichtungen für Gasturbogruppen. Brown B. Mitt. **66** (79) 2. p. 104...112.
- [8] Saupe, R.—Wendt, D.: Der Frequenzanlauf von Generatoren in Gasturbinenkraftwerken über moderne Thyristorumrichter, Techn. Mitt. AEG-Telefunken **69** (1979) 5/6. pp. 216...219.

- [9] *SIMOTRON—Antriebe Katalog M54*: Juli 1976. (Gyártmányismertető Siemens).
- [10] Speed Control for Synchronous Motors 300 to 30 000 kW. Publication No:M180 1977 (Gyártmányismertető GEC).
- [11] *Schmidt I.*: Változtatható frekvenciával táplált szinkronmotoros hajtás. *Elektrotechnika* 64. évf. 1971. 4–5 sz., p. 123...134.

2. Tirisztoros frekvenciaátalakítós hajtássorozat fejlesztése az EVIG részére

BENCZE JÁNOS – LÁSZLÓ JÁNOS – NATTÁN PÉTER

ÖSSZEFOGLALÁS

Számos egyedi célú, frekvenciaátalakítós hajtás megvalósításának tapasztalatai alapján, 2,2 kW-tól 55 kW teljesítménytartományban, sorozatban előállítható frekvenciaátalakítós hajtássorozat fejlesztésére kötöttünk szerződést az EVIG-gel. A cikk ismerteti a szóban forgó frekvenciaátalakítókkal szemben támasztott követelményeket, és annak alapján a frekvenciaátalakítók kialakításának szempontjait. Bemutat néhány érdekesebb áramköri elrendezést, kitér azok méretezési elveire, végül részletes mérési eredményeket közöl.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СЕРИЙНОГО РЯДА ТИРИСТОРНОГО ПРИВОДА С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ФИРМЫ ЭВИГ

Я. Бенце—Я. Ласло—П. Наттан

Резюме

На основе накопленных опытов реализации многочисленных уникальных приводов с преобразователем частоты заключен контракт с фирмой ЭВИГ с целью разработки серийного ряда привода с преобразователем частоты. В статье излагаются требования указанных преобразователей частоты и на этой основе — соображения по их оформлению. Описываются несколько интересных схем, занимаются с принципами их расчета, и наконец, сообщаются детальные измерительные результаты.

ENTWICKLUNG EINER BAUREIHE VON ANTRIEBSREGELUNGEN MIT THYRISTOR-FREQUENZUMRICHTERN FÜR DIE FIRMA EVIG

J. BENCZE – J. LÁSZLÓ – P. NATTÁN

Zusammenfassung

Auf Grund der Realisierungserfahrungen von zahlreichen Spezialantrieben mit Frequenzumrichter im Leistungsbereich von 2,2 kW bis 55 kW wurde mit der Firma EVIG ein Vertrag zur Entwicklung einer in Serien produzierbaren Baureihe von Antriebsregelungen mit Frequenzumrichter abgeschlossen. In dem Artikel werden die gegenüber den besprochenen Frequenzumrichtern gestellten Anforderungen, und auf Grund dieser Anforderungen die Gestaltungsaspekte für die Frequenzumrichter behandelt. Es werden einige interessante Schaltungsanordnungen gezeigt und deren Dimensionierungsprinzipien behandelt. Schliesslich werden detaillierte Messergebnisse bekanntgegeben.

DEVELOPMENT OF A SERIES OF FREQUENCY CONVERTER INDUCTION MOTOR DRIVES FOR EVIG

BY J. BENCZE – J. LÁSZLÓ – P. NATTÁN

Summary

Based on experiences gained in conjunction with earlier development of a number of individual drives with frequency converter, a contract has been signed with EVIG on the development of a series of frequency converter drives, for the power range of 2,2 kW to 55 kW, for standard induction motors.

The paper describes the requirements about the frequency converters, and deals with the consideration of the design of the drives. Some noteworthy circuit arrangements are presented, together with the principles of planning; finally, detailed measurement results are given.

1. Bevezetés

A tirisztoros frekvenciaátalakítós aszinkron motoros hajtások fejlesztése nem új dolog. A nemzetközi szakirodalom már a 60-as évek közepén-végén, amikor már korszerűnek mondható irányítástechnikai és félvezetőeszközök rendelkezésre álltak, számot adott jelentős kutatás-fejlesztési munkákról, sőt elsősorban az Egyesült Államokból már sorozatban gyártott termékekről.

Hazánkban a 60-as évek végén indult elméleti jellegű kutatás ezen a tématerületen, de a 70-es évek legelején az MTA-SZTAKI-ban és intézetünkben is az első működő laboratóriumi példányok már megtalálhatók voltak.

Azóta nagy utat jártunk be [1] [2] [3] [4]. Számos, az intézetben előállított hajtás üzemel az országban és külföldön egyaránt a technológiai követelményeknek megfelelő egyszerű, ill. bonyolult kivitelben. Ezek között található négyszöghullám kimenetű és szinuszos impulzusszélesség-modulált frekvenciaátalakító is, amelyek szabályozása diszkrét elemekből vagy mikroprocesszor segítségével épült fel.

E berendezések kutatási, fejlesztési és tervezési tapasztalataira építve kezdtük el az EVIG megbízása alapján a 2,2...55 kW teljesítménytartományban, a sorozatban előállított aszinkron motorok táplálására alkalmas frekvenciaátalakítók fejlesztését.

2. A sorozat főbb adatai

A bevezetőben említett teljesítménytartományt öttagú sorozattal valósítjuk meg, nevezetesen: 2,2 kW; 7,5 kW; 18,5 kW; 37 kW; és 55 kW teljesítményű aszinkron motorok táplálására szolgáló, feszültséggenerátor jellegű frekvenciaátalakítókkal.

Az egyes hajtások alapvető paramétereit a 2-1. táblázat foglalja össze. A táblázat kiegészítésére többek között meg kell említeni, hogy

- a sor tagjainak számát és teljesítményét az EVIG motorsorának megfelelően műszaki, gazdasági optimum alapján határoztuk meg;
- a névleges áram egyszerű eszközökkel korlátozható, így az adott típusnagyságú átalakítóhoz kisebb teljesítményű motor is alkalmazható;
- az átalakító alkalmas több motor együttes táplálására is az adott teljesítményhatáron belül.

A fejlesztési célkitűzés szerint a frekvenciaátalakító a sorozatgyártású közönséges aszinkron motorok táplálására szolgál. Ez a tény önmagában rendkívül leegyszerűsíti a motor kiválasztását. Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni, hogy a

2-1. táblázat

FVH típusú frekvenciaátalakítók alapvető paraméterei

Adatok	Típusok				
	FVH 2,2	FVH 7,5	FVH 18,5	FVH 37	FVH 55
Teljesítmény (motor tengelyén), kW	2,2	7,5	18,5	37	55
Tápfeszültség, V	3×380 V –10% 50 Hz vagy 3×415 V±10% 60 Hz –15%				
Névleges terhelő- áram, A	3×5	3×17	3×37	3×69	3×105
Hálózati áram, A	3×6,8	3×21	3×46	3×83	3×125
Névleges kapocs- feszültség, V	3×380 V; 50 Hz vagy 3×380 V; 100 Hz				
Túlterhelhe- tőség	1,5×I _n max 30 s-ig				
Szabályozási tartomány	5...50 Hz vagy 10...100 Hz				
Statikus pontosság	±2%				
Kimeneti feszültség hullám- alakja	négyyszög				
Üzem mód	kétirányú motoros üzem				
Méret, mm	550×300× ×680	550×300× ×760	620×350× ×760	600×1200× ×2200	600×1200× ×2200
Tömeg, kg	52	60	85	360	420

frekvenciaátalakító kimeneti feszültsége nem szinuszos, a felharmonikusok többletvesztéséget okoznak a motorban, ill. a motor saját hűtése a névleges fordulatszámra van méretezve, így a kisebb fordulatszámokon járulékos hűtés nélkül nem terhelhető a névleges nyomatékkal. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy négyszög hullámú kimenet esetén a motor $0,5 n_n$ és n_n közötti fordulatszám-tartományban 90% névleges nyomatékkal terhelhető. A terhelőnyomaték $0,5 n_n$ fordulatszámig a fordulatszámmal egyenes arányban növelhető.

Szabályozástechnikai szempontból a rendszernek áram- és feszültségszabályozása van, áram- és szlipkompenzációval kiegészítve. Korlátozva van a frekvencia legkisebb és legnagyobb értéke is. A fordulatszám-tartás pontossága a névleges fordulatszámra vonatkoztatva jobb, mint $\pm 2\%$. Általános követelmény — mint minden hasonló rendszernél — a rövid idejű (max 30 s-os) 50%-kal való túlterhelhetőség.

Az előbbieken rögzített teljesítménysoron belül kétfajta kivitel készül. A sor első három tagja az egyszerűbb kompakt kivitel biztosítása érdekében egy tokba épített teljesítmény-félvezető elemekből épül fel, míg a sor két utolsó, nagyobb teljesítményű tagja a hagyományos konstrukciós elveknek megfelelően diszkrét elemekből készül. A továbbiakban a kompakt kivitelű átalakítók kialakításával kapcsolatos munkát ismertetjük, és részletesen szólnunk a 7,5 kW-os hajtás paramétereiről, mert e cikk megírásáig ez a példány készült el.

Ez a teljesítménytartomány az, amelyben a legnagyobb gyártási darabszám várható, amely már „tömegigényt” kell hogy kielégítsen. Ebből a megfontolásból kiindulva alapvető követelmény volt olyan áramköri elrendezés és konstrukció kialakítása (a kettő egymással szoros kölcsönhatásban van), amely egyszerű, és olcsón, minimális geometriai méretekkel gyártható. Ennek alapján döntöttünk úgy — tekintettel arra, hogy viszonylag kis teljesítményű átalakítókról van szó —, hogy veszteséges oltóköri elrendezést alkalmazunk, mert ezzel a váltóirányító egyszerűbb lesz, helyet, tömeget és jelentős költséget lehet megtakarítani.

Komoly dilemma elé állította a fejlesztőket annak eldöntése is, hogy a berendezés építőelemei közül mi legyen tőkés, mi szocialista eredetű, és mi legyen hazai alkatrész. Nyilvánvaló, hogy korszerű terméket csak korszerű alkatrészekből lehet előállítani. Miután a szóban forgó frekvenciaátalakítók gyártását az EVIG csak a következő tervidőszakra kívánja felfuttatni, ahhoz, hogy ez a hajtás sor még 5 év múlva is korszerű és eladható legyen, ma az ún. „csúcs” alkatrészek felhasználása mellett kellett döntenünk. Ismervén azonban az importlehetőségeket — biztosítandó a gyártmány életképességét —, bizonyos kompromisszumokra kényszerültünk, ill. olyan elemeket választottunk, amelyek hazai gyártásának bevezetését az ipar a kutatással karöltve a közeli jövőben tervezi. (Tőkés eredetű alkatrészek az erősáramú félvezetők, a tekercselt alkatrészek vasmagjai és az impulzusüzemű kommutáló kondenzátorok. Hazai alkatrészek a közbenső egyenáramú kör szűrőkondenzátorai, a hűtőre szerelhető és egyéb ellenállások, az impulzustranszformátorok, kezelőszerkek stb.).

Mindezeket azért tartottuk szükségesnek előrebocsátani, hogy érzékeltetni tudjuk, milyen óriási különbség előállítani egy adott célú egyedi berendezést — esetünkben frekvenciaátalakítót —, és milyen egyéb megfontolásokat igényel egy sorozatgyártás céljára fejlesztett berendezés, ahol az áramköri elrendezést még a célszerű mechanikai konstrukció is befolyásolja.

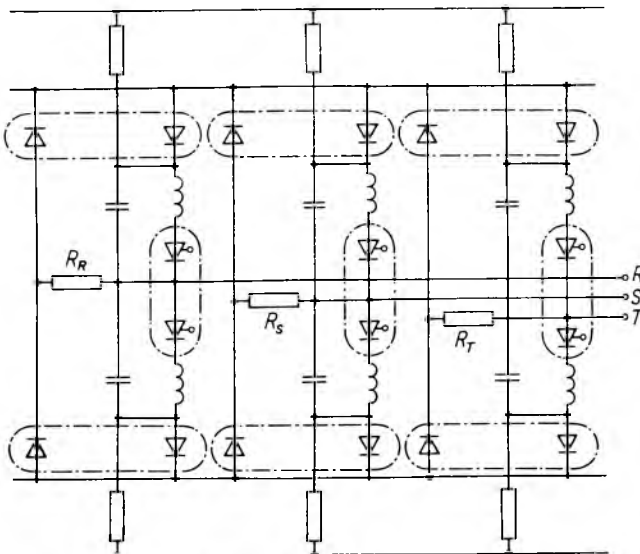
3. A frekvenciaátalakító kialakítása

Egy tokba épített erősáramú félvezetőegységeket (ún. „Power Pack” vagy „Power Modul”) hálózati kommutációjú tirisztorokból és diódákból, ill. ezek kombinációjából már hosszú ideje be lehetett szerzni. 1981 őszén vált lehetővé számunkra, hogy jó minőségű gyorstirisztorokból felépített, egy tokba szerelt erősáramú félvezetőegységeket (PP₁) is beszerezhessük. Ezzel a frekvenciaátalakító összes erősáramú félvezetőeleme integrált elemekből rendelkezésre állt. Ezek felépítése olyan, hogy a hűtőfelületük az elemektől villamosan szigetelt, tehát a különböző elemeket közös hűtőre lehet szerelni. Ezt a megoldást választottuk olyan konstrukciós formában, hogy a közös hűtő a hajtásszekrény hátoldalát képezze.

A váltóirányító kapcsolását úgy kellett megválasztani, hogy az a rendelkezésre álló PP-ből a legegyszerűbben kialakítható legyen. A McMurray–Bedford-kapcsolást választottuk, amelyet szükségszerűen módosítani kellett (2-1. ábra). Az ábrán jelzi az egyes integrált tirisztor-, ill. diódapárokat. A váltóirányító fázis-sorrend-kommutációval működik, kimeneti vonali feszültsége négyzög alakú. Az oltókör állandó egyenfeszültségű hálózatból kapja az energiát, így az oltókör méretezése egyszerűbb, jobban kézben tartható, és kisebb kommutáló kondenzátorokra van szükség.

Az E egyenirányító bemenetére háromfázisú, kétutas, diódás egyenirányító (PP) csatlakozik (l. a 2-2. ábrát), amely szintén a közös hűtőre van szerelve. Ennek feladata kettős. Egyrészt biztosítja a közel állandó feszültséget az oltókör számára, másrészt a hálózati túlfeszültség-védelmet is ellátja úgy, hogy egyenáramú kapcsolaira a már régen bevált módszernek megfelelően méretezett RC kör csatlakozik. (Ezt az ábrán a jobb áttekinthetőség érdekében nem tüntettük fel.)

Mint korábban említettük, a váltóirányító veszteséges oltóköri elrendezéssel készült. Vizsgálatokat és részletes méréseket végeztünk azonban a meddőáram útját biztosító visszavezető diódák körében levő ellenállásokon keletkező veszteségek csökkentésére.



2-1. ábra. Váltóirányító kapcsolása

is korlátozva van. Az *USZ* feszültség szabályozó alapjelét az *MK1* meredekségkorlátozó biztosítja, visszavezetett jelét *UV* feszültségváltó szolgáltatja. Ezzel a módszerrel az *E* áramirányító feszültség szabályozásának alárendelt áramszabályozás valósul meg.

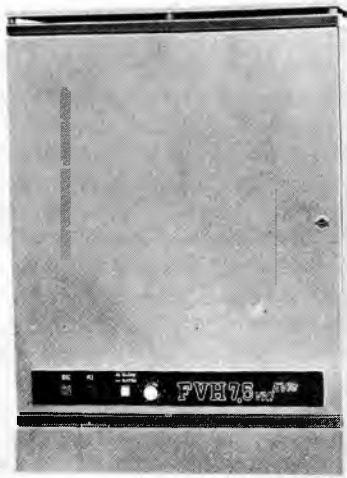
Az *I* váltóirányító gyújtóimpulzusait a *G2* gyújtóegység szolgáltatja, amelyet a *GV* gyújtásvezérlő egység vezérel. A *GV* gyújtásvezérlő egység előállítja a tirisztorok számára szükséges impulzusokat, és a *B* bemenetére adott logikai 0 vagy 1 jellel lehet meghatározni a váltóirányító kimenetén a fázissorrendet, ill. ami ezzel egyenértékű, az aszinkron motor forgásirányát. Az *U/f* feszültség – frekvencia átalakító (feszültségvezérelt oszcillátor) vezérlőjelét a közbenső egyenáramú kör feszültségével arányos jel biztosítja. Az *MK1* meredekségkorlátozó kimeneti feszültsége – amely a feszültség alapjele – korlátozott, így a maximális egyenfeszültség és ezzel egyidejűleg a váltóirányító frekvenciája is korlátozva van. Az *MK1* lefutási meredekségét az *Sz* műveleti erősítő szabályozza oly módon, hogy a motor leállásakor vagy kisebb fordulatszámra történő beállításakor a közbensőköri feszültség és a hozzá rendelt kimeneti frekvencia is csak oly mértékben csökkenjen, amilyen mértékben csökken a motor fordulatszáma a súrlódások, tehetetlenségi nyomatékok és a terhelés függvényében. Ezt a feladatot az *Sz* szabályozó úgy valósítja meg, hogy nem engedi az *I* váltóirányító bemenő egyenáramát egy adott érték alá csökkenni, tehát megakadályozza, hogy a váltóirányító a közbenső egyenáramú körbe visszatápláljon.

Az *MK1* meredekségkorlátozót az *AK* abszolútérték-képző komparátoregység vezérli. Ez az egység a bemenetére adott tetszőleges polaritású jel abszolút értékét képezi a feszültség szabályozás számára, és biztosítja a bemenő jel előjelétől függő logikai 0 vagy 1 szintet a *GV* gyújtásvezérlő számára. Ezzel összerendelt az alapjel polaritása és a forgásirány. Amennyiben forgásirányt akarunk váltani és az alapjel polaritását megváltoztatjuk, az *AK* egység kimenő jele nullára csökken, a motor lassulni fog; ezzel egyidőben az egyenfeszültség és a frekvencia is csökken. Amikor a közbenső kör feszültsége eléri egy meghatározott kis értéket, akkor a *GV* gyújtásvezérlő egység *B* bemenetén megváltozik a forgásiránynak megfelelő logikai szint, és az *AK* egység kimenő jele felveszi a meghatározott értéket, így a motor ellentétes forgásirányba fog gyorsulni. A névleges frekvencia (50 Hz) feletti tartományban az *U/f* átalakító az *AK* egység kimenetéről az *MK2* meredekségkorlátozón és a küszöbfeszültség-képzőn keresztül járulékos jelet kap, így az *U/f* váltó nagyobb frekvenciát fog szolgáltatni. Az *MK1* meredekségkorlátozó kimenő jelének korlátozása biztosítja, hogy a kimeneti vonali feszültség 380 V fölé nem emelkedhet. A küszöbfeszültség beiktatására azért van szükség, hogy az 50 Hz alatti tartományban az *U/f* váltó csak a közbenső egyenáramú körből kaphasson vezérlést. Az *MK2* meredekségkorlátozó feladata, hogy ne engedje a kimeneti frekvencia gyors változását, mert ha a szlip a billenőszlipnél nagyobb, akkor a motor megáll.

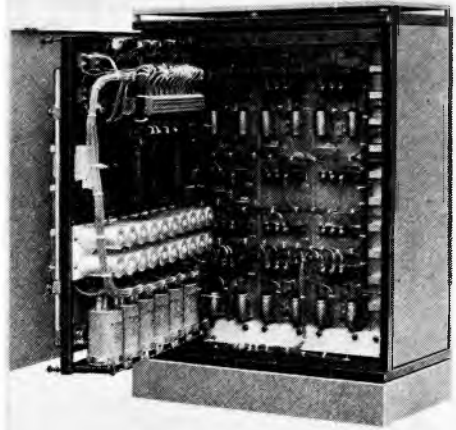
Az előzőekben röviden vázolt szabályozó- és vezérlőrendszer egypanelos kivitelben készült, olyan formában, hogy az mind a három kompakt kivitelű átalakítóhoz (2,2 kW; 7,5 kW; 18,5 kW) egységiesen alkalmazható legyen. A kétoldalas, 450×450 mm méretű nyomtatott áramköri lapon helyezkednek el a hálózati és váltóirányító tirisztorok impulzustranzformátorai is.

5. Mechanikai kialakítás

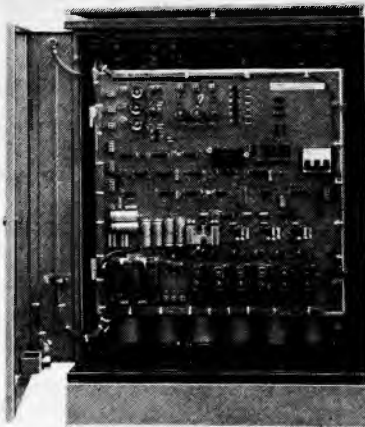
Az egész hajtást, mint azt a 2-3...2-5. ábrák mutatják, egy 550×300×760 mm méretű vaslemez szekrényben helyeztük el. A szekrény hátsó síkjában lemeztakarót követve egy 500×620 mm méretű, egyik oldalán sík felületű alumínium hűtő helyezkedik el, amelyet 4 db 125 mm széles, 620 mm hosszú extrudált alumínium hűtőoszlopból



2-3. ábra. Az FVH 7,5 típusú hajtás szekrényének ajtaja kezelőszervekkel



2-4. ábra. Az FVH 7,5 típusú hajtás főáramköre



2-5. ábra. Az FVH 7,5 típusú hajtás szabályozó – vezérlő elektronikája

állítottunk össze (5300 típusú KÖFÉM hűtő). Egy-egy hűtőoszlopra egy-egy fázis félvezetőelemei vannak szerelve, beleértve az *E* egyenirányító és az *I* váltóirányító erősáramú félvezetőit is. A negyedik oszlopon a viszonylag kis méretű szigetelt, hűtőre szerelt oltóköri ellenállások találhatók.

Az ezt követő második sík nyitható kivitelben készült. Ennek belső oldalán helyezkednek el a kommutációs fojtótekercecsek, a közbenső egyenáramú kör pufferkondenzátorai, valamint az oltókondenzátorok. A második szerelési sík külső oldalára a szabályozópanel került. Tekintettel arra, hogy ez kétoldalas nyomtatású, ez még külön is kihajtható. A kezelőszervek, nevezetesen a *Ki* és *Be* nyomógomb, a forgásirányváltó nyomógomb, valamint a fordulatszám-alapjeladó potenciométer a harmadik szerelési síkon helyezkedik el, a szekrény ajtaján.

Irodalom

- [1] *Bencze János*: A villamos hajtások terén végzett kutatómunka eredménye a VKI-ban, a további fejlődés várható irányai. VKI Közlemények **5.** 1974., 151...159.
- [2] *Bencze János—Bogosi György—László János*: Frekvenciaátalakító fejlesztése aszinkron motoros járműhajtások céljára. VKI Közlemények **6.**, 1977. 17...29.
- [3] *Bencze János—dr. Török István*: Áramforrás inverterről táplált aszinkron motoros hajtás üzemi viszonyai és fordulatszám-szabályozása. VKI Közlemények **7.**, 1979. 13...25.
- [4] *Bencze János—Bogosi György—László János—Sebestyén László*: Frekvenciaátalakító hajtások fejlesztése. VKI Közlemények **8.**, 1982. 7...19.

3. Tranzisztoros inverter aszinkron motorok táplálására

BOGOSI GYÖRGY – NAGY PÉTER – WEINER GYÖRGY

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben a VILATI–VKI szerződés keretében fejlesztés alatt álló tranzisztoros inverter sor teljesítmény- és szabályozókörének felépítését ismertetjük.

A diódás egyenirányítással nyert állandó egyenfeszültségből kétpontszabályozással szinusz alakú fluxust állítunk elő. Ez egyúttal a változtatható frekvenciájú és amplitúdójú háromfázisú feszültséget is biztosítja. Ismertetjük egy elkészült hajtás mérési eredményeit.

ТРАНЗИСТОРНЫЙ ИНВЕРТОР ДЛЯ ПИТАНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Д. Богоши—П. Надь—Д. Веинер

Резюме

В статье излагаются построения силового контура и блока регулирования транзисторного серийного ряда инвертора, разработка которого проводится в ВКИ по контракту с ВИЛАТИ.

Синусоидальное магнитное поле вырабатывается с помощью двухточечного регулирования, используя постоянное напряжение, полученное диодным выпрямлением. Это решение одновременно обеспечит трехфазное напряжение с регулируемыми частотой и амплитудой. Излагаются результаты измерения одного изготовленного привода.

TRANSISTORUMRICHTER ZUR SPEISUNG VON ASYNCHRONMOTOREN

GY. BOGOSI – P. NAGY – GY. WEINER

Zusammenfassung

In dem Artikel wird der Aufbau des Leistungs- und Regelkreises derjenigen Baureihe von Transistorwechselrichtern beschrieben, die im Rahmen des Vertrages zwischen den Firmen VILATI und VKI entwickelt werden.

Aus der durch Diodengleichrichtung gewonnenen konstanten Gleichspannung wird durch Zweipunktregelung ein sinusförmiges Erregerfeld erzeugt. Dadurch wird gleichzeitig auch die Dreiphasen-Spannung mit variabler Frequenz und Amplitude erzeugt. Es werden schliesslich die Messergebnisse eines fertiggestellten Antriebes bekanntgegeben.

TRANSISTOR INVERTER FOR INDUCTION MOTORS

BY GY. BOGOSI – P. NAGY – GY. WEINER

Summary

The paper describes the design features of the power circuits and regulation loops of a series of transistor inverters being developed within the scope of a contract between VILATI and VKI.

The test results obtained with a complete drive are described. The DC link is supplied by a diode bridge. The two-point controller provides for the sinusoidal flux, and the variable output frequency and voltage of the three-phase inverter.

1. Bevezetés

Intézetünk 2. főosztályán a VILATI megbízásából tranzisztoros frekvenciaátalakító sor kifejlesztésén dolgozunk. A sor öt tagból áll, és alkalmas lesz 0,75...11 kW teljesítményű, háromfázisú aszinkron motorok fordulatszámának szabályozására. A főbb adatokat a 3-1. táblázatban foglaltuk össze.

A tranzisztoros hajtások készítését a teljesítménytranzisztoroknak az utóbbi időben végbemenő nagy fejlődése teszi lehetővé. A tranzisztoros váltóirányítóban

3-1. táblázat

Invertertípus	TFA-1,2	TFA-2,2	TFA-4	TFA-7,2	TFA-14
Teljesítmény, kVA	1,2	2,2	4	7,2	14
<i>Motor</i>					
Teljesítmény, kW	0,75	1,5	3	5,5	11
Áram, A	3,3	6,6	11,8	20,8	38
Kapocsfeszültség, V	3 ~ 50 Hz 220 Δ				
Tápfeszültség, V	220 1 ~ 50 Hz			380 3 ~ 50 Hz	
Kimeneti feszültség, V	0...210 3 ~ 2,5 Hz ... 50 Hz, szinuszos 230 3 – 50 Hz ... 100 Hz, négyzög alakú				
Kimeneti frekvencia, Hz	2,5 ... 100				
Túlterhelhetőség	1,5 × I _{név} 30 s-ig				
Fordulatszám-tartás pontossága	± 2%				
Üzem mód	kétirányú motoros üzem				

a tirisztorossal szemben nincs szükség oltókörökre (oltótirisztorokra, kommutáló-kondenzátorokra és -fojtókra), így hatásfokuk is jobb, azonkívül nagyobb modulációs frekvenciát lehet megvalósítani, ezzel nagyobb lehet a szinuszos moduláció tartománya. Hátrányként lehet említeni a bonyolultabb meghajtóáramkört, a be- és ki-capcsolási veszteségek csökkentését célzó többlet áramköri elemek (*RCD* tag, soros fojtó), valamint gyorsdiódák és elektronikus tranzisztorvédelem alkalmazásának szükségességét. A cikk megírásának időpontjáig a frekvenciaátalakító sor legkisebb teljesítményű tagja készült el, a továbbiakban ennek ismertetésére szorítkozunk. A sor többi tagjánál a szabályozókör ugyanaz lesz, csupán az erősáramú kör fog változni.

2. A frekvenciaátalakító felépítése

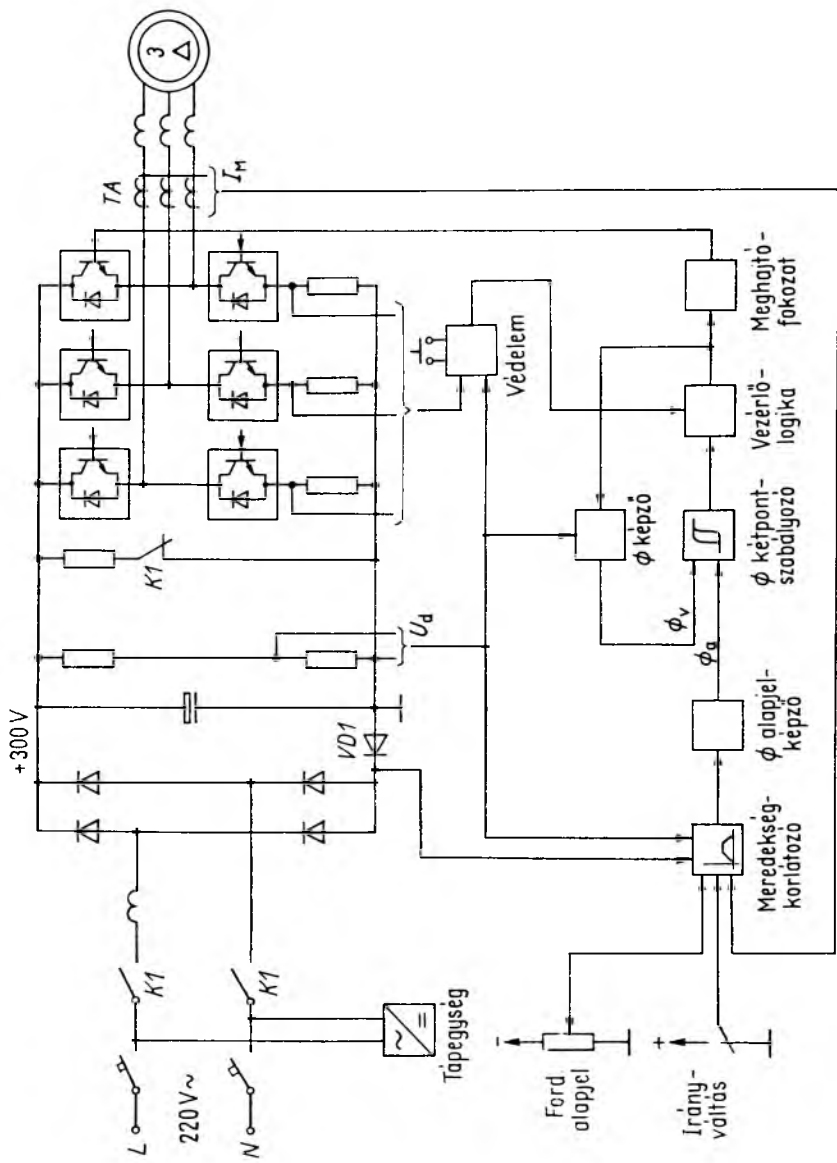
A hajtás blokkvázlatát a 3-1. ábra mutatja. Az alkalmazott tranzisztor $U_{CEO} = 450$ V feszültsége miatt egyfázisú, 220 V-os hálózati táplálást választottunk. A kimeneti feszültség ekkor max 3×220 V lehet, így a normál 380 V-os λ kapcsolású motorokat Δ -ba kell kötni.

A közbenső köri egyenfeszültséget egyfázisú, hídkapcsolású diódás egyenirányító állítja elő, ezért a hálózati $\cos \varphi \approx 1$. A közbenső köri energiatároló kondenzátortelep hatására az egyenfeszültség $U_d = 300$ V állandónak tekinthető. A 300 V-os egyenfeszültségből váltóirányító állítja elő a motor számára a változtatható nagyságú és frekvenciájú szimmetrikus, háromfázisú feszültséget. A háromfázisú, hídkapcsolású váltóirányítót hat teljesítménytranzisztor alkotja. A 3-2. ábra szerint minden tranzisztorhoz tartozik nulladióda (*VD1*), soros fojtó (*LI*), a fojtóval ellenpárhuzamos dióda (*VD2*) és ellenállás (*RI*). A maximális modulációs frekvencia 1,8 kHz, a tényleges frekvencia a szinuszos moduláció miatt ennél jóval kisebb, ezért a tranzisztorok kapcsolási veszteségeinek csökkentésére külön intézkedést nem teszünk. A soros *LI* fojtó ugyan csökkenti a bekapcsolási veszteséget, de fő feladata az esetleges hibaáram meredekségét csökkenteni valamint a nulldióda t_{rr} záraskésési ideje alatt a tápfeszültséget magára venni. Ahhoz, hogy a t_{rr} kis értékű legyen, gyorsdiódát kell alkalmazni.

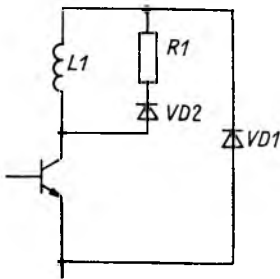
3. Szabályozókör

Az invertertranzisztorok vezérlőjeleit fluxus-kétpontszabályozó adja. A fluxusszabályozás gondoskodik arról, hogy a motor fluxusa a 2,5...50 Hz tartományban állandó és szinuszos legyen. Ez állandó nyomatékot és kis fordulaton is lüktető nyomatékmentes üzemet tesz lehetővé. 50 Hz felett a közbenső kör U_d feszültsége már nem elegendő ahhoz, hogy a szabályozó tartsa az állandó fluxust. A frekvencia növelésével folyamatosan csökken a moduláló frekvencia, majd mikor a fluxus tartósan az alapjel értéke alatt marad, megszűnik a moduláció, a motor állandó értékű négyyszögfeszültséget kap, mezőgyengítés jön létre. Ebben a tartományban a fluxus és így állandó áram mellett a nyomaték is fordított arányban csökken a fordulatszámmal.

A fluxusszabályozáshoz elő kell állítani a Φ_a és Φ_v fluxus alap- és visszavezetett jeleket (mindkettő háromfázisú mennyiség). A fluxusalapjel-képző U/f váltóból, 240-es számlálóból, háromfázisú digitális szinuszgenerátorból és D/A váltóból áll. A bemenő jel a meredekségkorlátozó analóg kimenő jele. A meredekségkorlátozóban a fordulatszám-alapjel fel- és lefutási meredekségét lehet a hajtás gyorsítási és lassítási tulajdonságához illeszteni. A meredekségkorlátozó végzi az áramkorlátozást is, valamint itt történik az irányváltó kapcsoló jelének feldolgozása és a szlipkompenzálás



3-1. ábra. A hajtás blokkvázlata



3-2. ábra. A teljesítménytranszisztor LRD védőkapcsolása

is. A $0 \dots +10 \text{ V}$ között változó analóg frekvencia-alapjelből az U/f váltó 25 Hz...24 kHz frekvenciájú impulzussorozatot állít elő, a 240-es számláló ebből képezi bináris formában a szinuszfüggvény argumentumát $1,5^\circ$ -os lépésekben (a 360° -nak 240-es bináris szám felel meg a számláló kimenetén). A digitális elven működő szinuszfüggvényképző két EPROM-ot és D/A váltót tartalmaz. Az EPROM-ok a szinuszfüggvény értékét adják meg 8 bites pontossággal. Mindegyik EPROM-ban két szinuszfüggvény van tárolva, egymáshoz képest 120° -kal eltolva, így egyúttal a pozitív, ill. negatív fázisrend is kijelölhető. A két EPROM kimenetén egymáshoz képest 120° -kal eltoltszuszértékek jelennek meg bináris kódban, a D/A váltó ebből állítja elő az R és T fázis analóg Φ_{aR} és Φ_{aT} fluxus alapjeleit. A harmadik fázist a $\Phi_{aR} + \Phi_{aS} + \Phi_{aT} = 0$ összefüggés alapján műveleti erősítővel képezzük.

A Φ_a amplitúdóját a D/A váltó referenciafeszültségének változtatásával a névleges fluxusnak megfelelő értékre lehet állítani.

A Φ_v képző a közbenső egyenköri feszültségből állítja elő a motor fluxusát. A teljesítménytranszisztorokkal szinkron működő analóg kapcsolók segítségével kis feszültségen képezzük a motorra jutó feszültséget, és ennek integrálásával a fluxust. Ily módon nincs szükségünk jó frekvenciaátvitelű, potenciálleválasztó feszültségváltókra. IR kompenzálást a közbensőköri feszültséggel arányos jel módosításával lehet elérni.

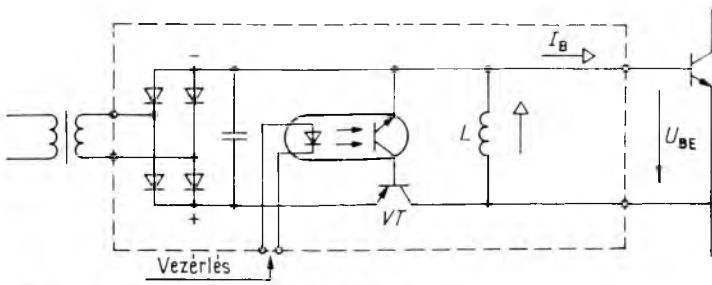
A fluxus-képző két pontszabályozó fázisonként egy-egy komparátor. Ez hasonlítja össze a Φ_a alapjelet a fluxusképző által előállított Φ_v jellel, és ennek függvényében kapcsolja a vezérlőlogika bemeneteit. A komparátorok hiszterézise határozza meg a moduláló frekvencia maximális értékét (1800 Hz).

A vezérlőlogika a meghajtófokozatokon keresztül vezérli az invertertranszisztorokat. A vezérlőlogika gondoskodik arról, hogy az azonos ágban levő két tranzisztor vezetése közt megfelelő szünetidő legyen.

A motor áramát a TA áramváltó méri. A megengedett legnagyobb érték elérésekor a meredekségkorlátozó úgy változtatja meg az alapjelet, hogy az áram ne növekedjen tovább. Generátoros üzem kialakulását a $VD1$ diódán levő feszültség irányából határozzuk meg. Ilyenkor a meredekségkorlátozó úgy változtatja az alapjelet, hogy a generátoros üzemmód megszűnjön.

4. Meghajtófokozat

Minden invertertranszisztorhoz tartozik egy meghajtófokozat. Sematikus kapcsolását a 3-3. ábra mutatja. A tápfeszültséget transzformátorról, a vezérlést optocsatolón keresztül kapják. Ha a VT tranzisztoros kapcsoló be van kapcsolva, akkor az inver-



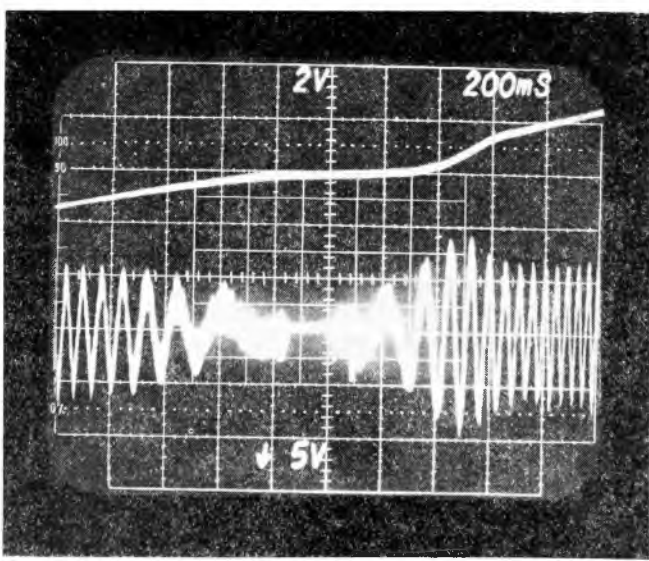
3-3. ábra. Tranzisztormeghajtó áramkör

tertranszisztor U_{BE} feszültsége negatív, tehát a tranzisztor kikapcsolt állapotú. Az L fojtón az ábrán látható irányú áram folyik. A vezérlőparancsra VT kikapcsol, az L fojtó árama pedig $+I_B$ -ként bekapcsolja az invertertranszisztor.

5. Védelem

- Az elektronikus védelem letiltja az inverter működését, ha
- a tranzisztorokon az áram túllép egy beállított értéket;
 - a közbenső köri feszültség $U_d > 360$ V;
 - a KI mágneskapcsoló kikapcsolt állapotú;
 - az elektronika-tápfeszültségek hiányzanak.

A védelemhez az áramérzékelés a tranzisztorokkal sorbakötött söntökön történik.



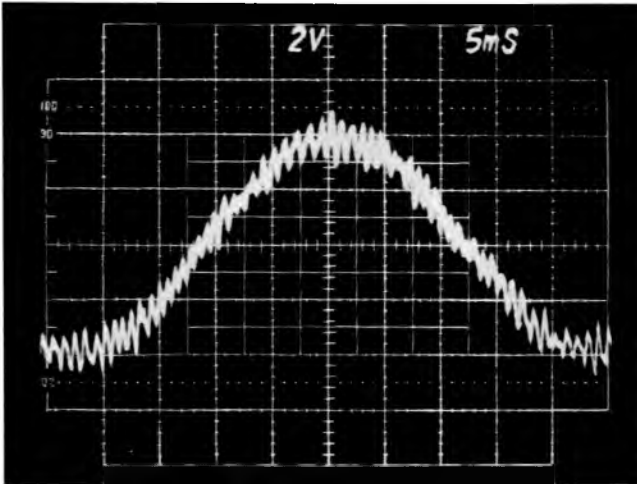
3-4. ábra. Reverzálás

6. Oszcillogram-felvételek

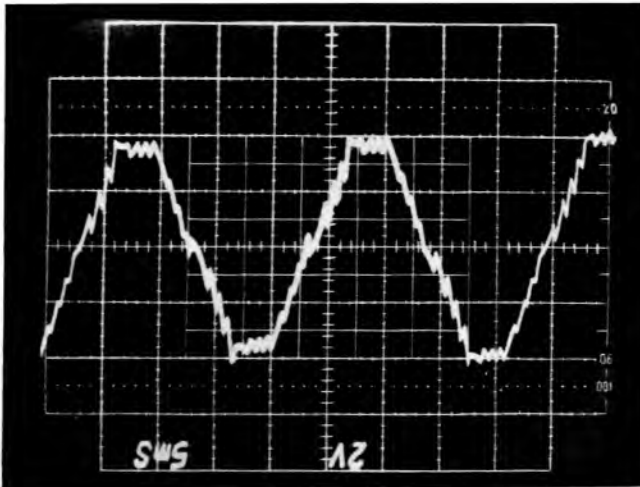
Végezetül bemutatunk néhány oszcillogramfelvételt a hajtás jellemző mennyiségeiről. A 3-4. ábrán az irányváltást szemléltetjük. A felső jel a fordulatszám, az alsó pedig a motor vonali árama.

A 3-5....3-7. ábrákon a motor vonali árama látható ($I_{\text{motor}} = I_{\text{névt}} = 3,3 \text{ A}$) $f_1 = 17, 50$ és 100 Hz állórész-frekvencia mellett.

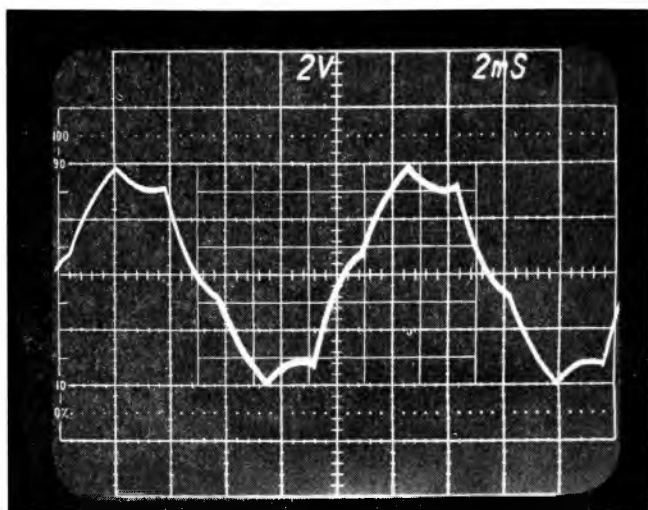
A 3-8. ábrán a motor fluxusa látható $f_1 = 50 \text{ Hz}$ állórész-frekvencia és névleges terhelés mellett. A fluxust a BME Villamosgépek Tanszéke által készített nyomaték-mérő készülékkel mértük [3].



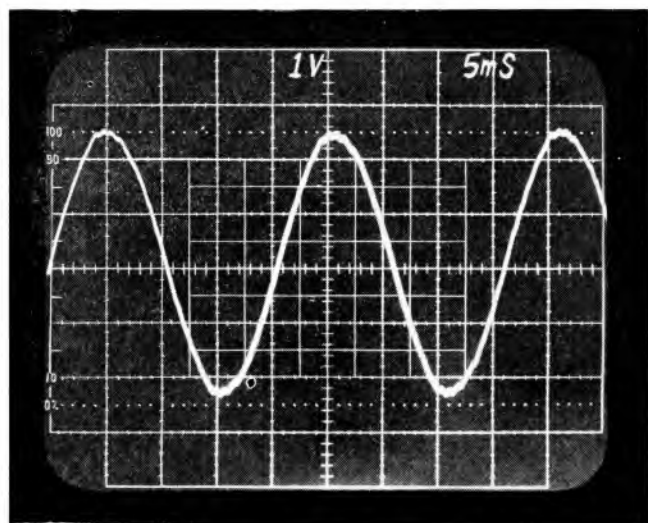
3-5. ábra. Motoráram 17 Hz-en



3-6. ábra. Motoráram 50 Hz-en



3-7. ábra. Motoráram 100 Hz-en



3-8. ábra. Motorfluxus 50 Hz-en

Irodalom

- [1] THOMSON-CSF: Handbuch Schalttransistoren. Bereich Halbleiter. 1979 München.
- [2] Jenschur, H.—Niesel, N.: MINIVERTER — ein Pulsumrichter-System mit Leistungstransistoren. Technische Mitteilungen AEG-TELEFUNKEN 69 (1979) 5/6, 197...201.
- [3] Rác I.—Csörgöts F.—Halász, S.—Hunyár M.—Schmidt I.: Nyomatékmérő készülék váltakozóáramú gépek nyomatékának mérésére. Elektrotechnika, 1973. 6. 223...226.

4. Tirisztoros frekvenciaátalakító hajtások mikroprocesszoros irányítása

SEBESTYÉN LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

Az előző években több tirisztoros, frekvenciaátalakító, aszinkron motoros hajtást terveztünk és helyeztünk üzembe.

A hajtások irányítását mikroszámítógép végzi. A cikk első része ismerteti a frekvencia-váltós hajtással és a vezérlőrendszerrel szemben támasztott igényeket. A második rész bemutatja az irányítóegység felépítését és a célorientált kártyarendszert. Részletesen kitér a digitális szabályozóhurkok, valamint az impulzusszélesség-moduláció megvalósításának ismertetésére.

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТИРИСТОРНЫМИ ПРИВОДАМИ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

Л. Шебештен

Резюме

В последние годы спроектированы и налажены много тиристорных приводов асинхронных двигателей с преобразователем частоты.

Управление приводами обеспечивается микро-ЦВМ. В первой части статьи излагаются требования привода с преобразователем частоты и системы управления. Во второй части показаны построение блока управления и целенаправленная система печатных карт. Детально описываются решения цифровых управляющих контуров и ШИМ.

MIKROPROZESSOR-STEUERUNG FÜR ANTRIEBSREGELUNGEN MIT THYRISTOR-FREQUENZUMRICHTERN

L. SEBESTYÉN

Zusammenfassung

In den letzten Jahren wurden von uns mehrere Asynchronantriebe mit Thyristor-Frequenzumrichter entworfen und in Betrieb gesetzt.

Die Steuerung der Antriebe wird durch einen Mikroprozessor durchgeführt. In dem ersten Teil des Artikels werden die gegenüber dem Antrieb mit Frequenzumrichter und dem Steuersystem gestellten Forderungen beschrieben. In dem zweiten Teil werden der Aufbau der Steuereinheit und das entwickelte zielorientierte Steck-Kartensystem gezeigt. Detailliert wird auf die Realisierung der digitalen Regelschleifen sowie der Pulsweitenmodulation eingegangen.

MICROPROCESSOR CONTROL OF THYRISTOR FREQUENCY CONVERTERS DRIVES

BY L. SEBESTYÉN

Summary

In the recent years, several asynchronous motor drives with force commutated frequency converters have been designed and built up.

The drives are controlled by microcomputers. This paper describes the demands to be satisfied by the frequency-converter drive and by the control system. The second part presents the design details of the control unit and the purpose-oriented card set developed. A detailed description is given of the digital regulation loops and the pulse with modulation.

1. Bevezetés

A frekvenciaátalakító aszinkron motoros hajtások – megfelelő szabályozással ellátva – alkalmasak nagy pontosságú, fordulatszám-szabályozott hajtásokként való alkalmazásra. A győri Magyar Vagon- és Gépgyár megrendelésére 1982-ben hat frekvenciaátalakító hajtást készítettünk két teljesítménynagyságban. Alkalmazásuk olyan technológia megvalósítását szolgálja, amelyben az előírt pontos statikus fordulatszám-tartása különösen fontos.

A pontossági igények kielégítése digitális szabályozóegység alkalmazását teszi szükségessé. Így gazdasági és célszerűségi megfontolások alapján mikroszámítógépen alapuló szabályozás mellett döntöttünk. Bár a különböző teljesítményű hajtások az alkalmazott szabályozási stratégiában is különböznek egymástól, az irányítóegység kialakításában azonos áramkörü felépítésre törekedtünk, amit a hajtásvezérlésre kifejlesztett, modul felépítésű kártyarendszer tesz lehetővé. A programrendszer különböző dinamikai igényű hajtásszabályozásokhoz alkalmazható. A legegyszerűbb kialakításban digitális a fordulatszám-szabályozás, de a feszültség-szabályozás analóg módon történik. Erre példa a kisebb teljesítményű hajtáscsoport. Igényesebb esetben a rendszer a fordulatszám-szabályozáson kívül az áramszabályozás digitális megvalósítását is lehetővé teszi, továbbá egyszerűbb impulzusszélesség-modulációra is lehetőség van. Ilyen szabályozóval rendelkezik a nagyobb teljesítményű hajtáscsoport. A programcsomag alkalmazása a teljes fordulatszám-tartományban megvalósuló, veszteségminimumra optimalizált impulzusszélesség-modulációt is lehetővé teszi. Erre példát a [4] mutat.

2. A hajtásokkal szemben támasztott követelmények

Két teljesítménytartományban 3-3 hajtás készült a következő paraméterekkel:

Kimeneti adatok (motoroldal):

Névleges teljesítmény:	2,5 kW,	55 kW.
Szabályozási tartomány:	200...1800 ¹ /min,	100...1000 ¹ /min.
Terhelési tartomány:	-20%...+100%,	-20%...+120%.

Statikus pontosság

(a mindenkori beállított

értékre vonatkoztatva!):

2%,	1%.
-----	-----

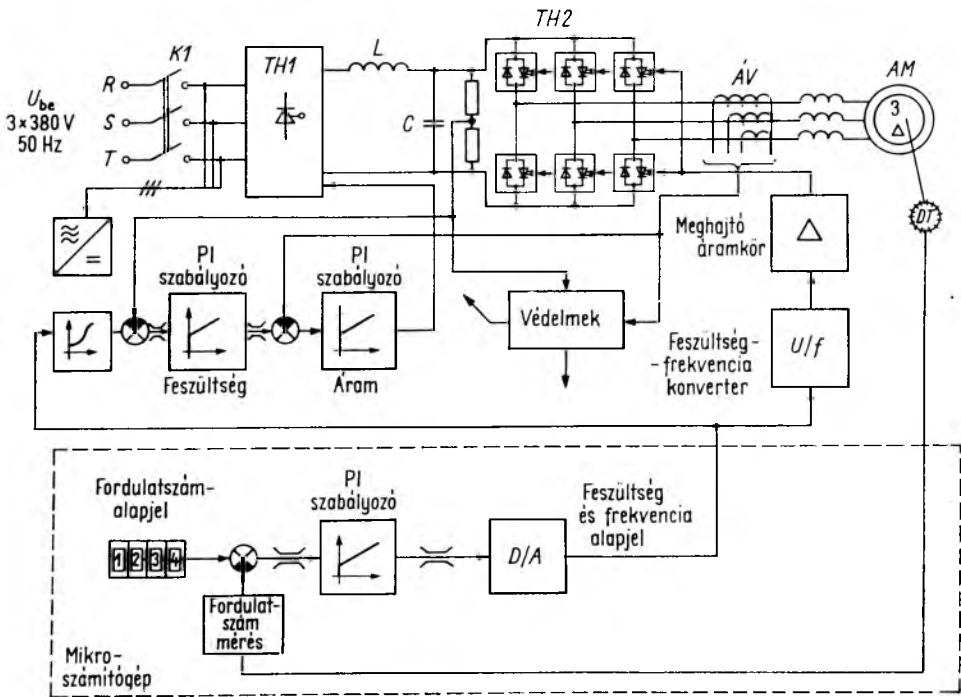
Bemeneti adatok (hálózat):	3×380 V,	50 Hz.
----------------------------	----------	--------

Különleges követelmények: távvezérelhetőség, túlterhelés elleni védelem.

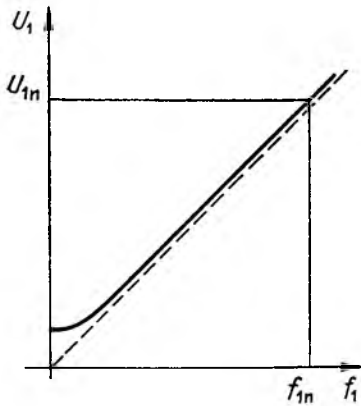
3. A hajtások felépítése

A két típusú hajtás erősáramú elemeinek áramköri felépítése azonos, amint azt a 4-1. és a 4-3. ábra szemlélteti. A K_1 mágneskapcsolón keresztül kapcsolódik a hálózati feszültség a $TH1$ tirisztoros áramirányító hídra. A híd kimeneti feszültségét, a közbenső egyenáramú kört az LC tag szűri. A $TH2$ tirisztoros inverter állítja elő az egyenfeszültségből a váltakozófeszültséget. Az ábrákon a két vezérlőelektródával jelölt tirisztorok a kényszerkommutációs óltókörrrel ellátott félvezetőket jelképezik. A főtirisztorokkal ellenpárhuzamosan a meddő áram útját biztosító diódák vannak elhelyezve. Az inverter kimenetére soros fojtótekercsen keresztül kapcsolódik a háromfázisú, kalickás forgórészű aszinkron motor. A fordulatszámot a motor tengelyére szerelt digitális impulzusadó jele alapján mérjük.

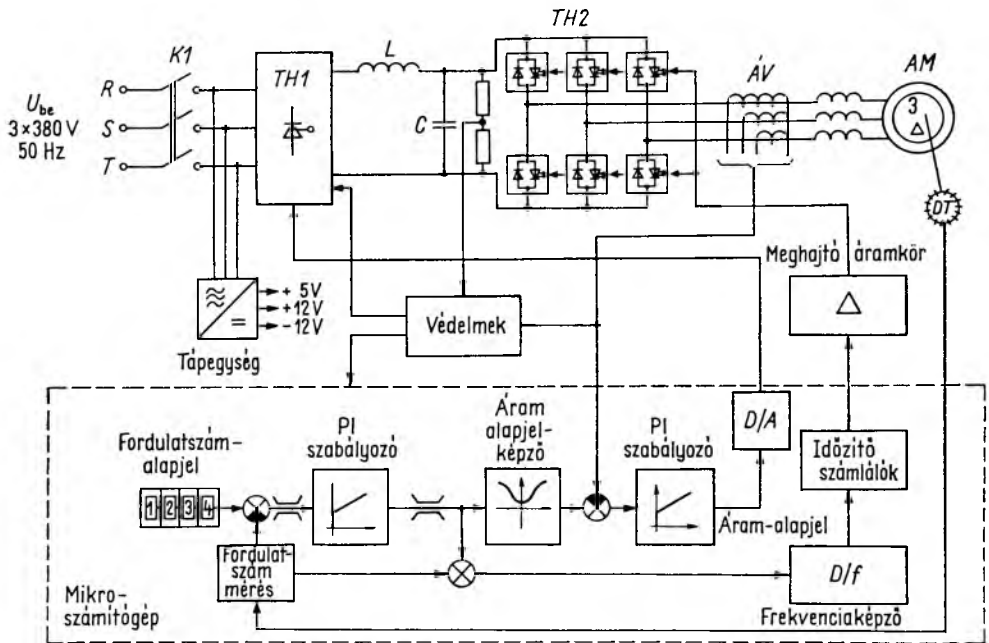
A 4-1. ábra a 2,5 kW-os hajtás szabályozási vázlatát szemlélteti. Az impulzusadó jelét fordulatszám-mérő áramkör érzékeli. A fordulatszám-alapjel és a fordulatszám értékének különbségeként előálló hibajel arányos-integráló (PI) szabályozó bemenetére jut, amelynek kimenete digitális-analóg átalakító bemenetére van kapcsolva. Az analóg jel feszültség-frekvencia konverteren keresztül – a motor primer frekvenciáját meghatározván – az inverter gyújtásvezérlő áramkört vezérli. Az inverter kimeneti feszültsége négyzetöghullám alakú, amelynek amplitúdóját a közbenső kör egyenfeszültsége határozza meg. A feszültségszabályozási kör első eleme az alapjelet átalakító nemlineáris átviteli tag. A nemlineáris tag, amelynek jelleggörbéje a 4-2. ábrán látható, az aszinkron motor primer frekvenciája (f_1) és primer feszültsége (U_1) közti kapcsolatot adja meg oly módon, hogy a gép állandósult állapotban a névleges



4-1. ábra. 2,5 kW-os hajtás szabályozási vázlata

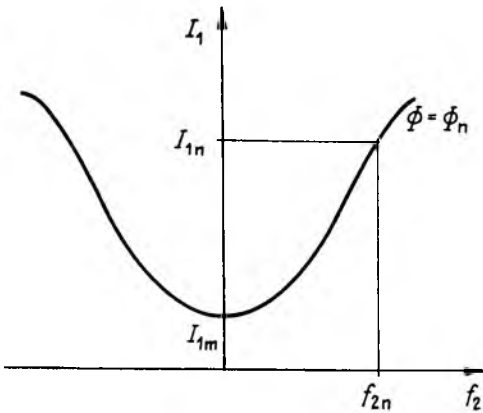


4-2. ábra. Állórészfeszültség és -frekvencia összefüggése



4-3. ábra. 55 kW-os hajtás szabályozási vázlata

fluxussal üzemeljen. Minthogy ezzel a hajtással szemben jelentős dinamikai követelményeket nem támasztanak, az említett lehetőségek közül az egyszerűbb felépítésű feszültség szabályozási mód is megfelelő. A nemlineáris tagot egy PI szabályozó követi, és ez adja az alárendelt áramszabályozás alapjelét. Az áramszabályozó visszavezetett jelét az inverter kimeneti kapcsairól nyerjük. A PI-tag kimenő jele vezérli az egyenirányító gyűjtőegységét. A védelmi áramkörök a nemkívánatos külső behatások, ill. zavarok előfordulásakor leállítják a rendszert (hálózatkimaradás, tartós túlterhelés stb.).



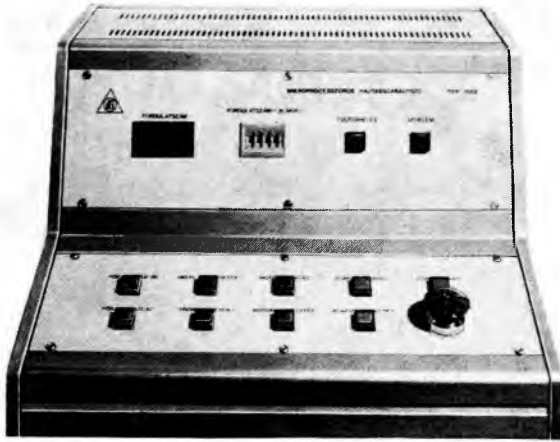
4-4. ábra. Állórészáram és forgórész-frekvencia összefüggése

A 4-3. ábra az 55 kW-os hajtás szabályozási vázlatát szemlélteti. A fordulatszám-érzékelés és alapjelbeadás azonos felépítésű az előző szabályozással. A fordulatszám-szabályozó PI-tag kimenő jele egyrészt egy nemlineáris tagon keresztül az áramalapjelet határozza meg, másrészt a fordulatszám-mérő jeléhez hozzáadva meghatározza a motor primer frekvenciáját. Az áramalapjel-képző nemlineáris tag átviteli függvénye a 4-1. ábrán látható. Ez a görbe az aszinkron motor forgórész-frekvenciája és állórészárama közti összefüggést adja meg, ha a gép fluxusa névleges értékű. Ez az összefüggés jobb dinamikát eredményez, mint az előző szabályozás. Igaz ugyan, hogy az irodalomból [2] ismert „mezőorientált” áramkomponens-szabályozás elve dinamikailag jobb megoldást ad, de a bonyolult koordináta-transzformációk miatt mind áramköri, mind számítógép-programozási kívánalmi aránytalanul nagyobbak az általunk optimálisnak ítélt szabályozásnál. Az áramszabályozás a motoráramot érzékeli és PI-tagon keresztül szabályozza a *THI* áramirányító gyűjtásszögvezérlését. A védelem az előzővel azonosan működik.

4. A szabályozórendszer áramköri felépítése

A szabályozórendszer modul felépítésű, azaz minden főbb áramköri funkciónak egy vagy több kártya felel meg. A mikroszámítógép központi egységének ROM és RAM memóriakártyáit a következőkkel egészítettük ki:

- digitál–analóg kártya;
- analóg–digitál kártya, ezek a ± 12 V tartományába eső külső analóg áramkörökkel tartják a kapcsolatot;
- optocsatoló-kártya, amelynek feladata a potenciálisan leválasztott és 12 V-nál nagyobb feszültségű áramkörökkel való kapcsolat biztosítása;
- reedrelés kártya a potenciálisan leválasztott, max 50 V feszültségű áramkörök kapcsolására (pl. kijelzőizzók);
- aritmetikai kártya, amely a mikroprocesszor számítási idejét nagymértékben lecsökkentő és a pontosságát megnövelő 32 bites, lebegőpontos gyorsaritmetikai egység;
- nagy sebességű frekvenciamérő kártya, ez speciális MSI áramkörökből épített kártya a pillanatnyi fordulatszám mérésére;



4-5. ábra. Mikroprocesszoros hajtásszabályozó

- be- és kimeneti kártyák TTL szintű jelek adására és fogadására;
- időzítőkártya, amely frekvenciaszorzó és programozható számlálókkal épített speciális egység az időzítésekre.

A kártyarendszer a kezelőpultba beépített rackfiókban van elhelyezve, ugyanitt található a tápegységek stabilizátorai is, amelyek üzgszintén kártyákra vannak szerelve.

Mindkét teljesítménytartományban azonos kezelőpultot és kártyarendszert alakítottunk ki, ezzel mind a tervezés, mint a gyártás során költség- és időmegtakarítást érünk el.

A kezelőpult a 4-5. ábrán látható. A felső részén a fordulatszám-alapjelet beállító és fordulatszámkijelző egység található. Mindkettő négy karakter szélességű, így $\pm 1\%$ -re lehet a beállítás és kijelzés hibáját leszorítani. Ez mindkét hajtáscsoport követelményeinek megfelel. A felső részen található a védelmi egység kijelzése is. Az alsó panelen a hajtás üzemeltetéséhez szükséges kezelőgombok és a vészleállító található.

5. A mikroszámítógép programja

A fejlesztés során a program elkészítésével is a modulfelépítésre törekedtünk. Mindkét szabályozókör tartalmaz PI-tagot, így digitálisan az

$$X_{ki}(k) = A_p[X_{be}(k) - X_{be}(k-1)] + A_I \frac{T}{T_I} X_{be}(k) + X_{ki}(k-1) \quad (1)$$

képleten alapuló szabályozási algoritmust valósítottuk meg, ahol

T a jel mintavételezési periódusideje;

T_I az integrálási időállandó;

A az átviteli tényező;

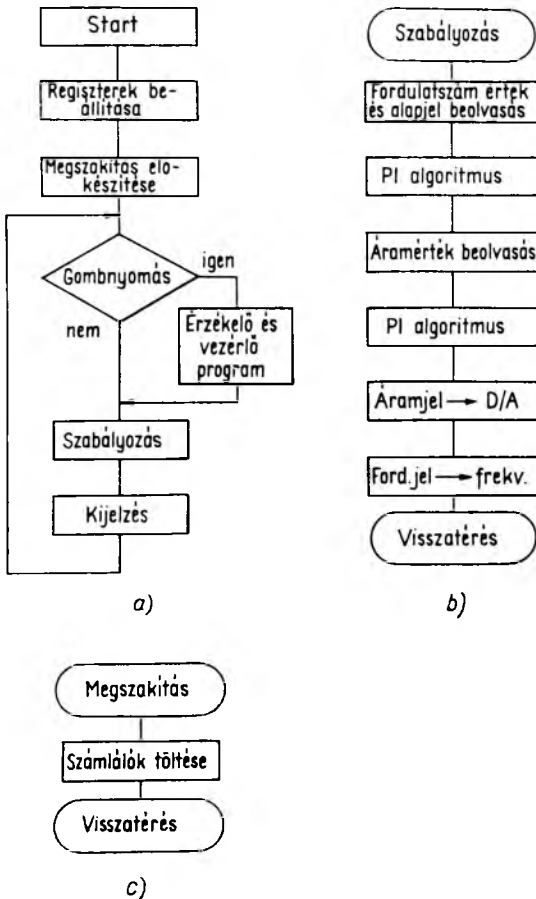
X pedig maga a jel.

Ezt az algoritmust használtuk fel szubrutinszerűen a programokban.

A nemlinearitásokat táblázatszerűen képeztük le a tárukban. Az aritmetikai egység segítségével a szabályozó 32 bitesen, lebegőpontosan számol, így pontossága messze felülmúlja a kapcsolódó analóg rendszerek pontosságát.

A két szabályozókört összehasonlítva látható, hogy a nagyobb, az 55 kW-os hajtás mikroszámítógéppel megvalósított szabályozórésze tartalmazza a kisebb hajtás szabályozó digitális részét. Így elegendő a nagyobb hajtás szabályozóprogramjának áttekintése, amely a 4-6. ábrán látható.

A rendszer bekapcsolásakor a START programrész indul. A processzor belső regisztereinek beállítása, a rendszer perifériáinak alaphelyzetbe hozatala és a megszakítóprogram előkészítése után egy ciklusba kerül a program. A vezérlőgombok lekérdezése után dönt a gép arról, hogy szükséges-e a szabályozási állapot megváltoztatása (indulás, leállítás, forgásirányváltás stb.). A megfelelő állapot beállítása után a szabályozóprogram kezd futni. A SZABÁLYOZÁS programrész a fordulat-



4-6. ábra. Mikroszámítógép programjának blokkvázlata

szám-szabályozó (mindkét hajtáscsoportnál) és az áramszabályozó (nagyobb hajtások) algoritmusok lefutását tartalmazza. Ide tartozik még a nagyobb hajtásnál alkalmazott impulzusszélesség-moduláció frekvenciájának előállítás is. A szabályozás után a fordulatszám kijelzése és a jelzőlámpák állapotának a beállítása következik. A zárt ciklus futásideje (amely kb. 1 ms idejű) a szabályozás T mintavételezési idejét is meghatározza. A PI-algoritmus T_I , A_P , A_I állandói kívülről, bemeneti kártyán keresztül állíthatók be.

A MEGSZAKÍTÁS program az impulzusszélesség-modulációt szolgálja ki. A megszakítás az időzítés alapján érkező megszakításjel után a három fázisnak megfelelő számlálók betöltése és az új időzítőérték beállítása után történik. A betöltendő értékeket előzőleg a szabályozóprogram határozta meg.

6. Összefoglalás

Méréseink igazolták, hogy a mikroszámítógéppel megvalósított szabályozó jól illeszkedik az „erősáramú környezethez”. Segítségével igen pontos hajtásszabályozást lehetett megvalósítani. A könnyű kezelhetőség és a modul felépítés következtében egyszerű javíthatóság jellemzi. A kártya- és programrendszer lehetővé teszi egyszerűbb, igénytelenebb, és ugyanazon elemek felhasználásával bonyolultabb, pontosabb és jobb dinamikájú rendszer megépítését is.

Irodalom

- [1] *Kovács K. Pál*: Villamos gépek tranziens folyamatai. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1970.
- [2] *F. Blaschke*: Das Verfahren der Feldorientierung zur Regelung der Asynchronmaschine. Siemens F. u. E. B. 1972. 184...193.
- [3] *Gabriel—Leonhard—Norby*: Regelung der stromrichter gespeisten Drehstrom-Asynchronmaschine mit einem Mikrorechner. Regelungstechnik, **27**. 1979., M12. 379...386.
- [4] *Sebestyén László*: Teljesítményelektronikai berendezések mikroszámítógépes irányítása. Szakmérnöki disszertáció. BME Automatizálási Tanszék. 1983.

5. 150 W teljesítményű, kétkimenetű hálózati tápegység

SZLOVIK GUSZTÁV

ÖSSZEFOGLALÁS

A két stabilizált, rövidzárható kimenettel rendelkező hálózati tápegység 20 kHz frekvenciájú közbenső áramkörrel működik.

A teljesítménytranszformátor toroid elrendezésű. A tápegység hűtőbordára felépített, kompakt kivitelű, térfogata 4,3 dm³, súlya 3,7 kg. Az átalakító hatásfoka 80%. A konstrukciós kialakítás 2 kV szilárdsági feszültségvizsgálatnak megfelelő.

СЕТЕВОЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ МОЩНОСТИ 150 Вт С ДВУМЯ ВЫХОДАМИ

Г. Словик

Резюме

Сетевой источник питания с двумя стабилизированными короткозамыкаемыми выходами работает с промежуточной частотой 20 кГц.

Силовой трансформатор имеет тороидальное оформление. Источник питания монтирован компактно на охлаждающее ребро; его объем 4,3 дм³, масса 3,7 кг к. п. д. преобразователя 80%. Конструктивное выполнение соответствует испытательному напряжению прочности 2 кв.

SHALTNETZTEIL MIT ZWEI AUSGÄNGEN UND MIT EINER LEISTUNG VON 150 W

G. SZLOVIK

Zusammenfassung

Der Schaltnetzteil, der über zwei stabilisierte kurzschlußsichere Ausgänge verfügt, funktioniert mit einem 20-kHz-Zwischenkreis.

Der Leistungstransformator hat eine Toroidanordnung. Der Schaltnetzteil ist auf Kühlrippen aufgebaut, hat eine kompakte Ausführung, sein Volumen beträgt 4,3 dm³, sein Gewicht ist 3,7 kg. Der Wirkungsgrad des Umformers ist über 80%. Diese Konstruktion hat eine Spannungs Festigkeit von 2 kV.

SWITCHED MODE POWER SUPPLY UNIT WITH TWO OUTPUTS OF 150 W TOTAL OUTPUT POWER

BY G. SZLOVIK

Summary

The switched mode power supply unit (SMPSU) provided with two stabilized outputs operates an intermediate circuit of 20 kHz frequency. The outputs may be short-circuited.

The power transformer is of toroidal arrangement. The SMPSU mounted on a heat sink, is of compact design featuring a volume of 4.3 cu. dm, weighing 3.7 kg. The converter has an efficiency over 80 per cent. The design withstands a test voltage of 2 kV.

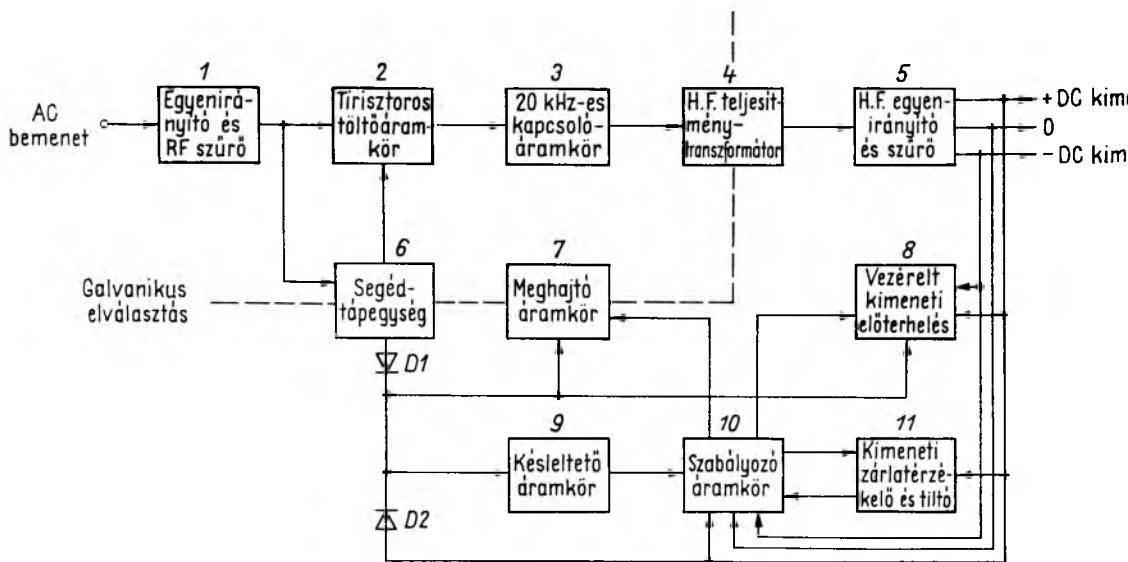
1. Bevezetés

Az utóbbi években különböző felhasználási célokra több egyedi jellegű, kisebb teljesítményű – 20 kHz frekvenciájú közbenső áramkörrel működő – DC/DC tápegységet fejlesztettünk ki a VKI-ban. A jelenleg működő készülékek bemenete 24 V, 48 V és 72 V névleges akkumulátorfeszültséghez igazodik, felhasználási területük pedig a híradástechnikai berendezések táplálása.

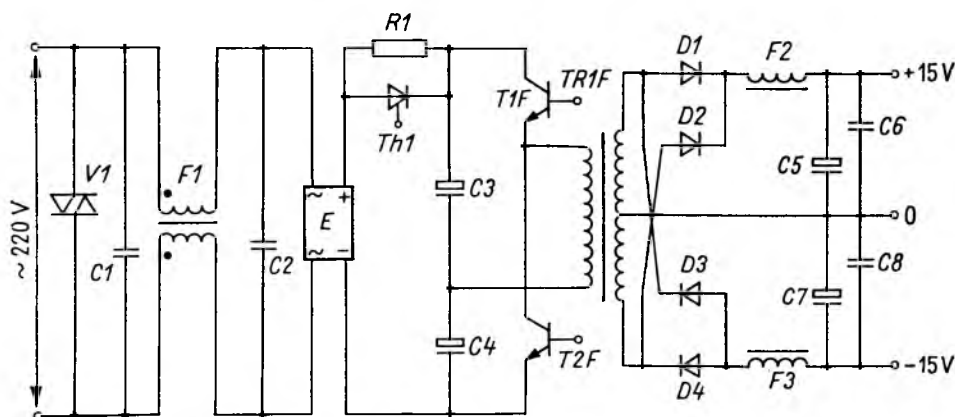
Ezt a sort egészíti ki e cikkben ismertetésre kerülő TD 220/2×15–7/3 típusú tápegység, amely a felhasználó igénye és lehetősége szerint 220 V-os akkumulátorról, vagy 220 V, 50 Hz váltakozóáramú hálózatról is működhet. A készülék a VKI-ban kifejlesztett, a villamosenergia-rendszerekben alkalmazott, a VKI 03 típusú villamos ívérzékelő berendezés elektronikus egységeinek biztosít szünetmentes tápfeszültséget.

2. A tápegységgel szemben támasztott követelmények főbb műszaki paraméterei

Tápfeszültség:	$220\text{ V } 50\text{ Hz } \begin{matrix} +10\% \\ -15\% \end{matrix}$
vagy	220 V = .
Pozitív kimenet	
– névleges feszültsége:	15 V DC $\pm 0,5\%$
– névleges árama:	7 A,
– áramkorlát:	10 A visszahajló karakterisztika.
Negatív kimenet	
– névleges feszültsége:	15 V DC $\pm 5\%$,
– névleges árama:	3 A,
– áramkorlát:	5 A visszahajló karakterisztika.
Hatásfok:	80%.
Környezeti hőmérséklet:	0...50 °C.
A szigetelési szilárdság effektív értéke:	2 kV _{eff} 1 min.
Méretek:	220×190×120 mm.
Tömeg:	3,7 kg.



5-1. ábra. 150 W teljesítményű hálózati tápegység tömbvázlata



5-2. ábra. A hálózati tápegység főáramköre

3. Az elvi felépítés ismertetése

Az átalakító működése az 5-1. ábrán látható tömbvázlat segítségével követhető. Bekapcsolás után a készülék kondenzátorai a 2-es blokkban található töltőáramkörön keresztül biztonságos értékre korlátozott töltőárammal a tápfeszültségre töltődnek. Adott idő eltelte után a 6 segéd-tápegységből folyamatos gyújtójelet kap egy tirisztor, amely rövidrezárja a töltőellenállást, és így a főáramkör működésre kész állapotba kerül.

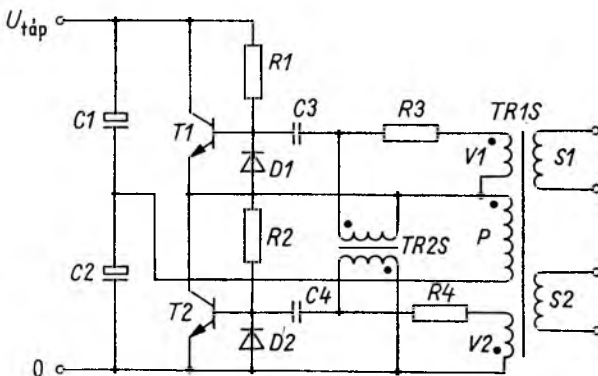
Az energiaátviteli áramkör kapcsolási elrendezése az 5-2. ábrán látható. A tranzisztoros váltóirányító a tápfeszültségnek megfelelően félhíd kapcsolású. A bemeneti RF szűrő a 20 kHz működési frekvenciájú tranzisztoros kapcsolóáramkör által

termelt rádiófrekvenciás zavarokat szünteti meg. A fél tápfeszültséggel azonos amplitúdójú, szélességmodulált négyszöghullám formájú váltakozófeszültséget a 4 blokk *TRIF* teljesítménytranszformátora megfelelő szintűvé alakítja, és egyúttal a galvanikus elválasztást is biztosítja a bemenet és a kimenet között. A transzformátor magját két, egymással szembe fordított U-57-es ferritvas alkotja. A kapott négyzet alakú vasmag mind a négy oldalára került tekercselés, így a transzformátor toroid elrendezésű.

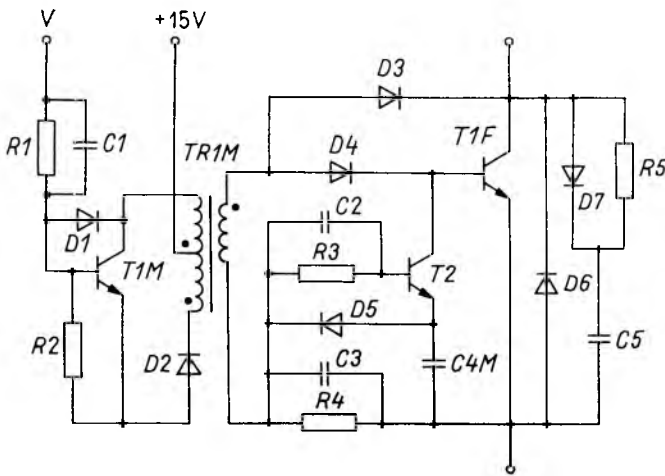
Ennek az elrendezésnek a viszonylag nehezebben megvalósítható tekercselés ellenére több előnye is van a köpeny, ill. mag típusú elrendezéssel szemben. A tekercselhető keresztmetszet viszonylag nagy, a tekercsek laposabbak, szélesebbek és kevesebb rétegűek lehetnek, így geometriailag közelebb kerülhetnek a vasmaghoz és egymáshoz, aminek eredményeképpen a szórás kb. 40%-a a más elrendezésű, azonos típusú teljesítményű egységekéhez viszonyítva. Az így készült transzformátorok geometriai méretei ezen túlmenően jobban illeszkednek a viszonylag kis teljesítményű (kb. 200 W-ig), kompakt kivitelű tápegységek mechanikai konstrukciójához. A 5 kimeneti egyenirányító és szűrőegység állítja elő az adott hullámosságú kimeneti egyenfeszültségeket. Ezzel a tápegység főáramköri működését áttekintettük. A továbbiakban a szabályozó- és a segédáramköröket ismertetjük.

A segéd tápegység a tirisztor gyújtójelén kívül előállítja a szabályozó- és segédáramkörök tápfeszültségét is. A segéd tápegység félhíd kapcsolású, öngerjesztésű segédinverter. Kapcsolása az 5-3. ábrán látható. Az áramkör oszcillációs tulajdonságai nagyon jók, a tápfeszültség 2-6%-ánál már megindul az önrezgés, amelynek frekvenciáját a TR2S telítődő transzformátor állítja be. Mivel a frekvenciát meghatározó elem csak a báziskörhöz kapcsolódik, igen kis teljesítményű lehet, ezért a TR2S transzformátor vasmagja egy 10 mm átmérőjű ferritgyűrű. A rezgés frekvenciája természetesen függ a tápfeszültségtől és a kimeneti terheléstől, de jelen esetben ez nem jelent zavart. A 9 késleltetőáramkör időállandója úgy van beállítva, hogy csak azután szolgáltat tápfeszültséget a 10 szabályozónak, amikor a főáramkör a fentiekben leírt módon már üzemkész állapotban van. Miután a szabályozó megkapta a tápfeszültséget, lágy indítással kiadja a két ellenütemű szélességmodulált vezérlőjelet a meghajtóáramkörök számára. A meghajtóáramkör felépítése az 5-4. ábrán látható.

A *V* ponton kapja a *TIM* tranzisztor a szabályozótól a logikai szintű vezérlőjelet. A *TRIM* transzformátor, amelynek vasmagja egy pár $\varnothing 23 \times 17$ fazékferrit, a teljesítményillesztést és a galvanikus elválasztást biztosítja. A főáramköri *TIF* tranzisztor kikapcsolásakor a báziskörében tárolt töltésmennyiség gyors kiürítésére



5-3. ábra. Segéd tápegység



5-4. ábra. A tápegység egyik kapcsolótranszisztora a bázismeghajtó és a terheltesítő áramkörrel

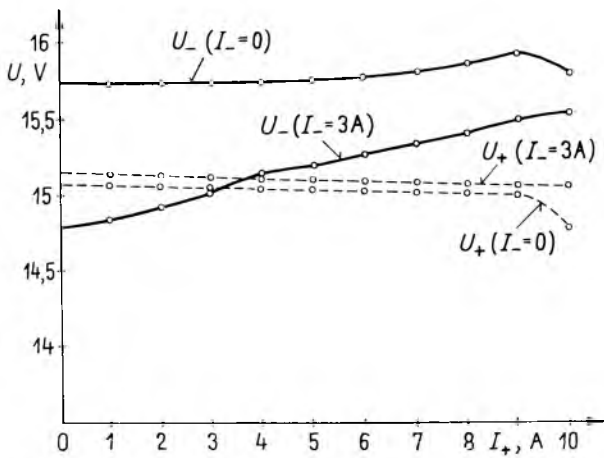
a $C4M$ kondenzátornak a tranzisztor bekapcsolási ideje alatt felhalmozott energiája áll rendelkezésre. A lágy indítás következtében a működés számottevő tranziensek nélkül indul. A II zárlatérzékelő és letiltóegység csak a szabályozó feléledése után válik működőképessé. Ennek az egységnek egyébként csak biztonsági, fedővédelmi feladata van. A kimenetek zárata esetén a visszahajló áramkarakterisztikát maga a szabályozó hozza létre. A II egység érzékeli a kimeneti feszültség összeomlását, és adott időre letiltja a működést, ami azt jelenti, hogy a főkörben megszakad az energiaáramlás. Egy előre beállított idő eltelte után a II egység ismét működni engedi a főáramkört, és ha a zárlat tartós, akkor ez az automatikus ki- és bekapcsolás ismétlődik. Ha a zárlat eközben megszűnik, akkor a legközelebbi automatikus bekapcsolás lágy indítással folytatódik, és a kimeneteken megjelenik a ± 15 V.

4. Statikus és dinamikus jellemzők

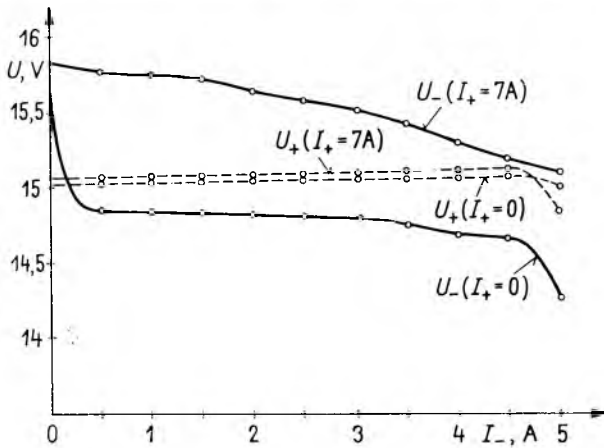
A készülék kimeneteit a névleges terheléssel megterhelve a 5-5. és 5-6. ábrákon látható kimeneti karakterisztikák mérhetők. Az 5-5. ábra a kimeneti feszültségeket mutatja a pozitív kimenet 0...10 A közötti terhelésénél, miközben a negatív kimenet terhelése 0, ill. 3 A. Az 5-6. ábra a kimeneti feszültség változását a pozitív kimenet 0, ill. 7 A-s terhelésére mutatja, miközben a negatív kimenet árama 0...5 A között változik.

Mindkét ábrán megfigyelhető a pozitív kimenet viszonylag jó terhelésszabályozása a negatív kimenettel szemben. Ez azért van így, mert a nagyobb teljesítményű pozitív kimenet a szabályozott, a kisebb teljesítményű negatív kimenet pedig a kimeneti egyenirányító és szűrő szimmetrikus elrendezése miatt csak követi a pozitív kimenet potenciálját.

Ha a pozitív és negatív kimenet terhelése egymással egyenlő vagy egyenlő mértékben változik, akkor a negatív kimenet feszültsége elvileg hiba nélkül, a gyakorlatban kis hibával követi a pozitív kimenet feszültségét. Ez jól látható az 5-5. ábrán az $I_+ = 3$ A-es pontban, ahol a két kimenet árama azonos, ill. az 5-6. ábrán az $I_- = 4,5$ A-es pontnál, ahol a két kimenet árama között kb. 35%-os eltérés van.

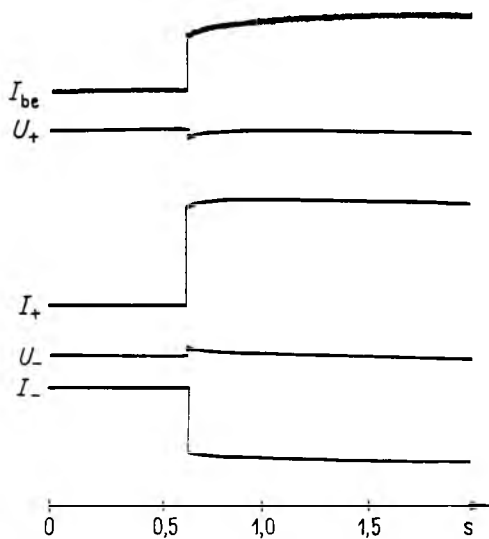


5-5. ábra. Kimeneti feszültség a pozitív kimeneti áram függvényében

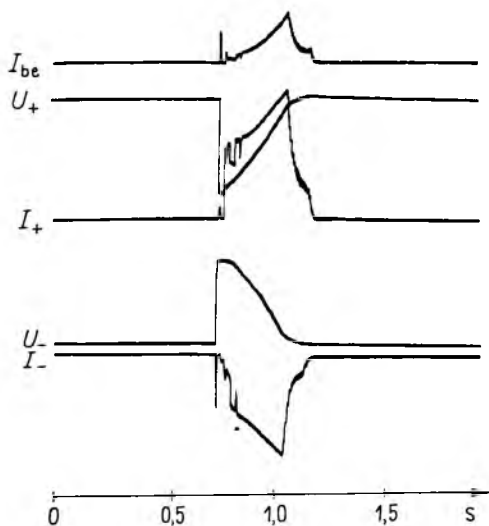


5-6. ábra. Kimeneti feszültség a negatív kimeneti áram függvényében

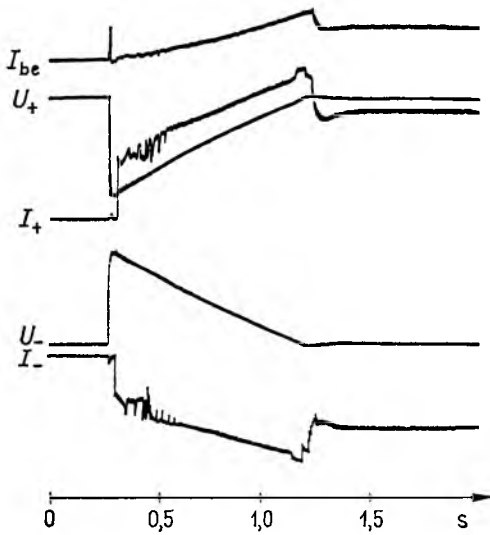
Az üzemeltetési tapasztalatok azt mutatják, hogy az azonos kimeneti feszültségű, kétkimenetű tápegységek terhelése erősen aszimmetrikus lehet, szélső esetben az egyik kimenet közel üresjárásban van, míg a másik névleges terheléssel üzemelhet. Ilyen esetekben a nem szabályozott kimenet feszültsége $\pm 30\%$ -kal is eltérhet a névleges értéktől. Esetünkben ilyen nagy terhelési aszimmetriák mellett is biztosítani kellett mindkét kimenet adott stabilitását. A negatív kimenet jobb feszültségtartása vezérelt előterheléssel oldható meg. Ez azt jelenti, hogy egy-egy tranzisztor a kimeneti áramok aszimmetriájától függően áganként 15 W beépített előterhelést képes a kimenetekre kapcsolni. Tehát ha a negatív kimenet terhelése névleges vagy ahhoz közeli értékű, és a pozitív ág árama közel nulla, akkor a pozitív ág előterhelése bekapcsolódik, és így nem engedi egy adott érték alá csökkenni a negatív kimeneti feszültséget. Ellenkező esetben, ha a pozitív ág terhelése névleges vagy ahhoz közeli értékű, és a negatív ág árama közel nulla, akkor a negatív kimenet előterhelése lép



5-7. ábra. Hatásos terhelés rákapcsolása
bekapcsolt állapotú készülék kimeneteire
($I_+ = 7$ A; $I_- = 3$ A)



5-8. ábra. Kapacitív terhelés rákapcsolása
bekapcsolt állapotú készülék kapcsaira
($C_+ = 132\,000$ μ F $C_- = 6600$ μ F)



5-9. ábra. Kapacitással párhuzamosan kapcsolt ellenállás rákapsolása bekapcsolt állapotú készülék kimeneteire ($C_- = 66\,000\ \mu\text{F}$; $I_+ = 7\ \text{A}$; $I_- = 3\ \text{A}$)

be és nem engedi egy adott érték fölül növekedni a negatív kimeneti feszültséget. Így alakul ki a negatív kimenet $\pm 5\%$ -os stabilitása.

A hatásos terheléseken kívül a készüléknek el kell viselnie a pozitív kimenetén $132\,000\ \mu\text{F}$, a negatív kimenetén pedig $66\,000\ \mu\text{F}$ kapacitív terhelést is. Ez azt jelentette, hogy a $20\ \text{kHz}$ működési frekvenciával párosuló kedvező dinamikus tulajdonságokat el kell rontani a stabilitás érdekében. Ennek megfelelően a terhelés rákapsolásakor a feszültségletörés kiszabályozásának ideje $100\ \text{ms}$. Ezt mutatja az 5-7. ábra.

Az 5-8. ábra a tisztán kapacitív terhelés rákapsolásakor keletkező tranzienseket mutatja, az 5-9. ábrán pedig a névleges hatásos és kapacitív terhelés egyidejű rákapsolásakor keletkező átmeneti jelenségek láthatók. A sugárlefutási idő minden ábrán $2\ \text{s}$.

*

A cikk röviden bemutatja, hogy (egy hálózati üzemű, kétkimenetű) a tranzisztoros energiaátalakítónál egyetlen szabályozóval és két vezérelt előterhelő szerv segítségével hogyan lehetett megoldani a két kimeneten az előírt jellemzők tartását amellet, hogy a két kimenet terhelése egymástól függetlenül változik.

6. Vasúti személykocsik egyenáramú energiaellátó rendszere

TIHANYI LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

A vasúti személykocsikon a villamos fűtés elterjedésével lehetővé vált, hogy a segédüzemi energiaellátást biztosító akkumulátortöltők a fűtési hálózatról üzemeljenek. Ezt a kérdést a félvezetős, szabályozott egyenirányító megépítésével már korábban megoldottuk. Az első megoldás figyelembe vette, hogy az akkumulátor töltésekor az izzólámpák feszültségét nemlineáris előtét-ellenállások beiktatásával korlátozták. Az új félvezetős energiaellátó rendszer a felhasználó igényének megfelelően az egyenáramú fogyasztókat és az akkumulátort egymástól függetlenül szabályozott kimenetekről táplálja. A fűtőfeszültség kimaradása esetén az egyenáramú fogyasztók szünetmentes energiaellátását tirisztoros átkapcsoló biztosítja. A MÁV vonalain 10 db szünetmentes energiaellátó rendszer kísérleti üzeme több mint egy éve folyik.

СИСТЕМА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Л. Тихани

Резюме

Благодаря распространению электрического отопления в железнодорожных пассажирских вагонах стало возможным питание зарядных устройств аккумуляторов, обеспечивающих вспомогательное энергоснабжение выполнить от сети отопления. Этот вопрос нами ранее решен построением полупроводникового управляемого выпрямителя. В первом решении учтено ограничение напряжения ламп накаливания в заряде аккумуляторов посредством нелинейных последовательных резисторов. Новая полупроводниковая система энергоснабжения — соответственно требованию заказчика — потребители постоянного тока и аккумулятор питает независимо друг от друга, с регулируемых выходов. В случае выпадения напряжения отопления непрерывное энергоснабжение потребителей постоянного тока обеспечивается тиристорным переключателем. По линиям Венгерских железных дорог продолжается больше одного года опытная эксплуатация 10 непрерывных систем энергоснабжения.

GLEICHSTROM-ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEM VON EISENBAHN-PERSONENWAGEN

L. TIHANYI

Zusammenfassung

Bei den Eisenbahn-Personenwagen ist durch Verbreitung der elektrischen Heizung möglich geworden, dass die Batterieladegeräte, die die Energieversorgung des Hilfsbetriebes gewährleisten, von dem Heiznetz betrieben werden können. Dieses Problem wurde bereits früher durch den Bau eines geregelten Halbleiter-Gleichrichters gelöst. In der ersten Lösung wurde berücksichtigt, dass beim Laden der Batterien die Spannung der Glühlampen durch Einfügen von nichtlinearen Vorwiderständen begrenzt wurde. In dem neuen Halbleiter-Energieversorgungssystem werden die Gleichstromverbraucher und die Batterie, entsprechend der Forderung des Benutzers, von Ausgängen gespeist, die voneinander unabhängig geregelt werden. Fällt die Heizspannung aus, so wird die unterbrechungsfreie Energieversorgung der Gleichstromverbraucher durch einen Thyristorumschalter gewährleistet. Auf den MÁV-Linien werden seit mehr als ein Jahr 10 unterbrechungsfreie Energieversorgungssysteme in Versuchsbetrieb gefahren.

DC POWER SUPPLY SYSTEM FOR RAILWAY CARRIAGES

BY L. TIHANYI

Summary

With the spreading of electric heating in railway carriages the battery chargers providing auxiliary power supplies would be supplied from the heating power line. This problem has been solved in the first version by the developing of a solid-state controlled rectifier. It has been taken into account that, while the storage battery is being charged, the voltages of the electric bulbs are limited by means of nonlinear external resistors. The novel solid-state power supply system will, in conformity with the user's demands, supply the DC loads and the storage battery from independently regulated outputs. Should the heating voltage fail, an uninterrupted supply of the DC loads will be maintained by a thyristor-type change-over switch. There are 10 power supply units running experimental operation for over a year on the lines of MÁV (Hungarian State Railways).

1. Forgógépes egyenáramú rendszerek

A vasúti személykocsik akkumulátorainak töltését és egyenáramú fogyasztóinak táplálását általában tengelygenerátorokról biztosítják. A tengelygenerátorok a vasúti kocsik forgóvázára, esetleg a tengelyvégre szerelt és a tengelyről hajtott egyen- vagy váltakozóáramú generátorok. A gyakorlatban először az egyenáramú generátorok terjedtek el. Mivel a generátoroknak tetszőleges forgásirány esetén is azonos polaritású feszültséget kell szolgáltatniuk, az egyenáramú generátorokat elforduló kefe-tartó szerkezettel készítették. Az egyenáramú teljesítmény iránti igény növekedésével a viszonylag kényes egyenáramú generátorokat váltakozóáramú generátorok váltották fel. Az utóbbiak – a kis karbantartási igény érdekében – körmöspólusú generátorokként vannak kialakítva.

A generátoros megoldások általános hátrányát a forgóváza szerelt nagy rugózatlan tömeg, az ütésekre érzékeny hajtás (pl. kardántengely) jelentette, ill. jelenti még ma is.

A generátoros, de főleg az egyenáramú generátoros energiaellátás villamos szempontból is felvet néhány kérdést. A tengelygenerátorok kimeneti feszültsége csak adott fordulatszám fölött nő az akkumulátor feszültsége fölé, és névleges teljesítményüket csak a fordulatszám további növelésével képesek leadni. A tengelygenerátorok fordulatszáma – lévén forgógépek – korlátozott. A személykocsik vontatási sebességének növekedtével a hajtás áttételét úgy kellett változtatni, hogy a forgógép maximális fordulatszáma ne változzék. Ez a kényyszerű fordulatszám-csökkentés azonban azzal a hátránnyal járt együtt, hogy lassú vontatású, gyakran megálló szerelvényekben az akkumulátor töltési periódusa rendkívül lerövidült, sőt szélsőséges esetben a tengelygenerátor az akkumulátorokat nem is töltötte. Lassú vontatás esetén nagyobb gépfordulatszámot biztosító áttételt kell választani, ezeknek a kocsiknak a vontatási sebességét azonban korlátozni kell. Az ilyen jellegű megszorítások az egyéb hátrányok mellett üzemeltetési problémákat is jelentenek.

Az előbb vázolt problémák az akkumulátor névleges kapacitásának megválasztásakor összegződtek. A rövid töltési periódus miatt az akkumulátorokat erősen túl kellett méretezni. A kisütéshez rövidnek tekinthető töltési periódus miatt a töltőáramot rendszerint nagyra választják. A sok töltési–kisülési ciklus, a viszonylag gyakran előforduló mélykisütés és a nagy töltőáram az akkumulátorok élettartamát nagymértékben csökkenti.

Az utóbbi években a vasúti személykocsikon rohamosan növekedett az egyenáramú teljesítményigény. Míg pl. egy-két évtizede a világításnak 80 lx fényerősséget kellett adnia, addig manapság 200 lx sem ritkaság. A villamosenergia-igényt, ezen belül az egyenáramú teljesítmény igényt a szellőztetés, az étkező- és hálókocsikban pedig a főzési lehetőség, ill. a hűtőszekrények megjelenése növelte. A megemelkedett egyenáramú teljesítmény igény kielégítésére nem volt elegendő a tengelygenerátor teljesítményét növelni, hanem az említett ciklusproblémák miatt egyre nagyobb névleges kapacitású akkumulátorokat kellett beépíteni a személykocsikba. Ezt a tendenciát mutatja, hogy a korábbi, általánosan használt 280 Ah-s telepek helyett egyre inkább a 350 és 420 Ah-s, sőt egyes esetekben 600 Ah-s telepeket alkalmaznak. Az akkumulátorok névleges kapacitásának ilyen emelkedése azonban meglehetősen drága.

A tengelygenerátoros energiaellátó rendszer kialakulásakor még a gőzfűtés volt elterjedve. A gőzmozdonyok háttérbe szorulásával egyidőben a gőzfűtés létjogosultsága is megszűnt, helyére a villamos fűtés lépett. A váltakozófeszültséggel táplált villamos mozdonyok a fűtési feszültséget egyszerűen a felsővezeték feszültségének letranszformálásával állítják elő. Az új dízelmozdonyok, amely kategóriába mind a dízel–villamos, mind pedig a dízel–hidraulikus mozdonyok beleértendők, a fűtési villamos energiát váltakozófeszültségű segédüzemi generátorról szolgáltatják.

2. Fűtővezetékes energiaellátás

A villamos fűtés elterjedésekor vetődött fel az a gondolat, hogy az akkumulátor töltéséhez és a fogyasztók táplálásához szükséges energiát a központi fűtővezetékéről kellene levenni. A fűtővezetékéről biztosított energiaellátásnak több előnye is van. A tengelygenerátorok elmaradásával csökken a futómű terhelése, és nagy sebességű vontatásnál ennek eredményeképpen jelentősen javulnak a futási viszonyok. Üzemviteli szempontból jelent előnyt az is, hogy megszüntethetők az egyes személykocsikra jelenleg még érvényes sebességkorlátozások. Miután a fűtővezetékéről üzemelő energiaellátó rendszer célszerűen félvezetős kapcsolást tartalmaz, a forgógép elmaradásával jelentősen növelhető az energiaellátó rendszer üzembiztonsága, csökkenthető a karbantartás-szükséglet és javítható az energiaellátás hatásfoka is.

A villamos fűtővezetékéről táplált energiaellátásnak további igen figyelemre méltó előnye az, hogy megfelelő energiaátalakítóval a szerelvény álló állapotában is tölti az akkumulátort, ill. táplálja a fogyasztókat. Ennek jelentősége egyre növekszik, mert a személykocsiknak fejjállomásokon (végállomásokon) történő előfűtését csatlakozóról vett villamos energiával biztosítják. A fogyasztók – ezen belül elsősorban a világítás – tehát az előkészületi időszak alatt nem az akkumulátort, hanem a villamos fűtővezetékét terhelik. Az akkumulátorok jelentősen lerövidült kisütési periódusa lehetővé teszi az akkumulátorok névleges kapacitásának csökkentését. Az akkumulátorok szempontjából kedvezőbb üzem élettartamuk növekedéséhez vezet, ami nagy személykocsi-állomány esetén nem elhanyagolható költségtényező. A fűtővezetékes energiaellátás előnyei közé kell sorolni azt is, hogy a villamos fogyasztás további növelésének nincs akadálya. Ez a lehetőség az elkövetkező időkben fog egyre nagyobb szerepet kapni.

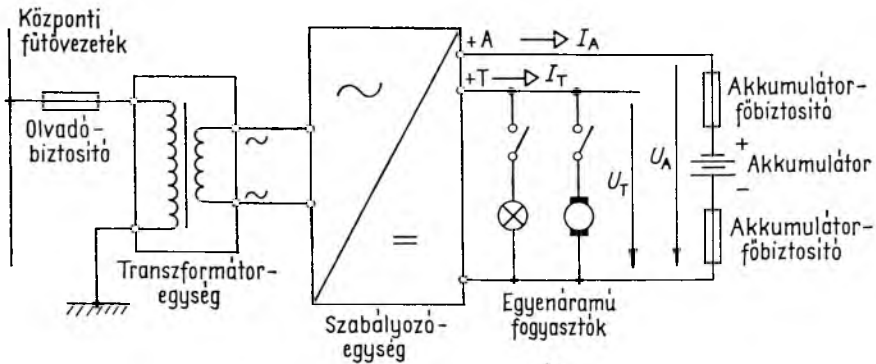
A vasúti személykocsik villamos fűtésénél különböző feszültségű rendszerek alakultak ki. Magyarországon az 1500 V névleges értékű váltakozófeszültség terjedt el. A váltakozófeszültség frekvenciája felsővezetékéről történő letranszformálás esetén 50 Hz. A dízelmozdonyok a hajtómotorral mereven összekapcsolt segédüzemi generátor fordulatszámától függően 30 és 50 Hz között folyamatosan változó frekvenciájú fűtési feszültséget állítanak elő.

3. Fűtővezetékéről táplált egyenáramú energiaellátás

Váltakozófeszültségű táplálás miatt a fűtővezetékes energiaellátó rendszer kialakítására két megoldás kínálkozott. Az egyik megoldás letranszformált váltakozófeszültséggel táplált, szabályozott egyenirányító kapcsoláson alapszik. A másik lehetőség a tápfeszültség közvetlen egyenirányítása, és erről a feszültségről váltóirányítót járátva a letranszformálást magasabb frekvencián lehet megvalósítani. A kimeneti egyenfeszültséget a transzformátor szekunder tekercsére csatlakozó egyenirányító állítja elő. Ennek a második megoldásnak egyaránt megvannak az előnyei és hátrányai. Miután néhány országban a fűtési feszültség egyenfeszültség, egy ilyen berendezés univerzálisan alkalmazható, hiszen ugyanaz az áramkör egyen-, ill. váltakozófeszültségről egyaránt üzemeltethető. Hátrányai között elsősorban a bonyolultabb kapcsolást és a kényszerkommutáció miatt a rövid idejű túlterhelésre való érzékenységet lehet említeni.

Az intézetünkben kifejlesztett, fűtővezetékéről táplált egyenáramú energiaellátó rendszer – igazodva a MÁV hazai vasútvonalakon futtatott személykocsiparkjának körülményeihez és helyzetéhez – hálózati kommutációs, szabályozott egyenirányító kapcsolást tartalmaz. Ismeretes, hogy a szabályozott egyenirányítót tartalmazó berendezések teljesítménytényezője rosszabb, mint a diódás egyenirányító kapcsolásoké, a fűtővezetékéről üzemelő energiaellátás azonban a fűtővezeték egyébként sem túl jó teljesítménytényezőjét alig rontja tovább. Mérések szerint 500 kW-os fűtési fogyasztás esetén a fűtővezeték teljesítménytényezője 0,9 körül van. (Ekkora fűtési teljesítményt igényel egyébként egy 10...12 személykocsiból álló szerelvény.) Az induktív fáziseltolást a villamos fűtőkályhák és a vonaton végigfutó fűtővezeték induktivitása okozza. Ugyanezen szerelvény esetén az egyenáramú energiaellátás mintegy 50 kW teljesítményt vesz fel.

Az FTA 24 V/80–50 A típusú egyenáramú energiaellátó a fűtőfeszültségre kapcsolt transzformátorból és a szekunder tekercsre csatlakozó szabályozott egyenirányítóból áll. Az energiaellátó rendszer egyszerűsített kapcsolási sémáját a 6-1. ábra mutatja. Az ábrából látható, hogy mind az akkumulátor, mind az egyenáramú

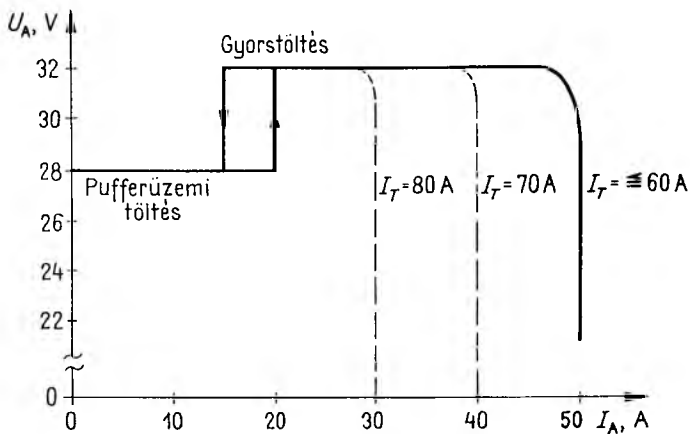


6-1. ábra. Fűtővezetékéről táplált egyenáramú energiaellátó rendszer tömbvázlata

fogyasztók külön-külön kivezetésre csatlakoznak. Ennek a megoldásnak a választását a következők indokolják. A vasúti személykocsikon a hosszabb élettartamú, viszonylag kis karbantartásigényű lúgos akkumulátorokat alkalmazzák. Ismeretes, hogy a lúgos akkumulátorok kisütési és gyorstöltési feszültsége erősen eltérnek egymástól. 20 cellás lúgos akkumulátort véve alapul a kisütési feszültség akár 20 V-ra csökkenhet, a gyorstöltési feszültség pedig 32...36 V-ot is elérhet. Ilyen nagyarányú feszültségváltozást sok egyenáramú fogyasztó nem visel el, ezért műkapcsolásokkal – pontosabban megfelelő előtét-ellenállásokkal – a fogyasztókra kerülő feszültséget korlátozni kell. Izzólámpás világításoknál 24 V névleges feszültségű lámpákat alkalmaznak. Ezeknek az izzólámpáknak az élettartama 26 V-nál nagyobb tápfeszültség esetén rohamosan csökken, ezért ennél magasabb töltési feszültségen előtét-ellenállásokat kell a lámpákkal sorba kapcsolni. Az ellenállás rezisztenciájának megválasztása azonban nem egyszerű feladat, kis lámpaterhelésnél és nagy töltési feszültségen sem szabad a lámpák feszültségének túlságosan megengednie, de nagy lámpaterhelés esetén, 26...28 V-os akkumulátorfeszültségen a lámpáknak még megfelelően világítaniuk kell.

A két ellentétes követelményt nemlineáris előtétek alkalmazásával lehetett teljesíteni. Ez azonban nem változtat azon a tényen, hogy a fogyasztókra kerülő feszültséget veszteséget okozó elemek bekapcsolásával korlátozni kell; nem is beszélve arról, hogy ezeknek az előtéteknek kapcsolásához viszonylag megbízhatatlan mágneskapcsolókat építettek be. Az FTA 24 V/80 – 50 A típusú energiaellátó rendszer ezzel szemben az egyenáramú fogyasztókat állandó, szabályozott feszültséggel táplálja. Ez nemcsak a fogyasztók üzeme, típusmegválasztása és várható élettartama szempontjából előnyös, de ezzel megszűnik az a gazdaságtalan megoldás is, hogy a fogyasztók feszültségét először felemeljük egy nagyobb feszültségre és azt követően annak egy részét veszteséges elemek csökkentjük.

Az akkumulátortöltő szabályozó IUU_0 töltési jelleggörbét biztosít, amint ezt a 6-2. ábra mutatja. A gyorstöltési feszültség a MÁV üzemi tapasztalatai alapján 32 V. A IUU_0 töltési jelleggörbe indoka az, hogy a korábban szinte kizárólag használt IU jellegű töltésnél a lúgos akkumulátorok a 32 V-os feszültségen a feltöltődésük után is viszonylag jelentős áramot vettek fel. Ennek az áramnak a hatására a lúg túlmelegszik. Az ún. lúgforralás elkerülésének érdekében a gyorstöltési feszültséget a töltőáram csökkenése során, meghatározott értéknél 28 V-os pufferfeszültségre kapcsoljuk vissza.



6-2. ábra. Töltési jelleggörbe

Az akkumulátorok védelme érdekében a töltőáramot nem engedjük adott érték fölé nőni. Az áramkorlátozási értéket 50 A-re állítottuk be. Bár ez a maximális töltőáram egy 420 Ah-s akkumulátor esetén első pillanatra kicsinek tűnhet, a jelentősen megnövekedett töltési idő miatt a akkumulátorok jól feltöltött állapotban maradnak. A korábbi megoldásnál, ahol a tengelygenerátor által leadott áramot maximálták, az akkumulátor a bekapcsolt egyenáramú terhelés függvényében más-más töltőáramot kapott. Mitán a generátor áramkorlátozási értékét a lehető legnagyobb értékre kellett választani, a töltőáram lekapcsolt fogyasztók esetén rendkívül megnövekedett.

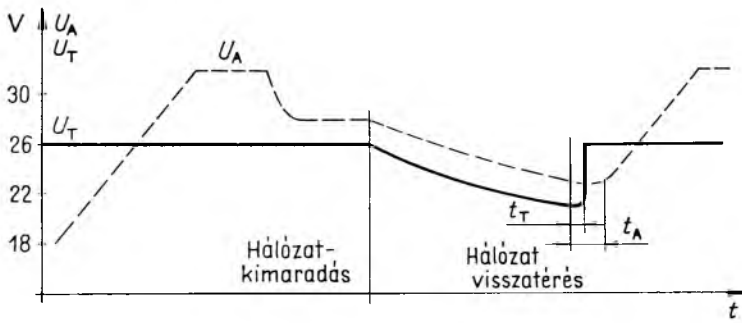
Az egyenáramú fogyasztók független, feszültségszabályozott kimenetről kapnak táplálást, tehát a fogyasztók feszültsége még abban az esetben sem emelkedik meg, amikor az akkumulátort gyorsöltési feszültségszinten töltik. Ilyen esetet mutat a 6-3. és a 6-4. ábra idődiagramjának eleje. Az akkumulátor töltési feszültsége széles tartományban változhat, miközben az egyenáramú fogyasztók feszültsége állandó 26 V marad. Túlerhelés ellen nem áramkorlátozás, hanem olvadóbiztosító véd.

A 6-1. ábrából láthatóan a főtranszformátort, amely a zárt doboz miatt rossz hűtési feltételek mellett üzemel, az akkumulátor töltési teljesítményének és az egyenáramú fogyasztás maximumának megfelelően kell méretezni. Részben emiatt, részben pedig a 30 Hz-es fűtőfeszültségi frekvencia miatt a transzformátor mérete rendkívül megnövekedett. A méret és így a súly csökkentése érdekében ezért az akkumulátor maximális töltőáramát nagy egyenáramú fogyasztás esetén a szabályozó a 6-2. ábra szerint automatikusan visszaveszi. Ez lényegében nem érinti az akkumulátor töltöttségi állapotát, hiszen a töltési idő igen nagy, és egyébként is az üzemidő töredékét teszi ki az az egybeesés, amikor nagy egyenáramú fogyasztás mellett még az akkumulátort is áramkorlátozással kell tölteni.

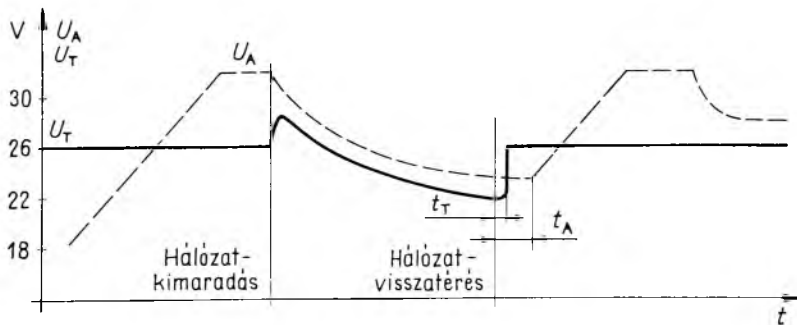
Az egyenáramú fogyasztókat az akkumulátortöltőtől független egyenirányító híd táplálja. A fűtési feszültség kimaradásakor ezért az egyenáramú fogyasztókat az akkumulátorra kell kapcsolni. Miután az akkumulátorköri és a fogyasztói kimenet negatívja közös, ezt a feladatot a +A és +T kimenetek közé kapcsolt, hálózatfigyelő által vezérelt tirisztoros kapcsoló végzi. A hálózatkimaradást az érzékelőegység 3...5 ms-on belül érzékeli. Az érzékelési idő alatt a +T kimenetre csatlakozó szűrőkondenzátor feszültsége gyakorlatilag nem csökken. A tirisztor a bekapcsolási parancsot követően

késleltetés nélkül összekapcsolja az akkumulátort és az egyenáramú fogyasztókat. A hálózat, pontosabban a fűtési feszültség visszatérését követően néhány másodperces késleltetés után a fogyasztókat tápláló szabályozó a fogyasztókat az akkumulátor sarkáról a tirisztoros kapcsolóval leválasztja és a fogyasztói kimenetre kapcsolja. További néhány másodperces késleltetés után indul az akkumulátortöltő szabályozó. Az átkapcsoló tirisztor működésekor az egyenáramú fogyasztók feszültsége a tirisztoron eső feszültséggel kisebb az akkumulátor feszültségénél. Ez a feszültségesés 1,5 V körül van. A fogyasztókra jutó feszültség időbeli változását mutatja a 6-3. és a 6-4. ábra. A 6-3. ábrán az az eset látható, amikor a hálózatkimaradás pufferüzemi töltési feszültség mellett fordul elő. Az ábrából látható, hogy ebben az esetben a fogyasztó feszültsége gyakorlatilag nem emelkedik meg. A 6-4. ábra azt az esetet mutatja, amikor az akkumulátor gyorsöltése mellett lép fel hálózatkimaradás. Ekkor a fogyasztókra jutó feszültség rövid időre a szabályozott érték fölé nő. Ez a feszültségemelkedés azonban nem jelentős, mert a töltés megszűnésével az akkumulátor feszültsége igen gyorsan leesik a kisütési szintre. A megemelkedett fogyasztói feszültség sem az izzólámpák, sem pedig a még kényesebb elektronikus áramkörök (fénycsőinverterek) üzemét nem veszélyezteti.

Az FTA 24 V/80–50 A típusú egyenáramú energiaellátót vasúti kocsi alá szerelhető kivitelben készítettük el. Két fő egységből – nagyfeszültségű transzformá-



6-3. ábra. A fogyasztói feszültség időbeli változása, ha a hálózatkimaradás az akkumulátor pufferüzemi töltésekor következik be



6-4. ábra. A fogyasztói feszültség időbeli változása, ha a hálózatkimaradás az akkumulátor gyorsöltésekor következik be

torból és az egyenirányítókat, ill. szabályozókat tartalmazó egységből – áll. A száraz kivitelű transzformatort por elleni védelmet nyújtó zárt tokozásban helyeztük el. Az erősáramú elektronikai egység áramkörei olajba merülnek. Az olaj alatti szerelés jó hűtési feltételeket és kitűnő korrózióvédelmet biztosít. Az erősáramú elektronikai egység olajmentes térrészében található az olvadóbiztosítók és a bekötési pontok.

A fűtővezetékéről táplált egyenáramú energiaellátó rendszerrel 1974-ben végeztük az első üzemi próbákat. Ez a rendszer még a tengelygenerátoros megoldáshoz volt hasonló, vagyis a szabályozott egyenirányító kimeneti árama a fogyasztók és az akkumulátor között oszlott meg. A nemlineáris lámpaelőtétek változatlanul megmaradtak. Az üzemi próbák tapasztalatai alapján döntöttünk a két független kimenet és szabályozó kialakítása mellett. Az FTA 24 V/80–50 A típusú rendszerrel felszerelt 10 db személykocsi 1982. január óta közlekedik a MÁV vonalain. A villamos mérések során kedvezőbb hatásfokot és teljesítménytényezőt mértünk, mint a korábbi fűtővezetékes energiaellátó rendszerrel.

4. Az FTA 24 V/80 – 50 A típusú, fűtővezetékéről táplált egyenáramú energiaellátó műszaki adatai

Tápfeszültség	1500 V, egyfázisú,
– túrése:	– 20%...+ 10%,
– frekvenciája:	30...52 Hz.
Fogyasztói kimenet	
– feszültsége:	26 V \pm 1,5%,
– terhelhetősége (I_T):	80 A.
Akkumulátortöltés	
– gyorstöltési feszültség:	32 V \pm 1,5%,
– pufferüzemi töltési feszültség:	28 V \pm 1,5%,
– áramkorlátozás, ha $I_T \cong 60$ A:	50 A \pm 5%,
ha $I_T = 80$ A:	30 A \pm 5%,
– gyorstöltésről visszakapcsolás pufferüzemi töltésre:	$I_A = 15$ A \pm 20%,
– pufferüzemi töltésről átkapcsolás gyorstöltésre:	$I_A = 20$ A \pm 20%.
Feszültség hullámosság a + T kimeneten:	max. 5%.
Tömeg	
– transzformatoregységé:	120 kg,
– energiaátalakító és szabályozóegységé:	160 kg.
Névleges teljesítménytényező:	0,75.
Névleges hatásfok:	80%.

7.

Mikroszámítógépes szabályozású inverter szünetmentes energiaellátó rendszerekhez

BOHUSS AURÉL – BUZÁS PÉTER – DR. GANSZKY KÁROLY –
SARKADI FERENC

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk mikroszámítógéppel szabályozott, állandó amplitúdójú és frekvenciájú szinuszos kimenő feszültséget szolgáltató invertert ismertet. A terheléstől és a DC bemenettől független állandó amplitúdó impulzusszélesség-modulációval biztosítható. A PWM jel negyedhullámra páratlan szimmetriájú, amelyből az alapharmonikust szűrő választja le. A szabályozó „look-up-table” rendszerű, a memóriában tárolt kapcsolási szögek sorozatát TPAi küsszámítógépen futtatható program állította elő. Az új számítási módszer lehetővé teszi a kapcsolási szögek számával arányos számú felharmonikus kiejtését. A frekvencia és fázis megfelelő szabályozása az inverter és a hálózat teljes szinkronozását teszi lehetővé. Az ismertetendő hardver és szoftver biztosítja, hogy a szabályozás dinamikájának követelményei az alkalmazott mikroszámítógéppel (egykártyás) kielégíthetők. Az egyfázisú kísérleti inverter főáramköre tirisztorokból épül fel.

ИНВЕРТОР С УПРАВЛЕНИЕМ НА МИКРО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ ДЛЯ БЕСПРЕРЫВНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

А. Бохушш—П. Бузаш—Др. К. Гански—Ф. Шаркади

Резюме

В статье представляется инвертор с синусоидальным выходным напряжением, постоянной амплитудой и частотой, регулируемой микро-вычислительной машиной. Постоянство амплитуды, независимой от нагрузки и входного постоянного напряжения, обеспечивается широто-импульсной модуляцией. Сигнал „PWM” имеет нечетную симметрию на четверть волны, из чего основная гармоника выделяется фильтром. Регулятор работает по системе „look-up-table”, последовательность углов включения, храненная в памяти, изготовлена программой, написанной на ЦВМ ТПАи. Новая методика расчета позволяет уничтожить высшие гармоники в количестве, совпадающим числом углов включения. Соответствующее регулирование частоты и фазы позволяет выполнить полную синхронизацию инвертора и сети. Изложенные „hardware” и „software” обеспечивают выполнение требований динамики регулирования посредством примененной микровычислительной машины (на одной плате). Силовой контур однофазного опытного инвертора построен на тиристорах.

MIKROPROZESSORGEREGELTER WECHSELRICHTER FÜR UNTERBRECHUNGSFREIE ENERGIEVERSORGUNGSYSTEME

A. BOHUSS – P. BUZÁS – DR. K. GANSZKY – F. SARKADI

Zusammenfassung

In dem Artikel wird ein mikroprozessorgeregelter Wechselrichter beschrieben, der eine sinusförmige Ausgangsspannung mit konstanter Amplitude und Frequenz liefert. Die Sicherung der von der Last und von der Speisespannung unabhängigen Amplitude erfolgt durch Impulsbreiten-Modulation. Das PWM-Signal ist bei einer Viertelwelle von ungerader Symmetrie, daraus wird die Grundwelle durch ein Filter abgetrennt. Der Regler arbeitet nach dem „Look-Up-Table“-Prinzip, die Reihe der im Speicher abgelegten Schaltwinkel wurde durch ein auf den Kleinrechner TPAi ablauffähiges Programm hergestellt. Durch die neue Berechnungsmethode wird das Eliminieren einer Anzahl von Oberwellen ermöglicht, die der Anzahl der Schaltwinkel proportional ist. Durch die entsprechende Regelung der Frequenz und der Phase wird eine vollständige Synchronisation der Wechselrichters und des Netzes ermöglicht. Durch das bekanntzugebende Hardware und Software ist es gewährleistet, dass die Forderungen der Dynamik der Regelung durch den eingesetzten Mikrorechner (eine Karte) erfüllt werden können. Der Hauptstromkreis des Einphasen-Versuchwechselrichters ist mit Thyristoren bestückt.

MICROCOMPUTER-CONTROLLED INVERTER FOR UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY SYSTEMS

BY A. BOHUSS – P. BUZÁS – DR. K. GANSZKY – F. SARKADI

Summary

The paper describes a microcomputer-controlled inverter providing an output voltage of sinusoidal waveform featuring constant amplitude and frequency. A constant amplitude, unaffected by the load and the DC input, is provided by pulse width modulation. The PWM signal exhibits an odd-number symmetry to the quarter-wave, from which the fundamental harmonic is separated by a filter. The controller is of „look-up-table” system; the series of switching angles stored in the memory is produced by a program run on a TPAi small computer. The new method of computation enables harmonics to be dropped out, the number of which is proportional to the number of switching angles. Control of frequency and phase ensures perfect synchronism between inverter and mains. The hardware and software described ensure that the demands of regulation dynamics can be satisfied by the (single-board) microcomputer employed. The main circuit of the single-phase experimental inverter is made up of thyristors.

1. Bevezetés

Az impulzusszélesség-modulált inverterek kapcsolási szögei beállíthatók úgy, hogy a kimenő jel spektruma bizonyos összetevőket ne tartalmazzon. Ez a tulajdonságuk jól kihasználható a szünetmentes energiaellátó rendszerek állandó frekvenciájú és kimeneti feszültségű invertereiben is, ugyanis a „szinuszosító” szűrők méretezését leegyszerűsíti. A szabályozás megvalósítása általában mikroszámítógépet igényel, ez azonban nem hátrány, mert további előny, hogy a párhuzamosan járó inverterek egymáshoz és a hálózathoz való szinkronizálását is el lehet végezni.

E szempontok szem előtt tartásával készült el egy mikroszámítógéppel amplitúdó- és fázisszabályozott, állandó frekvenciájú inverter.

2. Elvi felépítés

Az amplitúdószabályozott, állandó frekvenciájú PWM inverter négy fő részegységből áll (7-1. ábra):

- PC erősáramú főáramkör;
- PWM jeleket előállító egység;
- PID kompenzálóegység;
- A kimeneti váltakozófeszültséggel arányos ellenőrzőjelet létrehozó visszacsatoló egység.

A PID kompenzálószervet és a PWM jelgeneráló egységet 8085 mikroprocesszoron alapuló egykártyás mikroszámítógép valósítja meg. Az amplitúdószabályozás „look-up table” segítségével történik, azaz egy adatmemóriában a kimeneti feszültség diszkrét értékeihez tartozó PWM kapcsolási szögek sorozata van tárolva, a szabályozó ezek közül választ úgy, hogy a táblázatcím-mutatót a PID algoritmus mozgatja.

A PWM jel negyed- és félhullámra szimmetrikus, és negyedperiódusként hat kapcsolási szöveget tartalmaz. Általános esetben negyedperiódusonként N kapcsolási szög esetén az M -edik harmonikus:

$$U_M = \frac{8U}{M \cdot \pi} \left[\frac{1}{2} + \sum_{i=1}^N (-1)^i \cos(M\alpha_i) \right], \quad M = 3, 5, 7, \dots$$

ahol U a bemeneti egyenfeszültség, azaz a négyszöghullám amplitúdója.

A jelben a szimmetria miatt páros harmonikusok nincsenek.

A kapcsolási szögek táblázata (az adatmemória-tartalma) előállítására N (pl. $N = 6$) darab egyenletet lehet felírni, amelyből az első ($M = 1$) az alapharmonikus U_1 amplitúdóját adja, a továbbiak bal oldala pedig a kiejtendő harmonikusoknak megfelelően zérus.

$$f_1(\alpha) = \frac{8U}{\pi} \left[\frac{1}{2} + \sum_{i=1}^N (-1)^i \cos \alpha_i \right] - U_1 = 0,$$

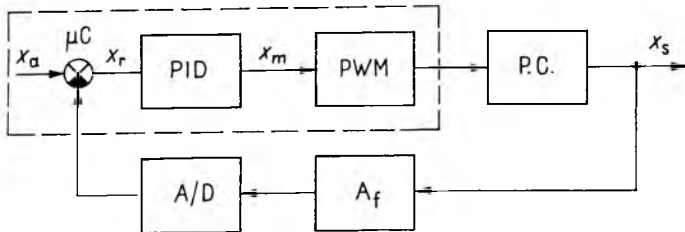
$$f_2(\alpha) = \frac{8U}{\pi M_1} \left[\frac{1}{2} + \sum_{i=1}^N (-1)^i \cos(M_1 \alpha_i) \right] = 0,$$

$$f_N(\alpha) = \frac{8U}{\pi M_L} \left[\frac{1}{2} + \sum_{i=1}^N (-1)^i \cos(M_L \alpha_i) \right] = 0,$$

ahol U_1 az alapharmonikus előírt amplitúdója, M_1 ;

M_2, \dots, M_L a kiejtendő harmonikusok rendszáma;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N$ a kapcsolási szögek.



7-1. ábra. A szabályozás hatásvázlata

Így egy olyan nemlineáris egyenletrendszer kapunk, amelynek megoldásai a különböző U_1 értékekhez tartozó $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_N$ kapcsolási szögeket szolgáltatják. A nemlineáris egyenletrendszer általános alakban:

$$\mathbf{f}(\boldsymbol{\alpha}) = \mathbf{0}$$

A megoldást valamilyen $\boldsymbol{\alpha}^{(0)}$ kezdeti értékből kiindulva Newton-módszerrel az alábbi iterációval kereshetjük meg:

$$\boldsymbol{\alpha}^{(p+1)} = \boldsymbol{\alpha}^{(p)} - \mathbf{W}^{-1(p)} \mathbf{f}(\boldsymbol{\alpha}^{(p)}),$$

ahol $\boldsymbol{\alpha}^{(p)}$ a p -edik iteráció;

$\boldsymbol{\alpha}^{(p+1)}$ a számított új érték;

$\mathbf{f}(\boldsymbol{\alpha}^{(p)})$ az egyenletrendszer helyettesítési értéke $\boldsymbol{\alpha}^{(p)}$ helyen;

$\mathbf{W}^{-1(p)}$ pedig az egyenletrendszer Jacobi-mátrixának $\boldsymbol{\alpha}^{(p)}$ helyen vett helyettesítési értékének inverze.

Ez az iteráció bizonyos matematikai feltételek teljesítése esetén biztos megoldást szolgáltat, de hátránya, hogy minden iterációs lépésben mátrixinvertálást kell végezni, így lassú. Ha az $\boldsymbol{\alpha}^{(p)}$ érték a megoldáshoz már elegendően közel van, át lehet térni a fokozatos közelítésre, ahol az iteráció:

$$\boldsymbol{\alpha}^{(p+1)} = \boldsymbol{\alpha}^{(p)} - \mathbf{M} \mathbf{f}(\boldsymbol{\alpha}^{(p)}).$$

Itt \mathbf{M} a Jacobi-mátrix $\boldsymbol{\alpha}^{(p)}$ kezdeti értékénél felvett helyettesítési érték inverze (cél-szerűen a legutolsó Newton-iterációból lehet átvenni).

A megoldást az jelenti, ha két, egymás utáni iteráció eltérése adott értéknél kisebb:

$$\|\boldsymbol{\alpha}^{(p+1)} - \boldsymbol{\alpha}^{(p)}\|; \|\boldsymbol{\alpha}^{(p)}\| < \varepsilon.$$

Az előbbi módszer felhasználásával TPAi kiszámítógépen (FORTRAN programnyelven) megoldottuk az egyenletrendszert, előállt a kapcsolásiszög-táblázat, amelyet a mikroszámítógép adatmemóriája tárol. A táblázat 1%-os kimenetifeszültség-lépésben $N = 6$ kapcsolási szögnél a 3., 5., 7., 9. és 11. harmonikusok kiejtésével készült. (Háromfázisú megoldás esetén 5., 7., 11., 13. és 19. harmonikusok kiejtése célszerű, mivel a 3. és 9. harmonikusokat a háromfázisú rendszer eliminálja.)

A számítás eredménye negyedhullámonként $N = 6$ kapcsolási szögre a 7-1. táblázatban található. Ez a táblázat csak a 10%-os alapharmonikus feszültséglépcső kapcsolási szögeit mutatja egy negyedperióduson belül.

A PID kompenzálószerv kompenzálást végez. Mivel a hibajel szoftverrel előállított digitális érték, a PID kompenzálást is a mikroszámítógéppel diszkrét módon kell megvalósítani.

A PID tag időtartománybeli alakja:

$$X_m(t) = K_p X_r(t) + K_I \int X_r(t) dt + K_D \frac{dX_r(t)}{dt}.$$

Diszkrét mintavételezett rendszer esetén:

$$X_m(nT) = K_1 X_r(nT) - K_2 X_r[(n-1)T] + K_3 X_0(nT),$$

ahol

$$K_1 = K_p + K_D/T, \quad K_2 = K_D/T, \quad K_3 = K_I T,$$

és

$X_0(nT) = X_0[(n-1)T] + X_r(nT)$, amely a szummázás rekurziós kifejezése. Ezt az egyenletet kell a mikroszámítógépnél mintavételi időszakonként (T) kiszámítani. A számítás végeredményeként $X(t)$ diszkrét értékeiből közvetlenül a PWM táblázat cím-

7-1. táblázat

U_1	1	2	3	4	5	6
0,1	14,001	27,352	41,974	54,793	69,863	82,384
0,2	14,132	26,975	42,361	54,157	70,466	81,675
0,3	14,238	26,563	42,694	53,471	71,036	80,945
0,4	14,314	26,113	42,962	52,727	71,570	80,186
0,5	14,356	25,623	43,149	51,910	72,054	79,382
0,6	14,358	25,087	43,229	50,996	72,465	78,507
0,7	14,309	24,495	43,159	49,946	72,752	77,507
0,8	14,189	23,826	42,854	48,680	72,775	76,242
0,9	13,953	23,020	42,115	47,015	72,019	74,202
1,0	13,165	21,491	39,354	43,416	65,085	66,166

mutatóját kapjuk meg, és így beavatkozhatunk a kimenő amplitúdó értékébe úgy, hogy a kiejtett harmonikusok valóban mindig zérusok lesznek.

A K_p , K_D , K_I együtthatókat úgy kell megválasztani, hogy a visszacsatolt rendszer stabilis és megfelelő dinamikájú legyen. A szabályozás két lépésben történhet. Felírva a zárt rendszert közelítő átviteli függvényt és a z -transzformációt használva számítógépes elemzéssel az együtthatók megállapíthatók úgy, hogy a rendszer stabilitási tartaléka megfelelő legyen, majd a működő rendszeren pontosítva az együtthatók értékeit (a mikroszámítógép szoftverjének állandóit módosítva) a rendszer dinamikája a kívánalmaknak megfelelően alakítható.

A számítógépes stabilitáselemzésből adódó értékeket figyelembe véve első lépésként a mikroszámítógép szoftver kettő egész számú hatványaival közelíti a szabályozási együtthatókat.

3. Mikroszámítógépes megvalósítás

Amennyiben a megoldandó feladatok mindegyikét a mikroszámítógépre bízánk és a vezérlést, ill. a szabályozást szoftver úton oldanánk meg, a processzor – véges utasításvégrehajtási idejéből következően (4...14 μ s) – a kívánt frekvenciát és szabályozási sebességet nem tudná elérni. Kellene találni egy olyan hardver – szoftver arányt, amely jó kompromisszumot biztosít a két véglet között, és a feladatot minimális költséggel oldja meg.

3.1. Hardverfelépítés és adattároló-szervezés

A hardver (7-2. ábra) fő eleme két azonos kapcsolású, 64 byte-os vezérlőtár (TAR) és a hozzá csatlakozó két 8/1-es multiplexer. A vezérlőmemória-egységek bemenetei egy 2/1-es multiplexersorozatban keresztül vagy egy számlálóláncra, vagy a mikro-számítógép buszára csatlakozhatnak. Amíg a buszon keresztül az egyik tárat feltöltjük, addig a másik tár multiplexerének kimenete vezérli a főáramkört. A feltöltés után a két tár szoftver hatására szerepet cserél. A gyors működés érdekében a vezérlőtárat byte-onként töltjük fel, és a multiplexer segítségével bitenként olvassuk ki. Mivel a kapcsolási szögek kiadandó sorozata negyedhullámra szimmetrikus, így csak negyedhullámnyi információt írunk a tárhoz és az előre-hátra számlálókkal címezve kapjuk meg a teljes félhullámot. A következő félhullám az előző negált értéke lesz. Így negyedhullámonként $64 \text{ byte} \times 8 = 512 \text{ bit}$ adódik és 2048 bit lesz a teljes hullám időbeli felosztása. Ez $0,175^\circ$ szögfelbontást jelent, és 50 Hz frekvenciánál a minimális hatalmas tárhelyet igényelne az adatmemóriában (100 db 512 bit), ezért a táblázat szervezése a következők szerint történik:

Kiszámítjuk a két, egymás melletti kapcsolási szög által meghatározott időtartamot, ennyi ideig kell a kimeneti PWM jelnek „1” vagy „0” értékűnek lennie.

$$1^\circ \text{ ideje (50 Hz)} = 20 \text{ ms} / 360^\circ = 55,6 \mu\text{s},$$

$$1 \text{ bit ideje (50 Hz)} = 20 \text{ ms} / 2048 = 9,77 \mu\text{s},$$

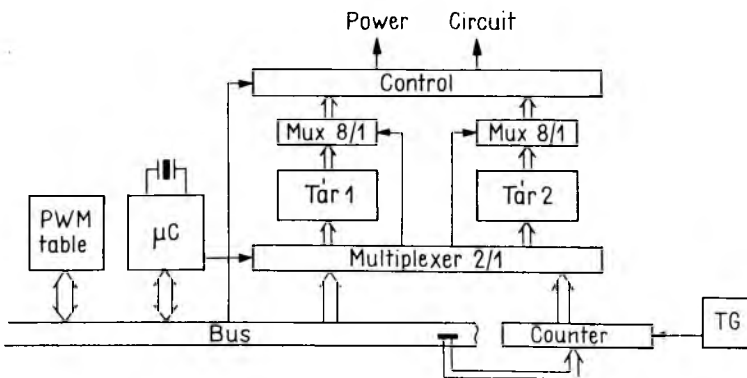
$$N_{\text{bit}} = \frac{(\alpha_{i+1} - \alpha_i) 55,6 \mu\text{s}}{9,77 \mu\text{s}}.$$

Az egyes bit számokat byte-okká és a maradék bitekké alakítjuk át.

$$\text{INT} \left[\frac{N_{\text{bit}}}{8} \right] = B \text{ (byte-szám),}$$

$$N_{\text{bit}} - B \cdot 8 = B' \text{ (maradék).}$$

Ezek után az adatmemória tartalma egy kimenő amplitúdóra vonatkoztatva olyan, hogy a páratlan helyen levő értékek mindig byte-darabszámot jelentenek, a páros helyen levő értékek pedig az előtte és utána levő byte-ok maradékát. Páros számú kapcsolási szögnél (pl. 6) az első byte-ok mindig egyesek (FFH), majd felváltva nullák



7-2. ábra. A rendszer blokkdiagramja

(\emptyset H) és egyesek (FFH) következnek egy-egy maradék byte beszúrásával. A 64 byte-ból visszamaradó érték mindig „1”. (A szinusz negyedhullám csúcsa.)

A táblázat kiszámítását μ MS-VKISOFT BASIC rendszerrel végeztük el. Bemenetként a TPAi által adott kapcsolásisög-táblázat szolgált, kimenetként listát és lyukszalagot adott a rendszer a beírandó byte-okról, az ismertetett formában. Az adatmemória nagysága így 12×100 byte (csak 9600 bit szemben az 51 200 bittel), 10%...110%-os kimeneti amplitúdótartományt és 1% amplitúdólépcsőt véve figyelembe. A vezérlőtárat töltő szoftver gondoskodik arról, hogy a byte-okat megszámlolva egyes és nullás byte-okat írjon a táriba, ill. a „maradék” byte-ot változatlanul áttöltse. A táblázat végén a 64 byte-ból visszamaradt helyeket FFH byte-okkal tölti fel. Ezzel a társzervezéssel egy tárfeltöltési idő kb. 1...1,2 ms hosszúságúnak adódik.

A vezérlőtárat meghajtó számláncok is feltölthetők a mikroszámítógép buszáról. A számláncnak más és más kezdeti értékeket adva a kimeneti PWM jel fázisa mindig más és más lesz, így a kimeneti szinuszos jel fázisa folyamatosan állítható. Az állandó frekvenciát a számlálót meghajtó kvarcstabilitású óragenerátor biztosítja (TG).

A számlánc órajel-frekvenciája is változtatható a meghajtó TIMER leosztásának változtatásával, így a kimeneti jel frekvenciája szoftver úton korrigálható, ill. a kívánalmaknak megfelelően változtatható.

3.2. Szoftverfelépítés

Az adattároló címmutató módosítását a visszacsatoló körben levő (l. a 7-1. ábrát) A/D átalakító megszakítása kezdeményezi, amennyiben az IT maszk ezt engedi (befejeződött a vezérlőtár töltése). Az IT rutin beolvassa az A/D értékét, kivonja az X_a alapjelből, majd a kapott hibajel értékét átadja a PID kompenzáló algoritmusnak. A kompenzáló algoritmus az előző értéket is figyelembe véve képezi az új módosított jellemzőt, és a kapott pozitív vagy negatív eltéréssel módosítja az adattároló címmutató előző állását.

A címmutató állásának változtatása (vagy állandósult állapotban nullával való módosítása) egy szinuszhullám ideje alatt kb. 15...20-szor megy végbe.

A vezérlőtár töltés magasabb prioritású művelet a címmodosításnál, tehát a mintavételi sebességet és így a szabályozás holtidejét a vezérlőtár töltési ideje határozza meg. A visszacsatolásban levő A/D átalakító működési ideje átlapolta a vezérlőtár-töltéssel, így az időt nem befolyásolja.

Az A/D átalakító által kezdeményezett IT rutin a táblázat (adatmemória) címmutatóját mind pozitív, mind negatív irányban határozza, túlvezérlés esetén egy minimális kimeneti szinten túl feszültség nem kerülhet ki.

4. A kísérleti eredmények

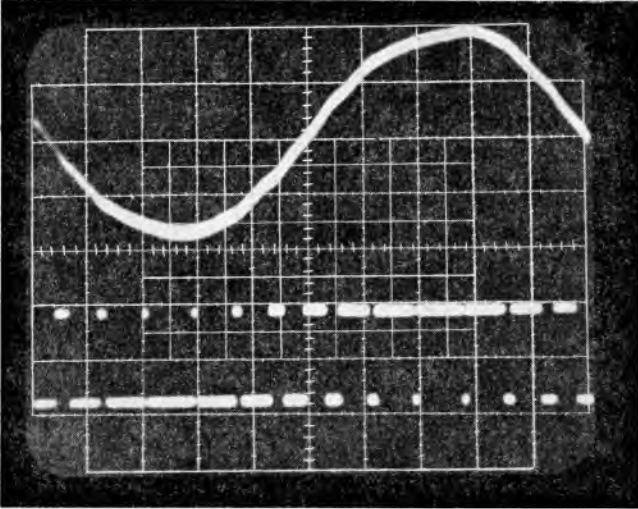
A kísérleti modellt tranzisztoros és tirisztoros főáramkörrel egyaránt megépítettük. A mikroprocesszoros szabályozókör a kétféle főáramkörhöz kis módosításokkal alkalmas. (A híd elemeinek meghajtásában van lényeges különbség.)

A tirisztoros és tranzisztoros főáramkörök vezérlésénél figyelembe kell venni azt a tényt, hogy a kétféle kapcsolóelem kapcsolási ideje lényegesen eltérő, és így a PWM jelsorozat rövidebb impulzusait a tirisztornak néhányszor 10 μ s nagyságú vezetőirányú feléledési ideje miatt a tirisztoros híd feldolgozni már nem tudja.

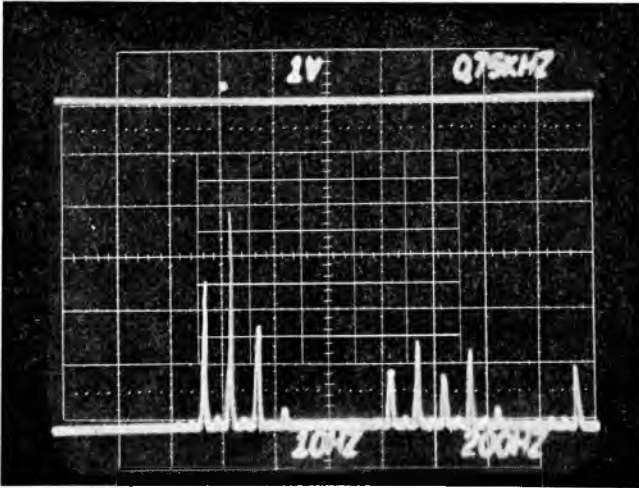
Tranzisztoros kapcsolóelemeknél a néhány μs -os kapcsolási idő nem csontkítja a PWM jelsorozatot.

A 7-3. ábrán egy 70%-ig kivezérelt híd kimeneti szinuszelét, ill. a meghajtó PWM jelsorozatát láthatjuk. A szűrt szinuszel torzítása kisebb, mint 3%. Ezt látszik igazolni a 7-4. ábrán látható frekvenciaspektrum is, amely a kimeneti erősáramú szűrő előtt készült. Az első megjelenő harmonikusok frekvenciája 650–750–850 Hz. (A spektrumanalizátor sávszélessége 10 Hz, felbontóképessége 200 Hz/div. A fehér felső pont a 750 Hz-es frekvenciát jelenti.)

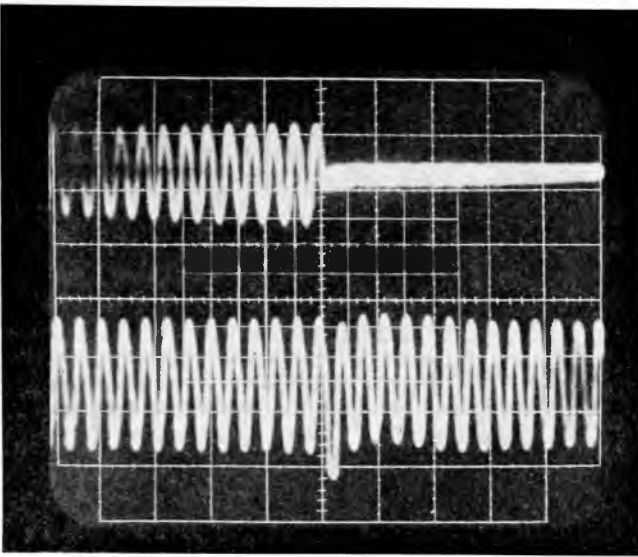
A frekvenciaspektrum felharmonikusrészét a kimeneti szűrő csökkenti a kis torzítás elérésére. A rendszer dinamikus viselkedését két oszcillogram mutatja be.



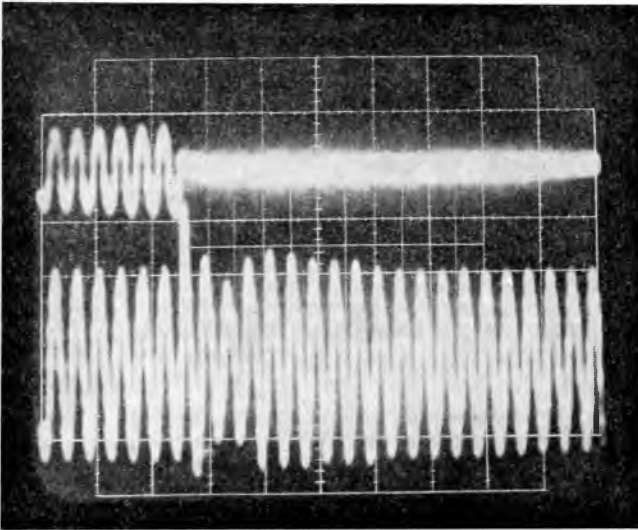
7-3. ábra. Kimeneti szinusz és PWM jel



7-4. ábra. PWM jel frekvenciaspektruma
(10 Hz sávszélesség, 200 Hz/div felbontással)



7-5. ábra. Ellenállás terhelés kikapcsolása
(50 ms/div felbontással, $R_T = 10 \Omega$)



7-6. ábra. Induktív terhelés kikapcsolás
(50 ms/div felbontással, $R_T = 10 \Omega$, $L = 100 \text{ mH}$)

A 7-5. ábrán ellenállás terhelés kikapcsolása látható. Az áram megszűnése után (felső görbe) jól látható a kb. 1 periódusnak megfelelő idejű feszültségbeállítás. A 7-6. ábra induktív terhelés kikapcsolását mutatja. A szabályozás beállítási ideje a szűrő, a kondenzátoros osztó és a terhelés közötti teljesítménylengések miatt itt már hosszabb.

Az oszcillogramok osztott telepes, vezérelt félhidas tirisztoros inverteren készültek, 60 V_{eff} kimeneti feszültségnél és 1 kVA névleges teljesítménynél.

Irodalom

- [1] *J. B. Castel—R. G. Hoft*: Optimum PWM Waveforms of Microprocessor Controlled Inverters. 1978. Power Electronics Specialists. Conference, June 13...15. 1978, Syracuse, New York.
- [2] *E. Dwyer—B. T. Ooi*: A look up table based mikroprocessor controller for a three phase PWM inverter. IECI-79 Proceedings-Industrial and Control Applications of Mikroprocessors, March 19...21. 1979.
- [3] *Giuseppe S. Buja*: Optimum Output Waveforms in PWM inverters. IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-16. No. 6. Nov/Dec. 1980.
- [4] *R. Umnikrishnan*: Stability Analysis of a Thiristor DC-DC converter. IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation. Vol. IECI-22, No. 3. August 1980.
- [5] *J. H. Aylor—R. L. Ramey—G. Cook*: Design and Application of a Mikroprocessor PID Predictor Controller. IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation Vol. IECI-27. No. 3. August 1980.
- [6] *Bohuss A.—Buzás P.—Ganszky K.*: Mikrocomputer Controlled Inverter for Uninterruptible Power Supplies. Conf. Rec. Mikroelectronics in Power Electronics and Electrical Drives Conference, Oktober, 1982. Darmstadt.

8.

A Ferihegyi repülőtér új optikai repülésbiztosító rendszerének áramellátása és központi vezérlése

*HUSZÁR TIBOR (UVATERV) – DR. PONICZKY KÁROLY –
SOÓS LÁSZLÓ – VÖRÖS MIKLÓS*

ÖSSZEFOGLALÁS

Az optikai repülésbiztosító rendszer tervezésénél arra törekedtünk, hogy a korszerű kapcsolástechnikával létrehozott berendezések feleljenek meg az új repülőtérrel szemben támasztott minőségi követelményeknek. Az üzembiztonság növelése érdekében speciális, nagy megbízhatóságú alkatrészeket használtunk, ezenkívül a mechanikai felépítésnél arra törekedtünk, hogy a berendezések szervizelhetősége minél egyszerűbb és gyorsabb, ezen keresztül működésük minél megbízhatóbb legyen.

ТОКОСНАБЖЕНИЕ И ЦЕНТРАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НОВОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТА АЭРОПОРТА „ФЕРИХЕДЬ”

Т. Гусар (УВАТЕРВ) — Др. К. Поницки — Л. Шош — М. Верей

Резюме

В статье представляется новая оптическая система безопасности полета, сооруженная в аэропорту „Ферихедь”. Приводится сводка заданий, связанных со светотехническим управлением посадочной магистрали и дорогами соединений. Излагается центральная управляющая система на микропроцессоре и детально представляется непрерывная система токооснабжения с регулируемым выходом по току.

DIE STROMVERSORGUNG UND ZENTRALE STEUERUNG DES NEUEN OPTISCHEN FLUGSICHERUNGSSYSTEMS DES FLUGHAFENS FERIEGEGY

T. HUSZÁR (UVATERV) – DR. K. PONICZKY – L. SOÓS – M. VÖRÖS

Zusammenfassung

In dem Artikel wird das neue optische Flugsicherungssystem, das auf dem Flughafen von Ferihegy installiert wurde, erörtert. Es werden die Aufgaben bezüglich der lichttechnischen Steuerung, der Landebahn und der Rollwege zusammengefasst. Es wird die mikroprozessorgesteuerte zentrale Steuereinheit gezeigt. Es wird das unterbrechungsfreie Stromversorgungssystem mit Stromregelung detailliert beschrieben.

POWER SUPPLY AND CENTRAL CONTROL OF THE NEW OPTICAL FLIGHT SECURITY SYSTEM OF FERIHEGY AIRPORT

BY T. HUSZÁR (UVATERV) – DR. K. PONICZKY – L. SOÓS – M. VÖRÖS

Summary

The paper describes the new optical flight security system installed at Ferihegy airport. It gives a summary of tasks associated with the illumination control of the landing track and the runways. It presents the microprocessor-type central control unit and gives a detailed description of the continuous power supply system with regulated current output.

1. Bevezetés

A ferihegyi nagyberuházás keretében új leszállópálya létesült a hozzá tartozó gurulóút-rendszerrel együtt. A gurulóút-rendszer kb. 9,5 km hosszú és 22,5 m széles. Az új leszállópálya 3707,4 m hosszú és 60 m széles. A beruházási program szerint III/A kategóriás repülőtér készül. Az ICAO (Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet ANNEX 14) előírásai szerint a III/A kategóriás repülőtér esetében 200 m vízszintes látást kell biztosítani. A függőleges látásra nincs követelmény.

A változó időjárás és látási viszonyok között a pilóta részére az optikai repülésbiztosító berendezés segíti a tájékozódást. Az optikai repülésbiztosító berendezés három fő részből áll: a fénytechnikai rendszerből, az áramellátó rendszerből és a központi vezérlésből.

2. Fénytechnikai rendszer

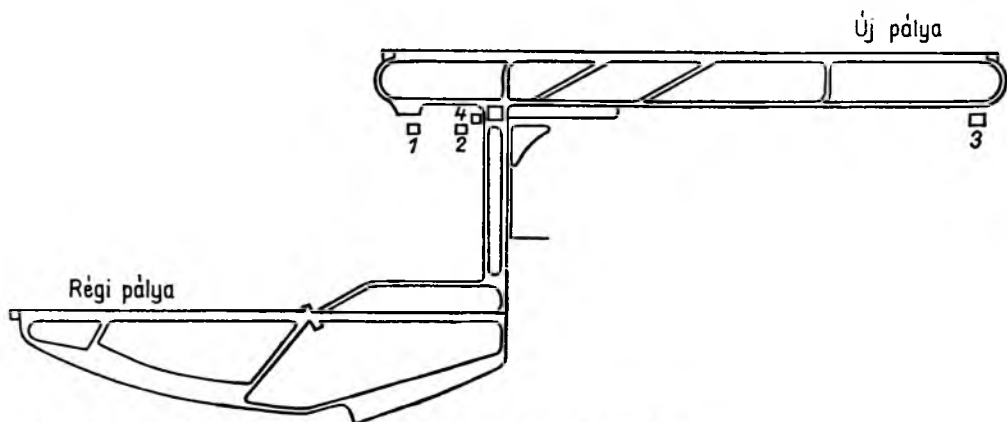
A le- vagy felszálló repülőgép pilótája részére a pályán és a gurulóúton telepített fénytechnikai berendezések jelölik ki a helyes útvonalat. A fénytechnikai berendezések pálya- és gurulóútfényekből állnak.

A *pályafényeket* a bevezető fénysor, a küszöb- és pályavégfénysor, a földterési zónafény, a pályatengelyfény, a nagy- és kis intenzitású pályaszegélyfény és a villanófény, a gurulóútfényeket pedig a szegély- és tengelyfények, továbbá a stoppfények alkotják.

A pályafények elrendezése a következő. A bevezető fénysor a pályaküszöbtől 900 m hosszán, 30 m-enként kerül telepítésre. A pályaküszöb előtt 300, ill. 150 m-re van a keresztfény. A pályaküszöbtől 300 m-re kezdődik és 30 m-enként kerülnek telepítésre a villanófény sor lámpatestjei, amelyek egymás utáni felvillanással mutatnak a pálya felé. A pálya küszöbét a zöld színű küszöbfénysor jelöli ki. A fehér színű földterési zónafények mutatják meg a pilótának azt a sávot, ahova le kell szállnia. Ezeket a pályaküszöbtől 900 m hosszán a pályába süllyeszti.

A pályatengely-vonalfények jelölik ki a pálya optikai tengelyét. Ezek szintén a pályába süllyesztettek, színük fehér, kivéve az utolsó 600, ill. 300 m-t, ahol sárga, ill. piros színűek. A pálya végét piros színű pályavégfénysor jelöli ki, ezt a küszöbfények mögé telepítik.

Külön fehér fények jelölik ki a leszálló gép pilótájának a 3°-os leszállási szöveget. Ha ettől eltérő szögben száll le, akkor a pálya mentén telepített irányító fények fehértől eltérő színe — rózsaszín, piros — figyelmezteti erre a pilótát.



8-1. ábra. A repülőtér leszállópályáinak és gurulóútjainak vázlatos rajza

1. 95. sz. transzformátorállomás
2. 96. sz. transzformátorállomás
3. 97. sz. transzformátorállomás
4. Irányítótorony

A *gurulóút* egyik legfontosabb optikai berendezése a zöld színű tengelyfény. A kék színű gurulóút-szegélyfények mutatják a gurulóút szélét. Szükség esetén piros színű stoppfények állítják meg a kereszteződéshez érkező repülőgépeket.

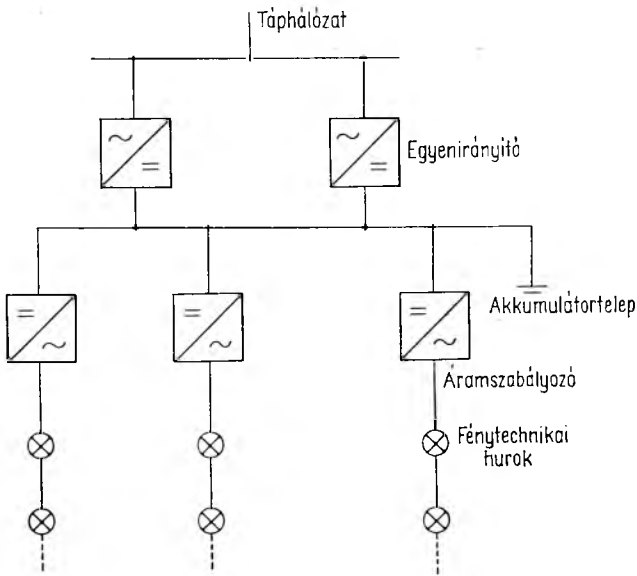
A különféle feladatokat ellátó lámpatesteket nagy területen telepítették. A látási viszonyoknak megfelelően a bevezető fények, a pályafények és a gurulóútfények intenzitását a pilóta kérésének megfelelően kell változtatni. Ezt egyszerűen és biztonságosan úgy lehet megoldani, ha az azonos feladatokat ellátó lámpákat sorbakötjük, és a belőlük kialakított fénytechnikai hurkot változtatható nagyságú áramot előállító áramgenerátoros jellegű berendezéssel tápláljuk. A fénytechnikai hurok lámpáit leválasztótranszformátorokon át kötötték sorba. Ennek egyrészt életvédelmi oka van, másrészt így egy izzólámpa kiégése esetén nem szakad meg az áramkör.

A repülőtér régi és új leszállópályáinak, gurulóútjainak vázlatos rajzát a 8-1. ábra mutatja.

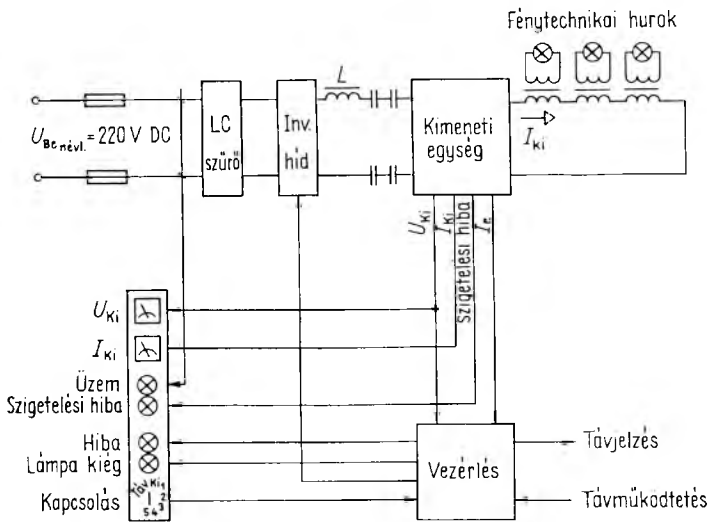
A pályafények táplálása a leszállópálya két végén levő 95 és 97 jelű, a gurítófények táplálása a 96 jelű transzformátorállomásba telepített áramellátó berendezésekről történik.

3. A fénytechnikai rendszer áramellátása

A fénytechnikai hurkokat szünetmentes áramellátást biztosító berendezésekkel táplálják (8-2. ábra). A szünetmentes áramellátó berendezés egyen- és váltakozóáramú részből áll. Az egyenáramú részben az egyenirányítók a hálózat jelenlétekor az akkumulátortelep egyidejű cseppöltése mellett táplálják az áramgenerátorokat. Hálózat-kimaradáskor az energiaellátást az akkumulátortelep veszi át, majd a hálózat visszatérésekor ismét az egyenirányítók táplálják a fogyasztókat, és egyidejűleg feltöltik az akkumulátortelepet. A váltakozóáramú rész a közös egyenfeszültségű sínre csatlakozó áramgenerátorokból áll. A fénytechnikai hurkok teljesítményének megfelelően négyféle: 4 kVA-es, 8 kVA-es, 16 kVA-es és 36 kVA-es névleges teljesítményű áramgenerátort fejlesztettünk ki. E négytagú család konstrukciós szempontból egységes felépítésű. Az egyszerűbb mechanikus kivitelezés érdekében a 36 kVA-es berendezést két párhuzamos egységből állítottuk össze.



8-2. ábra. Fénytechnikai hurok táplálásának vázlatos elrendezése



8-3. ábra. Áramgenerátorok felépítése

A 8-3. ábrán látható mindegyik áramgenerátor-típus lényegében egyfázisú, hídkapcsolású, tirisztoros inverter. A főáramkör elvi megoldása mindegyik berendezésben azonos. Az egyenáramú bemeneti pontokról biztosítékon és LC szűrőkön keresztül jut a tápfeszültség a tirisztoros hidra. A hídkapcsolás az [1], [2] irodalomból jól ismert Mc. Murray-féle elrendezés, hatásfokot és megbízhatóságot javító áramköri megoldásokkal kiegészítve. A működési frekvencia 50 Hz. A híd kimenetére csat-

lakozik a kimeneti soros fojtótekeres, amellyel az izzólámpák számára még megengedett árammeredekség beállítható. Ehhez csatlakozik a nagyfeszültségű leválasztó transzformátort, a mérőváltókat és a táplált lámpahurok földhöz viszonyított szigetelési ellenállását mérő műszert tartalmazó kimeneti egység. A kimeneti egységet és transzformátort a 4 kVA-es áramgenerátoroknál közös szekrénybe építettük, a többi berendezésnél pedig külön transzformátorkamrába telepítettük.

Az áramgenerátor saját működéséről, ill. hibájáról távjelzést ad az irányítótoronyban levő központi vezérlés részére.

Az áramgenerátor a szekrényajtón levő kapcsolóval helyi és távműködtetés állásba kapcsolható. Helyi működtetésnél a berendezés – ugyanennek a kapcsolónak a beállításával – a fényforrásokra előírt fényerősségi fokozatba állítható. Távműködtetés állásban a központi vezérlésből jövő fokozatkiválasztó és bekapcsolási parancs egyidejű jelenlétekor kapcsol megfelelő fokozatba a berendezés. Az ellenőrzőjel mindkét esetben a megfelelő lámpahurok mérőváltóval mért árama. Az áramgenerátor szabályozója az egyes fokozatoknál előírt áram effektív értékét szabályozza, mert a lámpahurokban folyó áram alakja erősen függ a beállított fokozattól és a bekapcsolt lámpák számától.

Egy-egy lámpahurokban több izzólámpa van. Ha az áramváltókon keresztül sorbakötött lámpák közül – állandó hurokáram mellett – egy vagy több kiég, megváltozik a kimeneti feszültség. Ennek az érzékelésével a berendezés a lámpakiégésről jelzést ad.

Az izzólámpák élettartama nem korlátlan, adott üzemóra után több meghibásodás várható. Ennek megelőzésére a berendezésbe – a beépített lámpák üzemidejének nyilvántartására – üzemóra-számlálót építettünk. Minden áramgenerátorban két üzemóra-számláló van. Egyik a maximális fényáram bekapcsolási idejét méri, másik pedig az összes (bármely fokozatban történt) bekapcsolási időt. A telepített áramgenerátorok egy csoportja a 8-4. ábrán látható, egy áramgenerátor kimenő áramát és kimeneti feszültségét adott terhelésnél a 8-5. ábra mutatja.

4. Központi vezérlés

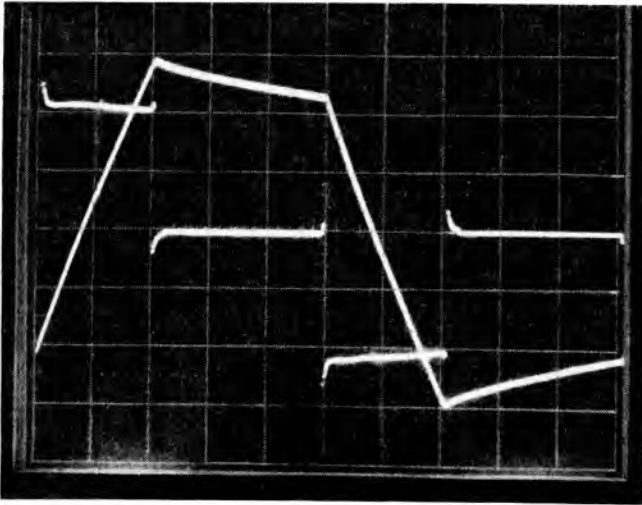
A központi vezérlés feladata, hogy a fénytechnikai hurkok fényerősségét, azok ki- és bekapcsolt állapotát a pilóta kérésének, valamint a légiforgalom biztonságának megfelelően változtassa, ezért parancsadó és a rendszer állapotát ellenőrző visszajelző részből áll.

A központi vezérlés fő részei: az irányítótoronyba telepített vezérlőpultok és a vezérlőegység, valamint a transzformátorállomásokba telepített illesztőegység.

A parancskiadás az irányítótoronyban elhelyezett vezérlőpultokról történik. Mivel a toronyhoz viszonyítva a pálya két vége és a gurulóutak eltérő irányban helyezkednek el, három vezérlőpultot telepítettek. Az 1 pult tartalmazza a pálya és a gurulóutak kijelölésére szolgáló kezelőelemeket, a 2 és 3 pult csak a pályafényeket vezérli. A két utóbbi elhelyezése olyan, hogy a repülésirányító a leszállópálya valamelyik végére ráláthasson. A széljárástól és az egyéb légköri viszonyoktól függően ugyanis egyidejűleg csak egy le- és felszállási irányt jelölnek ki, amelyik a pálya valamelyik végéhez van hozzá rendelve. Az irányítószemélyzet külön választókapcsoló segítségével jelöli ki azt a vezérlőpultot, amelyik a parancsokat adja ki, míg a másik két vezérlőpult csak kijelzésre szolgál. A három pult közötti esetleges kapcsolóállás eltérést lámpavillogás jelzi. Az irányítószemélyzet vagy előzetesen beprogramozott útvonalon irányítja egyetlen gombnyomásra a repülőgépet, vagy a forgalmi helyzettől függően szakaszonként engedi tovább kézi vezérléssel. A központi vezérlés ezért



8-4. ábra. A telepített áramgenerátorok egy csoportja



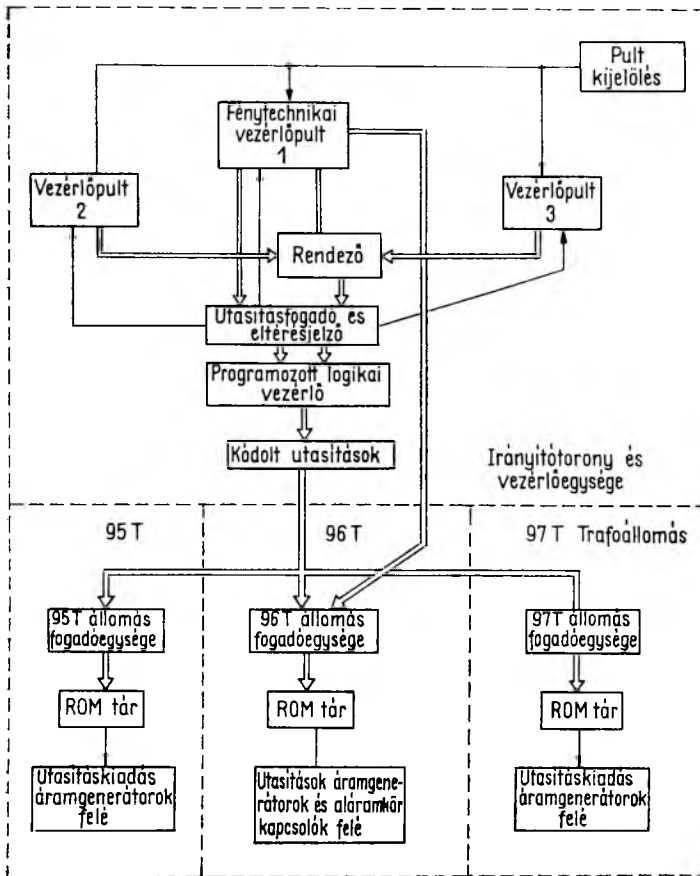
8-5. ábra. Áramgenerátorok kimeneti jellemzőinek változása az idő függvényében a terhelés ki- és bekapcsolása esetén
 $U \approx 100 \text{ V/cm}$; $I \approx 20 \text{ A/cm}$; $I_{eff} = 48 \text{ A}$; $t = 2 \text{ ms/cm}$

olyan megoldású, hogy egy logikai processzorral megvalósított rendszer programja tartalmazza az irányítás automatikus lehetőségeit, egy másik hierarchikusan fölérendelt relés vezérlőrendszer ad lehetőséget az irányítószemélyzetnek a programtól eltérő utasítások kiadására.

A vezérlőprogram az irányítópultról érkező utasításokat kódolja. Az így kódolt utasítások képezik egy-egy beégetett ROM tár címzését a transzformátorálmásokon. A rendszer vezérléstechnikai blokkvázlatát a 8-6. ábra mutatja. Az áttekinthetőség érdekében a visszajelzéseket nem rajzoltuk be.

A több vezérlőpult miatt olyan vizsgálórész is került a programba, amely figyeli, hogy történt-e változás a fel-, ill. leszállóprogramban. Minden egyes változás hatására új utasításkód kerül kiadásra. Ez a módosítás azonban csak akkor hatásos a pályafények esetén, ha nincs eltérés a kapcsolóállásban az 1, 2 és 3 pult adatai között. Amíg eltérés van, a régi utasításnak megfelelő adatokat adja ki a vezérlés.

A gurulóutakat beállító vezérlőegység programozási módja eltér az előzőtől. Egyrészt állandóan vizsgálja, hogy melyik gurítási program van kijelölve, másrészt gondoskodik, hogy a kézzel beállított világítás elsőbbséget élvezzen a programozott-hoz képest.



8-6. ábra. A rendszer vezérléstechnikai blokkvázlata

A bevezetőfényoszor és a pályafények intenzitása öt-öt fokozatban, míg a guruló-utak fényei három fokozatban állíthatók. A vezérlőpultokból érkező parancs a vezérlőegységbe 24 V-os jelszinten érkezik, míg a transzformátorállomásokban levő tárak és a fénytechnikai hurkok felé 60 V-os vagy 220 V-os jelszinten megy tovább a távolság és a rendszer felépítésének függvényében.

Az egyes áramgenerátorok bekapcsolt állapotáról és az áramkörök üzemképességéről, valamint a stoppfények kigyújtásáról visszajelzések érkeznek az irányítótorony vezérlőegységébe, amely feldolgozás után a mozaiktábla jelzőlámpáit vezérli. A vezérlés adatokat továbbít a repülőtér komplex számítógépes központjába is.

Irodalom

- [1] *Mc.Murray, W.*: SCR Inverter Commutated by Auxiliary Impulse. IEEE Trans. Commun. Electron 83. (1964) 824...829.
- [2] *Soós László—Vörös Miklós*: Külső impulzussal kommutáló inverter. Elektrotechnika. 73. évf. 1980. 3—4 szám, 143...149. old.

9. Relés követőszabályozás alkalmazása áramellátási inverterek megvalósításánál

DR. NAGY LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk röviden összefoglalja az áramellátási célokat szolgáló inverterekkel szemben támasztott követelményeket és a relés követőszabályozás alkalmazásának legfőbb előnyeit.

Bemutatja a szabályozókör felépítését és viselkedését különböző relékarakterisztikák alkalmazása esetén. Az elvi elemzések eredményeit üzemelő berendezéseken készült oszcillogrammok illusztrálják.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЛЕЙНОГО СЛЕДЯЩЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕРТОРОВ ТОКОСНАБЖЕНИЯ

Др. Л. Надь

Резюме

В статье кратко обобщаются требования инверторов, обеспечивающих токо-снабжение. Обобщаются важнейшие преимущества применения релейного следящего регулирования.

Представляется построение и поведение схемы регулирования в случае применения различных релейных характеристик. Результаты принципиальных анализов иллюстрируются осциллограммами действующих установок.

ANWENDUNG VON FOLGEREGELUNG BEI DER REALISIERUNG VON WECHSELRICHTERN FÜR STROMVERSORGUNGSZWECKE

DR. L. NAGY

Zusammenfassung

In dem Artikel werden diejenigen Forderungen zusammengefasst die an Wechselrichter gestellt werden, die zu Stromversorgungszwecken dienen. Es werden die wesentlichen Vorteile der Anwendung von Folgeregelung zusammengefasst.

Es werden der Aufbau und das Verhalten des Regelkreises bei Anwendung von verschiedenen Komparatorcharakteristika gezeigt. Die Ergebnisse der theoretischen Analysen sind durch Oszillogramme illustriert, die an betriebenen Einrichtungen gewonnen sind.

APPLICATION OF BANG-BANG CONTROL IN INVERTERS OF UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY SYSTEMS

BY DR. L. NAGY

Summary

The paper gives a brief summary of the requirements to be met by inverters employed in UPS. It summarizes the major advantages of the application of bang-bang control. It presents the arrangement and behaviour of the regulation loop for different comparator characteristics. The results of theoretical analyses are illustrated by oscillographic records of operating systems.

A szünetmentes áramellátó berendezések feladata bizonyos kitüntetett fogyasztók vagy fogyasztói csoportok biztonságos, zavarmentes táplálásának biztosítása. Ennek feltétele, hogy megfeleljenek a fogyasztó által támasztott igényeknek és az egyéb alkalmazási követelményeknek. A kimeneti villamos jellemzők közül általában a következőket szükséges figyelembe venni.:

- a kimeneti feszültség névleges értéke és az ettől való eltérések mértéke;
- a frekvencia névleges értéke és ingadozása;
- a kimeneti feszültség jelalakjának szinuszosága;
- háromfázisú kimenet esetén a vektorcsillag torzulásának legnagyobb mértéke;
- a túlterhelhetőség jellege és mértéke.

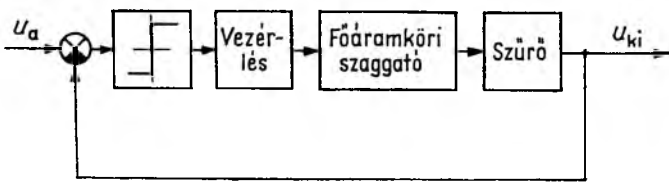
Ezekhez járulnak az egyéb tényezők, mint pl. méret, mechanikai felépítés, ill. kialakítás, határfok, hűtési mód, rádiófrekvenciás zavarhatás, akusztikus zaj stb.

Az egyes fogyasztók egyedi igényei e felsorolt jellemzők szempontjából természetesen jelentős mértékben eltérhetnek egymástól. Az áramellátó berendezéseket fejlesztők és gyártók előtt ennek megfelelően két lehetséges út áll a felhasználói követelmények kielégítésére. Az egyik szerint minden esetben az adott fogyasztóhoz kell illeszteni a táprendszert, míg a másik olyan áramellátás kifejlesztését tekinti megoldásnak, amely alkalmas a legszigorúbb feltételek teljesítésére is és ennek következtében gyakorlatilag általánosan alkalmazható. A nagyobb fejlesztési és közvetlen előállítási költségek feltétlenül megtérülnek a megnövekedett szériamennyiség figyelembevételével.

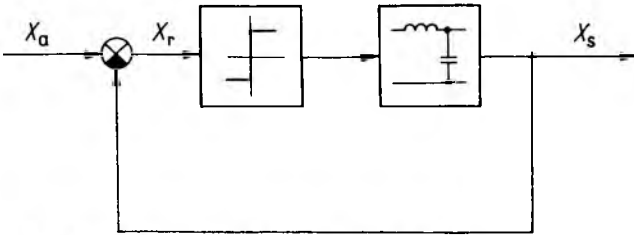
A széles körű alkalmazhatóság eléréséhez természetesen azt kell biztosítani, hogy a különböző jellemzők a legkényesebb igényeknek is megfeleljenek. Különösen meghatározó szerepet játszanak ebből a szempontból az ún. dinamikus tulajdonságok. Ezek megítélésére ma már nemzetközileg is elterjedt módon a kimeneti feszültségnek 50 vagy 100%-os terhelésugratás hatására a névleges értéktől való eltérésének mértékét és az erre az esetre vonatkozó kiszabályozási időt használják. Ma már a minimális követelmény az, hogy a pillanatértékben vett eltérési maximumok 50%-os terhelésugratás esetén ne haladják meg a 10%-ot, a kiszabályozási idő pedig a két-három periódusidőt.

A kedvező dinamikus tulajdonságok elérésének egyik igen hatásos módja szinuszos alapjelű követőszabályozás alkalmazása a szünetmentes áramellátó rendszerek invertereiben. A szabályozókör 9-1. ábra szerinti felépítése a 9-2. ábrának megfelelően egyszerűsíthető, ha feltételezzük, hogy a rendszert alkotó valamennyi elem ideális, tehát a vezérlőáramkörök és a főáramköri félvezetős kapcsolók időkéés nélküliek és veszteségmentesek, valamint hogy az inverter kimeneti szűrője egy egyszerű LC tag, amelynek rezonanciafrekvenciája a névleges kimeneti frekvenciának legalább az 5...10-szerese.

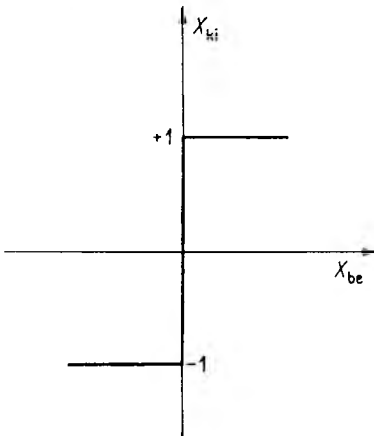
A rendszer tranziens viselkedésének megítélésére vizsgáljuk a 9-2. ábra szerinti rendszert először úgy, hogy a 9-3. ábrán látható hiszterézis- és holtidő nélküli relét



9-1. ábra. Szinuszos alapjelű követőszabályozással ellátott inverter szabályozókörének felépítése



9-2. ábra. A szabályozókör egyszerűsített sémája



9-3. ábra. Hiszterézis és holtidő nélküli ideális relé jelleggörbéje

alkalmazzuk. A hibajel trajektóriáit ábrázolva a fázissíkon a folyamatok jól követhetők. Ha számításainkat relatív egységekben végezzük úgy, hogy feszültségalapnak a főáramköri inverter szaggatókapcsolás tápfeszültségének értékét választjuk és az egyszerűbb kezelhetőség érdekében bevezetjük a

$$\tau = \frac{t}{\sqrt{LC}} = \omega_0 t$$

új időegységet, ahol ω_0 a kimeneti szűrő sajátfrekvenciája, akkor a hibajelet az

$$\ddot{x}_r + x_r = x_a - \text{sgn} x_r \quad (1)$$

összefüggés írja le és a fázisrajtóriák az alábbi egyenlettel megadott körök:

$$(x_r + E)^2 + \dot{x}_r^2 = (X_{r0} + E)^2 + \dot{x}_{r0}^2. \quad (2)$$

A körök középpontjának eltolása:

$$E = \operatorname{sgn} x_r - x_a. \quad (3)$$

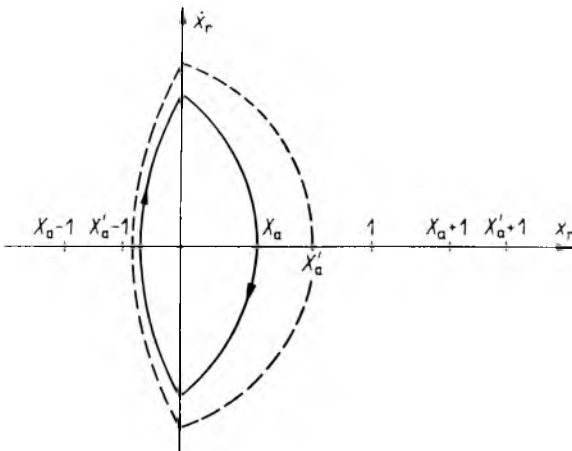
Az X_{r0} és \dot{x}_{r0} a $\tau = 0$ pillanatban vett kezdeti értékei x_r -nek és \dot{x}_r -nak.

Az (1), (2) és (3) összefüggések értelmezésénél még egy dolgot figyelembe kell venni. A szabályozókör alapjele ugyan szinuszosan változó mennyiség, de minthogy a szűrőkör sajátfrekvenciája – amely a folyamatok szempontjából meghatározó – lényegesen magasabb, a tranziensek vizsgált időszakára állandónak tekinthetjük.

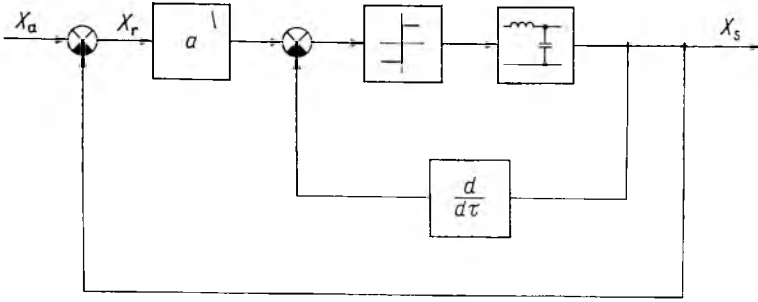
A szabályozókör működése minőségének megítélésére vizsgáljuk viselkedését alapjelugratáskor, mégpedig az egyszerűbb tárgyalhatóság és a tisztánlátást esetleg zavaró másodlagos jelenségek kiküszöbölése érdekében az első bekapcsolás esetére. A kapcsolási folyamatot szemléltető 9-4. ábrán jól megfigyelhető, hogy a kialakuló állandósult határciklus hibamaximuma a mindenkorli alapjel értékével egyezik meg, tehát ez a rendszer így gyakorlati felhasználásra alkalmatlan.

Megváltozik a helyzet, ha kéthurkos szabályozókört alkalmazunk, azaz, ha visszavezetjük a hibajel első deriváltját is (9-5. ábra). A rendszer kapcsolóegyenese ekkor az eddigi $x_r = 0$ helyett $\dot{x}_r = -ax_r$ lesz, és a bekapcsolási folyamat a 9-6. ábra szerint alakul. Az ábrán B -vel jelölt pontban ideális elemek esetén végtelen frekvenciás határciklus alakul ki. Az ily módon állandósult hiba értéke a B pont helyzetétől és ezáltal a kapcsolóegyenese meredekségétől függ.

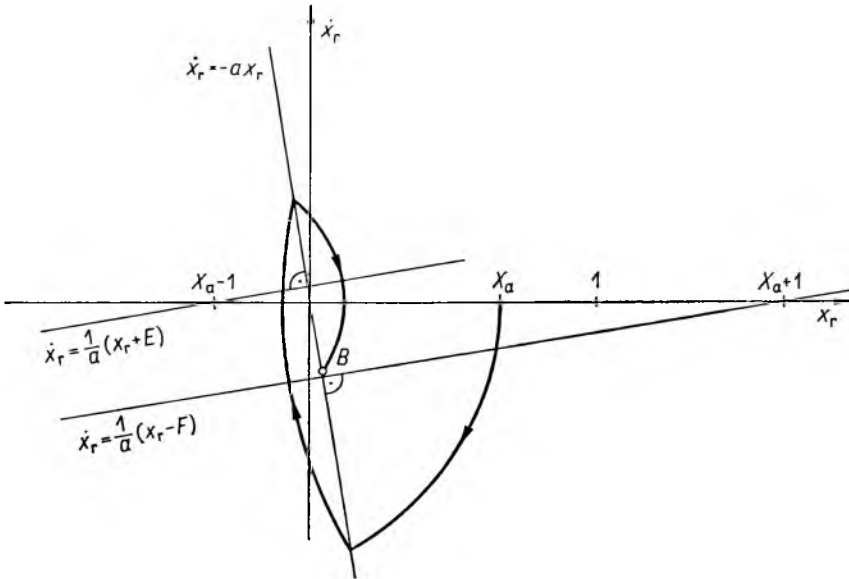
Valóságos viszonyok között természetesen gondoskodni kell arról, hogy az állandósult határciklus során az átkapcsolások csak az alkalmazott főáramköri kapcsolóelemekkel megvalósítható frekvenciával menjenek végbe. Ezt szolgálja pl. az előrevezető ágban a relé után beiktatott ún. frekvenciakorlátozó áramkör, amely biztosítja, hogy a főáramköri inverterkapcsolás az egymást követő átkapcsolási parancsokat csak meghatározott kivárási idő leteltével kaphassa meg. Ez a megoldás alkalmas arra, hogy gyakorlati viszonyok között megfelelően működő áramellátási invertereket lehessen építeni alkalmazásával, bár elvi egyszerűsége mellett kétségtelen hátrányai



9-4. ábra. Az ideális relét tartalmazó rendszer állandósult határciklusai



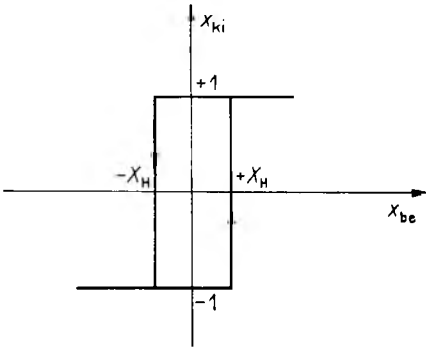
9-5. ábra. A kéthurkosra bővített szabályozókör elvi felépítése



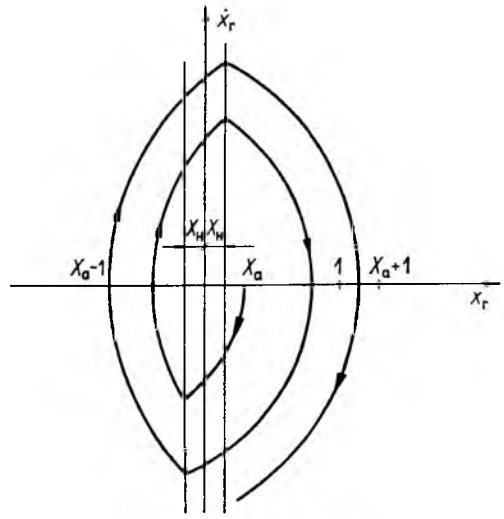
9-6. ábra. Bekapcsolási folyamat a 9-5. ábra szerinti szabályozóköri felépítés esetén

is jelentkeznek, elsősorban azért, mert a beiktatott, a rendszertől idegen korlátozás egyik okozója lehet kisfrekvenciás vagy egyenáramú összetevők kialakulásának a fő-áramkörben.

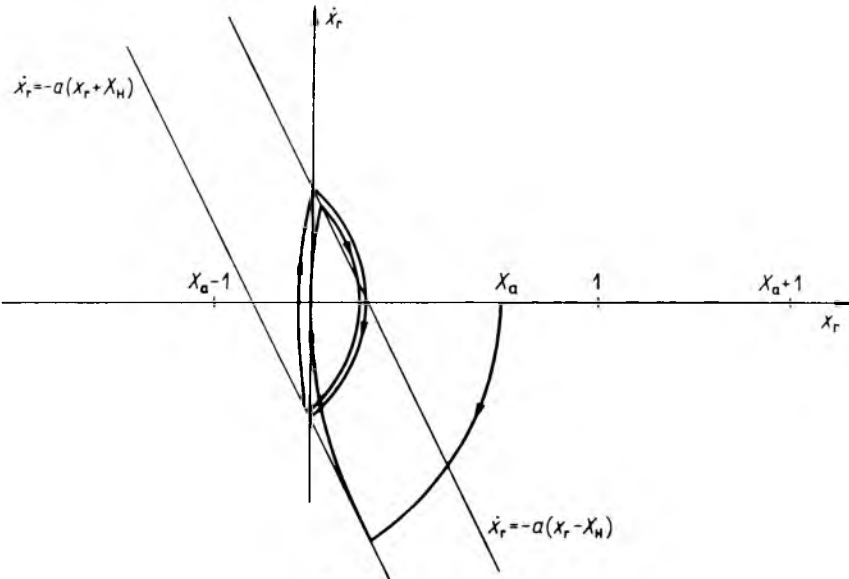
Az állandósult határciklushoz tartozó kapcsolási frekvencia korlátozásának másik lehetséges módja a hiszterézises relékarakterisztika alkalmazása (9-7. ábra). Ha csak a kimenő jelet csatoljuk vissza, akkor a bekapcsoláskor kialakuló határciklus divergens (9-8. ábra). A kimenő jel első deriváltjának visszavezetésével viszont konvergens határciklushoz jutunk (9-9. ábra). A főáramköri inverterkapcsolás helyes méretezéséhez és működtetésének megválasztásához meg kell határoznunk, hogy a teljes alapjeltartományt figyelembe véve mekkora a legkisebb bekapcsolási idő, vagyis az a legrövidebb időtartam, ameddig valamelyik kapcsolási irányt működtetni kell. Minthogy az alapjel szinuszos, elegendő egyetlen negyedperiódust vizsgálnunk. A különböző pozitív és negatív vezetési időtartamokat a bekapcsolási szögekből számít-



9-7. ábra. Histerézises relékarakterisztika



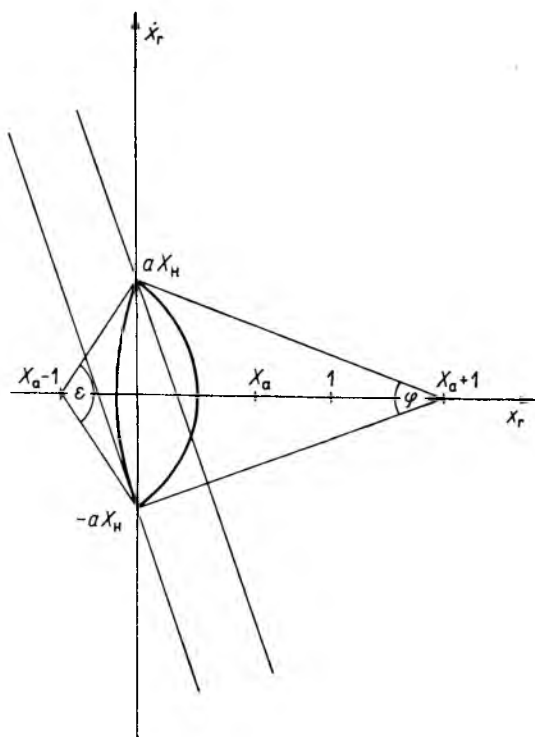
9-8. ábra. Egyhurkos szabályozókör bekapcsolási folyamata histerézises relé alkalmazása esetén



9-9. ábra. Kéthurkos szabályozókör bekapcsolási folyamata histerézises relé alkalmazása esetén

hatjuk. A szögeket a 9-10. ábra alapján határozhatjuk meg. A legkisebb szögérték, amelyhez a legrövidebb – tehát a főáramkörü méretezés szempontjából mértékadó – bekapcsolási idő tartozik, $X_a = 1$ esetén:

$$\varphi_{\min} = 2 \arctg \frac{aX_H}{2}. \quad (4)$$



9-10. ábra. A vezetési szögek meghatározása

A hiszterézishurok szélességének és a kapcsolóegyenes meredekségének megfelelő megválasztásával biztosítható, hogy két, egymást követő átkapcsolás között a főáramkörü kapcsolók zavartalan működtetéséhez szükséges kivárási idő rendelkezésre álljon.

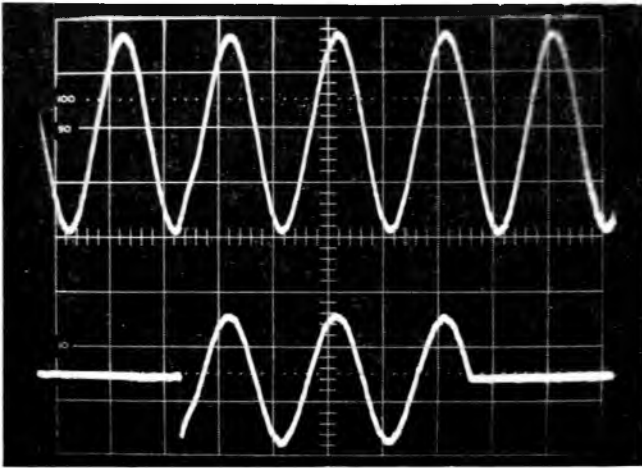
A reléjellemzők megválasztását még további szempontok is befolyásolják. Ezek közül a legfontosabb az, hogy az inverter kimeneti feszültségének a követési hiba által meghatározott harmonikus torzítása az előírt érték alatt maradjon. Ha megelégszünk egy, a gyakorlati tervezőmunka szempontjából elegendő közelítő összefüggés meghatározásával a torzítási tényező és a határciklus állandósult hibamaximuma között, akkor a határciklus során kialakuló két, különböző amplitúdójú szinuszgörbe megfelelő szakaszaiból összeadódó lengéseket helyettesíthetjük egyetlen szinuszos jellel, amelynek amplitúdója éppen e hiba maximuma. Ezzel a biztonság javára tévedünk, hiszen a határciklus valójában aszimmetrikus az $X_a = 0$ eset kivételével.

Tekintettel arra, hogy a kimenő jelben a határciklust helyettesítő felharmonikus lesz az egyetlen, a torzítási tényező definíciós összefüggésének felhasználásával egyszerűen meghatározható a hibamaximum és a klirr-faktor közötti kapcsolatot:

$$x_{rm} = \sqrt{\frac{k^2}{1-k^2}} x_{s1m} \approx k x_{s1m}, \quad (5)$$

ahol x_{rm} az állandósult hiba maximuma; x_{s1m} a szabályozott jellemző alapharmonikusának csúcserőértéke és

k a harmonikus torzítási tényező.



9-11. ábra. Az inverter kimeneti feszültségének (felső sugár) változása a névleges nagyságú terhelés ugrásszerű rákapcsolása és lekapcsolása esetén (alsó sugár a terhelőáram)

A hiba legnagyobb értékét az alapjel maximumánál kapjuk:

$$x_{\text{rm}} = a x_{\text{H}}. \quad (6)$$

Innen a reléjellemzők és a torzítási tényező kapcsolata:

$$a x_{\text{H}} \approx k x_{\text{sm}}. \quad (7)$$

A röviden vázolt elemzések jól mutatják, hogy a relés követőszabályozás alkalmazásával milyen egyszerűen kezelhető és jól kézbentartható rendszerek alakíthatók ki. Alapvetően ennek köszönhetőek a gyakorlati megvalósítás során elért rendkívül jó dinamikus tulajdonságok. Ezek illusztrálására szolgáljon egy oszcillogram (9-11. ábra), amely egy 16 kVA névleges teljesítményű egyfázisú inverter vizsgálatairól készült, és a kimeneti feszültség (felső sugár) változásait mutatja a névleges nagyságú terhelés ugrásszerű rákapcsolása és lekapcsolása esetén (az alsó sugár a terhelőáram).

Irodalom

- [1] Dr. Nagy László—Husztai György: Relés követőszabályozás alkalmazása szinuszos kimeneti feszültségű inverterek megvalósításához. 3. Erősáramú Elektronika konferencia, Budapest, 1977.
- [2] Dr. Nagy László—Husztai György: Követőszabályozással ellátott szinuszos kimeneti feszültségű inverterek analízise. VKI Közlemények 7. kötet, 1979.
- [3] Dr. Nagy László—Soós László: Követőszabályozással ellátott inverterek üzemtani tulajdonságai. VKI Közlemények 8. kötet, 1982.

10.

Modul felépítésű, szünetmentes áramellátó rendszerek

NÉMETH GÉZA—PRÁGAI GYÖRGY

ÖSSZEFOGLALÁS

A gazdasági élet minden területén növekszik a szünetmentes áramellátás utáni igény. Az azonos végcél eléréséhez — a helyi sajátosságok következtében — szinte mindig egyedi rendszerfelépítés szükséges. A gazdaságosság megköveteli, hogy az egyedi igények is tipizált egységekből legyenek kielégíthetők. Ennek érdekében fejlesztjük a tipizált modulokat, ill. az azokból felépített szünetmentes áramellátó rendszereket. A modulfelépítés a mechanikai problémákon túlmenően egy sor elvi kérdést is felvetett, ezek egynémelyikéről cikkünkben is említést teszünk. A kutató-fejlesztő munka még nem zárult le, de az első eredmények már ipari alkalmazásra kerültek: a VBEV Elektronikai Gyára 1981—82-ben VKI licenc alapján gyártotta le a Ferihegyi Repülőtér rekonstrukcióhoz szükséges egyenáramú szünetmentes rendszereket.

БЕСПРЕРЫВНЫЕ СИСТЕМЫ ТОКОСНАБЖЕНИЯ МОДУЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ

Г. Немет—Д. Прагаи

Резюме

В любой области хозяйственных дел возрастает потребность в бесперерывном токоснабжении. Для достижения одинаковой конечной цели, из-за местных условий почти всегда потребуются уникальные системное построение. Экономия потребует, чтобы уникальные требования удовлетворить из типизированных единиц. Для этого разработаются типизированные модули и системы беспереывного токоснабжения, построенные из них. Модульное построение, вместе с механическими проблемами, поставил целый ряд принципиальных вопросов, из которых несколько излагается в статье. Научная работа еще не завершена, но первые результаты уже применяются в производстве: завод ВБЭВ-Электроника в 1981—82 г. на основе лицензии ВКИ изготовил беспереывные системы постоянного тока, необходимые для реконструкции аэропорта „Ферихель”.

MODULAR AUFGEBAUTE UNTERBRECHUNGSFREIE STROMVERSORGUNGSSYSTEME

G. NÉMETH—GY. PRÁGAI

Zusammenfassung

Auf allen Gebieten des Wirtschaftslebens steigt der Bedarf unterbrechungsfreier Stromversorgung. Um das selbe Endziel zu erreichen, ist wegen der lokalen Eigenheiten fast in allen Fällen der Aufbau eines individuellen Systems notwendig. Durch die Wirtschaftlichkeit ist es jedoch erforderlich, dass auch die individuellen Bedürf-

nisse aus typisierten Einheiten befriedigt werden können. Um diese Forderung erfüllen zu können, werden die typisierten Moduln bzw. die aus diesen aufgebauten unterbrechungsfreien Stromversorgungssysteme entwickelt. Durch den modularen Aufbau ist es über die mechanischen Probleme hinaus zu einer Reihe von prinzipiellen Problemen gekommen. Einige von diesen werden auch in diesem Artikel erwähnt. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit ist noch nicht abgeschlossen, die ersten Ergebnisse sind jedoch bereits zu industrieller Anwendung gekommen: die Elektronische Fabrik von VBEV hat die zur Rekonstruktion des Flughafens von Ferihegy notwendigen unterbrechungsfreien Gleichstromsysteme 1981–82 auf Grund einer VKI-Lizenz gefertigt.

UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY SYSTEMS OF MODULAR DESIGN

BY G. NÉMETH – GY. PRÁGAI

Summary

There is an increasing demand for uninterruptible power supplies in every field of economic life. Although the ultimate goal is given, it is almost invariably an individual system design that is required to meet the local needs. Economic considerations require that, even in individual cases, the demands be satisfied by the use of standardized modules. To this end the standardized modules (and UPS systems made up of them) are being developed by us. In addition to mechanical problems, the modular construction have raised a number of theoretical questions, some of which are mentioned also in the paper. The research-development work has not yet been completed, but the first results are already implemented in the industry: in 1981–82 the Electronic Factory of VBEV manufactured the no-break DC supply systems for the reconstruction of Ferihegy airport on the basis of a VKI licence.

1. Bevezetés

A szünetmentes áramellátás iránt mutatkozó érdeklődés az elmúlt években ugrás-szerűen megnőtt, különösen a váltakozóáramú fogyasztók energiaellátását célzó rendszerek utáni kereslet sokszorososa a korábbinak. Ezzel együtt megnöttek a minőségi követelmények is, és mindinkább előtérbe került a speciálisan egyedi fogyasztói igények kielégítése is. Ez jórészt a számítógépek rohamos elterjedésével magyarázható, hiszen a manapság szokásos számító, adatgyűjtő, rendszerező feladatok mellett a technológiai folyamatok irányítása és vezérlése is mindinkább elképzelhetetlen nélkülük. A megnövekedett igények kielégítése a hagyományosnak tekinthető forgógépcsoportokkal egyre kevésbé volt megoldható és mindinkább előtérbe kerültek a statikus átalakítókat tartalmazó rendszerek.

2. Az áramellátó rendszerek fejlődése

A VKI-ban az első szünetmentes áramellátási célra fejlesztett félvezetős egyenirányító, amely a későbbiek során a postai áramellátó rendszerek alapegységévé vált, 1959–60-ban készült el, az első egyenáramú áramellátó rendszert a Magyar Postánál 1962-ben helyezték üzembe. Az azóta eltelt időben az egyenáramú áramellátó rendszerek jelentős fejlődésen mentek keresztül mind az alapegységeket alkotó berendezések, mind pedig rendszertechnikájuk tekintetében. A kezdeti diódás egyenirányítós és főáramköri mágneses erősítővel vezérelt egyenirányítókat felváltották a tirisztoros egyenirányítók; a pótcellás rendszereket a konverteres rendszerek.

A postai rendszerekkel párhuzamosan fejlesztették az ún. segédüzemű rendszereket 24 V, 48 V, 110 V és 220 V névleges egyenfeszültségre, egy- és kéttelepes kivitelben.

A váltakozóáramú rendszerekkel kapcsolatos kutató–fejlesztő tevékenység is közel két évtizedes múltra tekinthet vissza. Kezdetben forgógépcsoporttal, később statikus inverterrel üzemelő rendszerek készültek. Az első időkben nem fejlesztették a teljes rendszert az intézetben, leginkább csak a DC/AC átalakítót, ill. az azzal szorosan kapcsolódó részeket. Így kezdetben a telefonközpontok egyenáramú áramellátásának kiegészítő részeként – azok 48 V-os akkumulátorairól táplálva – készültek inverterek néhány kVA teljesítményhatárig. Az első kifejezetten váltakozóáramú áramellátó rendszer erőművi kazánautomatika táplálására készült 6,3 kVA névleges rendszerteljesítménnyel, 2/1-es redundáns kiépítésben, az egyéb célokat is szolgáló 220 V-os segédüzemi egyenfeszültségű hálózatról táplálva.

A követelmények növekedése szükségessé tette, hogy a kutató–fejlesztő tevékenység az áramellátó rendszer egészére kiterjedjen, ezért az 1979-ben megalakult 8. főosztály alapfeladatául az áramellátó rendszerek komplex kutatás–fejlesztését jelölték meg. Munkánkat két irányban folytattuk, egyrészt a rendszert alkotó berendezések (egyenirányító, inverter) műszaki jellemzőit optimalizáltuk, másrészt olyan rendszerkonfigurációkat kerestünk, amelyek a megbízhatóság és üzembiztonság prioritása mellett kielégítik a mindig változó fogyasztói igényeket.

A szünetmentes váltakozóáramú áramellátó rendszerek felépítése és elvi működése közismert. A váltakozóáramú táphálózatból vett energiát egyenirányítva akkumulátorban tároljuk, majd a táphálózat kiesésekor ezt a tárolt egyenáramú energiát alakítjuk inverterrel a fogyasztó igényének megfelelő váltakozóáramú energiává. Ennek a láncnak meghatározó eleme az inverter, mivel működési jellemzői döntően meghatározzák a teljes rendszer paramétereit is. Így érthető, hogy a kutató–fejlesztő munka jelentős részét az inverterre fordítottuk, és sikerült egy igen jó dinamikus tulajdonságú és emellett kis torzítású invertert létrehozunk. A kedvező paramétereket az inverternek a relés (állásos) követőszabályozás elvén működő modulátor-kapcsolása biztosítja. A hagyományosnak tekinthető inverterek hídkapcsolású váltóirányítóinak kimeneti feszültsége ugyanis váltakozó pozitív–negatív négyszögimpulzus, ahol a feszültség szabályozás a négyszögimpulzusok kitöltésének változtatásával történik. A kellően kis torzítású szinuszos kimeneti feszültséget meglehetősen nagyméretű kimeneti szűrővel lehet csak biztosítani. Félperióduson belül többszöri kapcsolással, impulzusszélesség-modulációval a szűrő méretei valamelyest csökkenthetők.

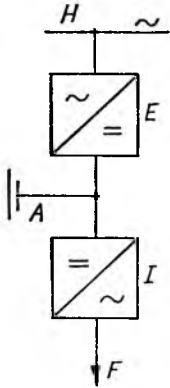
Ezeknél az invertereknél általában értéktartó szabályozást alkalmaznak, ahol – mivel az alapjel általában egyenfeszültség – a kimeneti váltakozófeszültséget egyenirányítva és szűrve állítják elő a szabályozókör ellenőrzőjelét, ami a dinamikus tulajdonságokat kedvezőtlenül befolyásolja.

A kimeneti szűrő méreteinek csökkentése, valamint a dinamikus tulajdonságok javítása érdekében vizsgáltuk a relés követőszabályozás inverterekben való alkalmazhatóságának elvi lehetőségeit, valamint a realizálás módozatait. A megvalósított berendezésekben a kimenő jel egy szinuszos alapjelet másol nagy pontossággal a szokásosnál rövidebb kiszabályozási idővel. Ezt olyan kéthurkos szabályozókörrel értük el, amelynél nemcsak a kimeneti jellemző, hanem annak differenciálhányadosa is vissza van csatolva. Az elért eredményt jól szemlélteti néhány adat az inverter minőségi jellemzőiről:

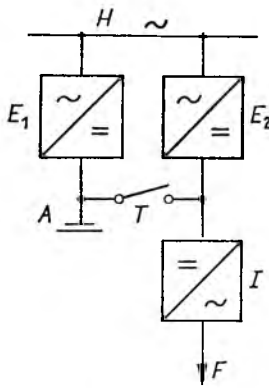
a kimeneti feszültség

- statikus pontossága: $\pm 2\%$
- harmonikustorzítása névleges jellemzőknél jobb, mint 5%
- frekvenciapontossága: $\pm 1\%$

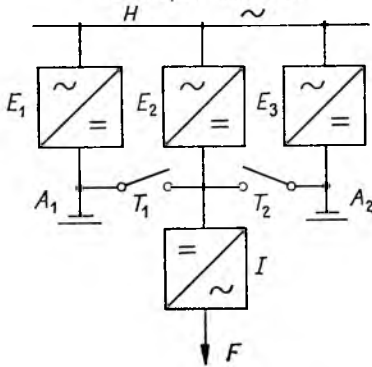
Blokkrendszer



Egytelepes rendszer



Kéttelleges rendszer



10-1. ábra. Váltakozóáramú áramellátó rendszerek rendszertechnikai vázlatja

E egyenirányító; *I* inverter; *A* akkumulátortelep; *F* fogyasztó; *T* telepkapcsoló; *H* hálózat

- letörés, ill. túllövés csúcserőtelje 100%-os névleges terhelésugrás esetén max: 10%,
- kiszabályozási idő max: 10 ms.

Rendszertechnikai téren kidolgoztuk a blokk, az egytelepes, a kéttelleges rendszer-konfigurációt. Ezek blokkvázlata a 10-1. ábrán látható.

Könnyen belátható az egytelepes rendszer előnye a blokkrendszerhez képest: a telep kezelése és karbantartása a rendszerről leválasztva, annak zavarása nélkül, üzem közben is elvégezhető. Az E_1 egyenirányító feladata elsősorban a telep töltése, ezért teljesítménye E_2 -nél kisebbre is választható, azonos teljesítmény esetén viszont rendszertechnikai tartalékot is képez. Ennek a rendszernek az a hátránya, hogy a telep karbantartásakor bekövetkező hálózatkimaradás rendszerkiesést okoz. Ezen segít a kéttelleges rendszer, amelyben az egyik telep karbantartása alatt a másik biztosítja az üzemet hálózatkiesés alatt is.

Mind egyik konfiguráció kiépíthető 1/1, 2/1 és 3/2-es redundanciával, azaz a beépített egységek melegtartaléka rendre: 0%, 100% és 50%. Belátható, hogy – azono-

san 1/1 kiépítést tekintve – az egytelepes rendszer nagyobb megbízhatóságú, de bonyolultabb és költségesebb a blokkrendszerhez képest, és ugyanez elmondható a kéttelleges rendszerről is, mind a blokkrendszerhez, mind az egytelepes rendszerhez viszonyítva. Redundáns kiépítéssel tehát a megbízhatóság fokozódik ugyan, de ezzel egyidejűleg a költségek és a bonyolultság is nőnek. A megfelelő rendszerkonfiguráció kiválasztása mindig a műszaki és a gazdaságossági tényezők gondos elemzését követő kompromisszum eredménye.

3. Az áramellátó rendszerek konstrukciós problémái

A villamos berendezések és a belőlük felépített rendszerek megbízhatóságának egyik jellemzője a rendelkezésre állás, azaz, hogy meddig képes egy berendezés hiba nélkül üzemelni és a keletkezett hibát kijavítva mikor állítható újra üzembe. Mindkét jellemzőt csak részben befolyásolja az áramköri konstrukció, nem elhanyagolható a mechanikai felépítés sem. A célszerűen megválasztott mechanikai konstrukció a gazdaságos üzemeltetést is kedvezően befolyásolhatja, mivel nemcsak a karbantartási időt rövidítheti meg, de ésszerű tartalékolást is lehetővé tesz.

Azt is tekintetbe kell venni, hogy egy szünetmentes áramellátó rendszer beruházási költségeit kedvezően befolyásolhatja a kisebb helyigény és az egyszerűbb, tehát gyorsabb telepíthetőség. Ezek a követelmények ugyancsak szorosan összefüggenek a mechanikai konstrukcióval.

Az is nyilvánvaló, hogy a lehetőség szerint egységesített konstrukció – mind áramköri, mind mechanikai részről – még egyedi vagy kis sorozatok esetén is a gyártó–kivitelező elsőrendű érdeke, mivel a gazdaságos gyártás egyik feltétele.

Nem elhanyagolható az sem, hogy a különböző fogyasztói igények általában eltérőek még azonos felhasználónál is. Jóllehet az eltérések többnyire nem a lényegét érintik, hanem csak egy-egy részegységre vonatkoznak, mégis lehetetlenné teszik „szabványosított” rendszercsaládok kialakítását.

A korábbi években a hagyományosnak tekinthető rendszerfelépítést követtük mi is. A rendszert alkotó berendezések külön-külön kerültek fejlesztésre, és az így kialakult, tipizált egyenirányító-család és invertercsalád egyes tagjaiból állítottuk össze rendszereinket. Könnyen belátható – mivel a fogyasztói igények nem „tipizáltak” –, hogy választanunk kellett a fogyasztói igény maradéktalan kielégítése vagy a berendezések tipizálása között. Ebből adódik, hogy a közelmúltig kifejlesztett rendszereink – bár alapvetően azonos feladatok ellátására készültek – kisebb-nagyobb mértékben eltérnek egymástól.

A követelmények átfogó elemzése azt eredményezte, hogy rendszereinkhez olyan mechanikai konstrukciót kell kialakítanunk, amely:

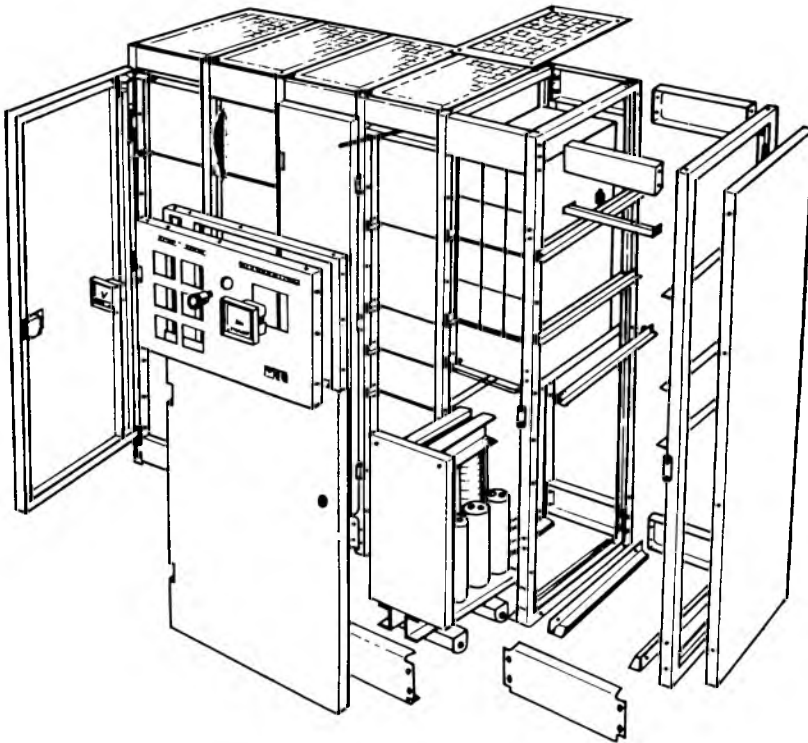
- az áramköri konstrukció szabadságát és a folyamatos kutatómunkán alapuló továbbfejlesztését biztosítja;
- tipizálható elemekből épül fel, így az egyedi rendszer is „sorozatgyártható”;
- szerelhetősége a gyártás során és a telepítésnél egyaránt egyszerű és ezért gyors;
- térfogata és helyigénye a korábbinál kisebb.

Ennek érdekében a rendszert alkotó berendezéseket önállóan szerelhető áramköri egységekre bontottuk, és ezeket tipizált méretű mechanikai egységekbe, modulokba szereltük. A modulok méretét és tömegét úgy határoztuk meg, hogy emberi erővel mozgathatók legyenek, mivel ez feleslegessé teszi emelőgépek alkalmazását mind a gyártás, mind a telepítés során.

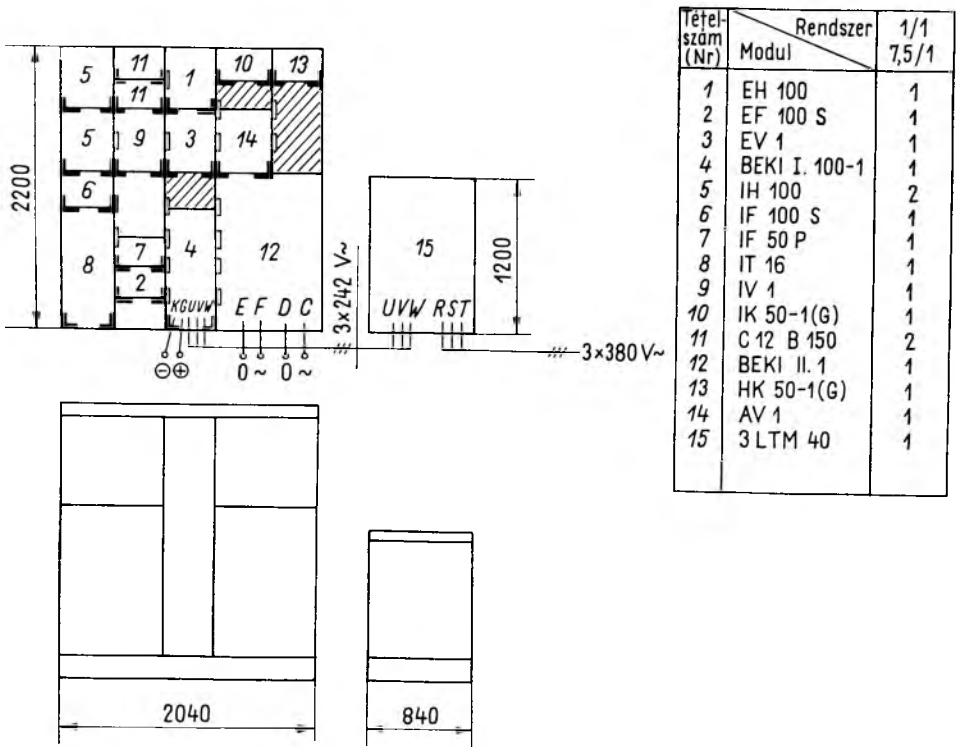
A kialakított modulok:

- | | |
|--------------------------------------|--------------|
| a) Inverter | |
| – félhídmodul: | IH... |
| – soros fojtómodul: | IF...S |
| – párhuzamos fojtómodul: | IF...P |
| – transzformátormodul: | IT... |
| – kondenzátormodul: | C...B... |
| – kimeneti tirisztor-kapcsolómodul: | IK... |
| – vezérlésmodul: | IV... |
| – párhuzamosítómodul: | IP... |
| b) Egyenirányító | |
| – félvezetős hídmodul: | EH... |
| – szűrőfojtómodul: | EF...S |
| – vezérlésmodul: | EV... |
| c) Kiegészítő- és csatlakozóegységek | |
| – hálózati átkapcsolómodul: | HK... |
| – átkapcsolóvezérlés-modul: | ÁV... |
| – bemeneti-kimeneti csatlakozómodul: | BEKI I–IV... |
| – egyenirányító főtranszformátor: | 3LTM... |

Az egyes modultípusokon belül két-három változat is van, a beépített alkatrészekről függően, pl. az IH inverter félhídmodul három teljesítménynagyságban készülhet, amit a beépített tirisztorok határoznak meg.



10-2. ábra. Modul felépítésű áramellátó rendszer összeépítése



10-3. ábra. 1/1 kivitelű, 16 kVA-es, egyfázisú, váltakozóáramú áramellátó rendszer moduljainak elhelyezése

A kész modulok egy igen egyszerű vázszerkezetbe fiókszerűen betolhatók. Ez a vázszerkezet könnyen előre gyártható, igen kis helyen raktározható, gyorsan összeszerelhető. A modulok elhelyezkedését a vázban a célszerű kábelezés határozza meg, benne a rendszert alkotó berendezések nem különülnek el, ezért a vázban kevesebb a fel nem használt üres hely. Így a „modulrendszer” kompaktabb, mint a hagyományos „szekrényes” elrendezés. A 10-2. ábrán látható a modul rendszerű felépítés, a 10-3. ábrán pedig egy 1/1-es rendszerben (1 inverter, 1 egyenirányító, 1 átkapcsoló) a modulok elhelyezkedése.

Jelenleg a konstrukció teljesítménykorlátait a félvezetős modulok határozzák meg. Ezekben 0,55 K/W hőellenállású hűtőtöncök vannak elhelyezve, természetes konvekcióval. Az ezekre szerelhető talpas-csavaros félvezetőelemek szabják meg a terhelhetőséget. A kialakítható rendszerféléseket a 10-1. táblázat tartalmazza. A táblázatban természetesen a „standard” kivitelek találhatók, de könnyen belátható, hogy az egyedi fogyasztói igények túlnyomó többsége a „standard” modulok nem „standard” többszörösével kielégíthető, és a fennmaradó esetekben is csak egy vagy két modult kell a speciális igényeknek megfelelően egyedileg átalakítani.

A modul konstrukció egy még nem említett előnye, hogy nem túl nagy darabszámban a modulokat és vázat előregyártva és raktáron tartva a gyártó a teljesítménytartományon belül tetszés szerinti rendszert igen rövid szállítási határidővel képes előállítani.

A kifejlesztett rendszerek teljesítménye és méretei

	Tipus	Névleges kimeneti teljesítmény, kVA	Beépített teljesítmény, kVA	Méretek, mm				
				szekrény-szélesség*	transzformátorház			
					B	H	B	T
Egyfázisú rendszerek	1/1	7,5/1	7,5	7,5	2 040	1200	840	600
	2/1	7,5/1	7,5	15	3 240	1200	1640	600
	3/2	15/1	15	22,5	4 440	1200	2440	600
	1/1	10/1	10	10	2 040	1200	840	600
	2/1	10/1	10	20	3 240	1200	1640	600
	3/2	20/1	20	30	4 440	1200	2440	600
	1/1	15/1	15	15	2 040	1200	840	600
	2/1	15/1	15	30	3 240	1200	1640	600
	3/2	30/1	30	45	4 440	1200	2440	600
	1/1	25/1	25	25	2 840	1200	840	600
	2/1	25/1	25	50	4 840	1200	1640	600
	3/2	50/1	50	75	6 840	1200	2440	600
Háromfázisú rendszerek	1/1	20/3	20	20	3 240	1200	840	600
	2/1	20/3	20	40	6 040	1200	1640	600
	3/2	40/3	40	60	8 840	1200	2440	600
	1/1	30/3	30	30	3 240	1200	840	600
	2/1	30/3	30	60	6 040	1200	1640	600
	3/2	60/3	60	90	8 840	1200	2440	600
	1/1	50/3	50	50	3 640	1200	1240	600
	2/1	50/3	50	100	6 040	1200	2440	600
	3/2	100/3	100	150	8 840	1200	3640	600
	1/1	75/3	75	75	5 240	1200	1240	600
	2/1	75/3	75	150	9 240	1200	2440	600
	3/2	150/3	150	225	13 240	1200	3640	600

* Szekrenymagasság×mélység egységesen: 2200×600 mm.

4. A további kutató—fejlesztő munka irányai

Tevékenységünket a továbbiakban több irányban is folytatjuk, ezek részben az áramköri konstrukció, részben a mechanikai konstrukció továbbfejlesztésére irányulnak.

Az első témakörbe tartozik a szünetmentes fogyasztók védelmi szelektivitását fokozó biztosítókiolvasztó áramkör létrehozása. Ezen a területen biztató eredmé-

nyeink vannak, ezek alapján az AEG-Telefunken megbízásából egy mintapéldány elkészítése folyamatban van. Másik témakör az áramellátó rendszer hálózati szinkronjának és ehhez csatlakozóan 10 ms-nél rövidebb átkapcsolási idejű hálózati átkapcsolónak a kifejlesztése.

A második témakörben első lépésként a tárcsa kivitelű félvezetők alkalmazását tervezzük, megnövelve ezzel a kialakítható rendszerek felső teljesítményhatárát. Ezzel párhuzamosan a mesterséges léghűtés, valamint egyéb intenzívebb hűtésfajták bevezetését szorgalmazzuk, a térfogategységre eső teljesítmény növelése céljából.

Komoly erőfeszítéseket teszünk a rendszer akusztikus zajának csökkentésére és ezáltal zajszennyezés mérséklésére az áramellátás környezetében. Célunk 65... 70 dB maximális zajszint elérése.

Kísérleteket folytattunk szabványos konténerbe telepített akkumulátort is tartalmazó teljes rendszer kifejlesztésére, amely könnyen telepíthető, ill. szükség szerint áttelepíthető.

11.

Elektronikus berendezések egyenfeszültségű tápegységei

MOLNÁR KÁROLY—LAKATOS JÁNOS (KONTAKTA)

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elektronikus berendezések fontos eleme az elektronikát egy vagy több tápfeszültséggel ellátó tápegység. Az elektronikai áramkörök fejlődése ugrásszerűen megnövelte a tápegységekkel szemben támasztott minőségi követelményeket is. Kutató—fejlesztői munkánk eredményeként létrehoztunk egy adaptív jellegű szabályozáson alapuló tápegységet, amelynek paraméterei azonosak vagy jobbakk a hasonló élvonalbeli szériagyártmányokénál.

A Kontakta Alkatrészgyár megbízásából ennek alapján egy olyan tápegységcsalád fejlesztését végezzük, amely mechanikai felépítésében illeszkedik a „Kontaset” Rack-rendszerhez, villamos paraméterei pedig alkalmazkodnak a felmerülő széles fogyasztói igényekhez.

БЛОКИ ПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТАНОВОК

К. Молнар—Я. Лакатош (КОНТАКТА)

Резюме

Важными элементами электронных установок являются блоки питания, снабжающие электронику одним или несколькими напряжениями. Развитие электронных схем скачкообразно увеличивало и качественные требования блоков питания. В результате наших научных работ разработан блок питания на основе регулирования адаптивного характера, параметры которого совпадают или превосходят параметрам ведущих серийных продуктов.

На этой основе, по заказу завода деталей „КОНТАКТА” разрабатывается ряд блоков питания, который по механическому построению сходится к „Контасет—Рек” системе, а электрические параметры соответствуют широким потребительским требованиям.

GLEICHSTROM-SPEISEEINHEITEN VON ELEKTRONISCHEN EINRICHTUNGEN

K. MOLNÁR—J. LAKATOS (KONTAKTA)

Zusammenfassung

Ein wichtiges Element der elektronischen Einrichtungen ist das Stromversorgungsgerät, das die Elektronik mit einer oder mit mehreren Speisespannungen versorgt. Durch die Entwicklung der elektronischen Stromkreise wurden auch die an die Netzgeräte gestellten qualitativen Forderungen sprunghaft erhöht. Als Ergebnis unserer

Forschungs- und Entwicklungsarbeit haben wir ein Stromversorgungsgerät mit Adaptivregelung erzeugt, dessen Parameter identisch oder besser sind als die von ähnlichen Serienerzeugnissen führender Hersteller.

Im Auftrag der Kontakta Bauteilfabrik wird von uns auf dessen Grund eine solche Netzgerätefamilie entwickelt, die in ihrem mechanischen Aufbau an das „Kontaset“-Baugruppenträger-System angelehnt, ihre elektrischen Parameter der breiten Skala des bestehenden Kundenbedarfes angepasst sind.

DC POWER SUPPLIES OF ELECTRONIC EQUIPMENTS

BY K. MOLNÁR – J. LAKATOS (KONTAKTA)

Summary

The supply unit providing one or more supply voltages for the electronic circuits is an important element of any electronic equipment. The progress of electronic circuitry has caused a sudden increase in the quality requirements of power supplies, too. As a result of our research-development work, a power supply based on an adaptive type of regulation has been designed, the parameters of which are equal (or superior) to those of similar series-produced units of leading firms.

Commission by the KONTAKTA Component Factory, a family of power supplies is being developed on this basis, adapted in mechanical construction to the „Kontaset” rack system, the electric parameters conforming to the broad consumers' demands.

1. Bevezetés

Cikkünkben a Villamosipari Kutató Intézetben elektronikus berendezések számára kifejlesztett ipari alkalmazású egyenfeszültségű tápegységcsaládot mutatjuk be. Összefoglalja a tápegységekkel szemben támasztott követelményeket, a tápegységek megvalósításának elvi lehetőségeit, valamint fényképeken bemutatjuk a konstrukciót.

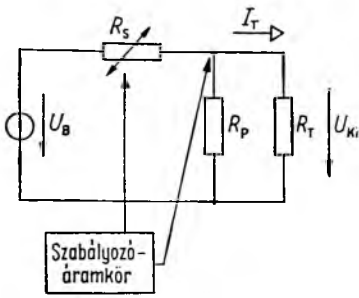
2. Alkalmazási terület

Az ipari hálózatok feszültsége és frekvenciája bizonyos határok között ingadozhat. E hálózatokból stabilizálás nélkül előállított egyenfeszültség ingadozása a legtöbb fogyasztó számára megengedhetetlen, ezért a hálózati feszültségváltozás, valamint a terhelőáram-változás okozta feszültségingadozás miatt a fogyasztók feszültségét igényeik szerint stabilizálni kell. Azokat a berendezéseket, amelyek a váltakozó- vagy az egyenfeszültségű hálózatból stabilizált egyenfeszültséget állítanak elő, stabilizált egyenfeszültségű tápegységeknek nevezzük.

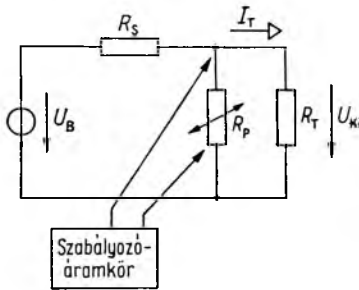
Attól függően, hogy a tápegység váltakozófeszültségű vagy egyenfeszültségű hálózatból állít-e elő stabilizált egyenfeszültséget, AC/DC, ill. DC/DC átalakítókról beszélünk.

A stabilizálás elve szerint megkülönböztetünk analóg- és kapcsolóüzemű stabilizátorokat. Az analóg feszültségstabilizátorok a változtatható feszültségosztók elvén működnek (11-1. ábra) [2], [3], [6]. A szabályozó elektronika úgy vezérli a változtatható ellenállást, hogy a kimeneti feszültség állandó legyen. A változtatható ellenállás helyett a gyakorlatban szinte kizárólag bipoláris tranzisztorokat használnak.

A kapcsolóüzemű feszültségstabilizálás azon az elven alapszik, hogy egy tápforrás feszültségét egy kapcsolóval periodikusan ki-be kapcsolva és ezt a jelet egy aluláteresztő szűrőre vezetve a kimeneti feszültség a tápforrás feszültségével és a kapcsoló bekapcsolási időarányával lesz arányos (11-2. ábra) [1], [4], [5], [9]. A vezérlő-,

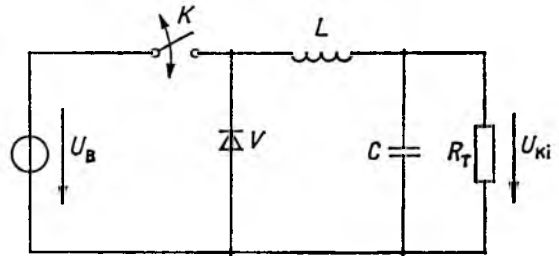


Soros feszültségstabilizálás



Párhuzamos feszültségstabilizálás

11-1. ábra. Az analóg feszültségstabilizálás elve



11-2. ábra. A soros kapcsolóüzemű feszültségstabilizálás elve

szabályozóelektronika úgy változtatja a K kapcsoló bekapcsolási időarányát, hogy a kimeneti feszültség állandó legyen. A K kapcsoló helyén a gyakorlatban tirisztort, GTO tirisztort, bipoláris tranzisztort vagy teljesítmény FET-et használnak.

3. Az ipari alkalmazású, stabilizált egyenfeszültség kimenetű tápegységekkel szemben támasztott követelmények

1. Széles bemeneti feszültség határok és bemeneti frekvencia határok között működőképes legyen. Tekintettel arra, hogy az ipari hálózatok feszültsége $U_N \pm 10\%$ határok között ingadozhat, a tápegységnek minimum ilyen feszültség határok között működőképesnek kell lennie. A működési frekvencia 49...440 Hz között változhat.
2. Bekapcsoláskor a bemeneti túláram minimális legyen. Mivel a tápegységek egyik lényeges eleme a bemeneti szűrőegység, amely a bekapcsoláskor jelentős túlárammal terheli a tápláló hálózatot, gondoskodni kell a tápegység minimális túlárammal való bekapcsolásáról.
3. A bemeneti túlfeszültségekre érzéketlen legyen. A tápláló hálózatokon kapcsolási, kommutációs stb. okokból túlfeszültségek keletkezhetnek. Ezekkel a túlfeszültségekkel szemben a tápegységnek érzéketlennek kell lennie.
4. A kis bemeneti feszültség ne okozzon meghibásodást. A tápláló hálózat feszültsége átmenetileg a minimális feszültségérték alá, esetleg nullára is csökkenhet.

A tápegységet megfelelő védelemmel kell ellátni, amely kizárja a kis bemeneti feszültség okozta meghibásodást.

5. *Jó statikus és dinamikus szabályozási tulajdonságai legyenek.* A fogyasztói igények szerint biztosítani kell, hogy a kimeneti feszültség mind statikusan, mind dinamikusán a terhelés által megkövetelt feszültséghatárok között maradjon.
6. *Távérzékeléssel rendelkezzen.* A fogyasztó a legtöbb esetben a tápegységtől távol helyezkedik el. A tápegységet a terheléssel összekötő vezetékek rezisztenciáján a terhelőáram feszültségesezt hoz létre, ezért biztosítani kell, hogy a tápegység közvetlenül a fogyasztó bemeneti pontjaira szabályozzon.
7. *A távérzékelés megszakadása ne okozzon a kimeneten túlfeszültséget.* Abban az esetben, ha a távérzékelő vezetékek bármelyike vagy mindkettő megszakad, biztosítani kell, hogy a kimeneten túlfeszültség ne keletkezzen.
8. *A kimeneti feszültség beállítható legyen.* A kimeneti feszültséget a fogyasztó igényeinek megfelelően a névleges feszültségérték környezetében tetszőlegesen be lehessen állítani.
9. *Kimeneti túlfeszültség elleni védelemmel rendelkezzen.* Ha a kimeneten bármely okból túlfeszültség keletkezik, a tápegység kimeneti feszültségét azonnal meg kell szüntetni.
10. *Táv-működtetéssel rendelkezzen.* Gyakran szükség van a kimeneti feszültség letiltására a bemeneti feszültségtől függetlenül, ezért a tápegységek ún. „táv-működtető” bemenettel rendelkeznek, amelyet aktivizálva a tápegység működése leállítható.
11. *A kimeneti feszültség minél rövidebb idő alatt és túllendülés nélkül álljon az előírt értékre.*
12. *A kimeneti feszültség hullámossága a fogyasztó számára megengedett határ alatt legyen.*
13. *Nagy kimenetifeszültség-fenntartási idővel rendelkezzen.* Ha a tápláló hálózat feszültsége a specifikált minimális érték alá vagy nullára csökken, a tápegységnek még egy ideig biztosítania kell a névleges terhelés mellett a névleges kimeneti feszültséget. Ennek az időnek olyan hosszúnak kell lennie, hogy a tápegységről táplált fogyasztó zavarmentesen (pl. egy számítógép adatvesztés nélkül) álljon le, ill. szünetmentes áramellátás esetén a tápegységet kimeneti feszültségének csökkenése nélkül az átkapcsoló automatika az egyik tápláló hálózatról a másikra át tudja kapcsolni.
14. *Kimeneti áramkorlátozás beállíthatósággal, ill. rövidzárlat elleni védelemmel rendelkezzen.*
15. *Széles hőmérséklet-határok között működjön.*

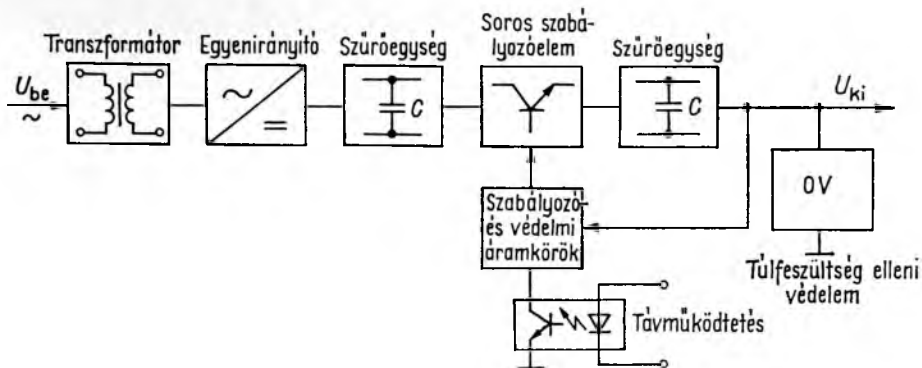
4. A tápegységek elvi felépítése

4.1. Analóg tápegységek

Az analóg üzemű tápegységeket a gyakorlatban szinte kizárólag a 11-3. ábrán bemutatott blokkvázlat szerint építik fel [2], [3], [5]. A berendezés határfoka nagymértékben függ a bemeneti feszültség megengedett ingadozásától, valamint a szabályozó-transzisztor U_{CEsat} kollektor-emitter telítési feszültségeseésétől.

Az analóg feszültségstabilizátorok *előnyei*:

- a kimeneti feszültség kis hullámossága (néhány mV);
- jó tranziens viselkedés;
- alacsony RF zavar szint.



11-3. ábra. Az analóg feszültségstabilizátorral felépített tápegység elvi felépítése



11-4. ábra. Kis teljesítményű kettős analóg tápegység

Hátrányai:

- rossz hatásfok,
- nagy méret és súly.

Kis teljesítményű kettős analóg tápegységet mutat a 11-4. ábra. A tápegység túláram, ill. rövidzárlat elleni védelemmel, kimeneti túlfeszültség elleni védelemmel és potenciálfüggetlen tiltóbemenetekkel rendelkezik.

4.2. A soros szabályozóelemmel rendelkező tápegységek kimeneti túlfeszültség elleni védelme

Ha a tápegység szabályozóáramköre elromlik vagy a soros szabályozóelem zárlatos lesz, a kimeneten túlfeszültség keletkezhet. Ez a legtöbb fogyasztó számára megengedhetetlen, ezért a kimeneti túlfeszültséget a tápegység vezérlő-, szabályozóáram-

körétől függetlenül érzékelní kell, és ezt a fogyasztóra még megengedett feszültség-szinten – vagy alatta – korlátozni kell.

A kimeneti feszültség határolását a tápegység kimenetével párhuzamosan kötött túlfeszültség ellen védőelem (OV) biztosítja.

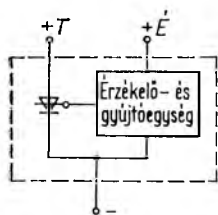
A túlfeszültség ellen védő elem blokkvázlat szerinti tipikus felépítését a 11-5. ábra mutatja. Az alkalmazott gyűjtható eszköz működését az érzékelőpontjaira kötött feszültség nagysága indítja el. Néhány tipikus alkalmazását a 11-6. ábra mutatja. Ha a feszültség az áramkörben beállított billenési feszültség fölé nő, az elem „begyűjt” és a vele sorba kapcsolt biztosítót kiolvasztja. Így, miután a fogyasztó táplálása megszakad, a túlfeszültség tovább nem nőhet. Fontos, hogy a túlfeszültség-védelem rendelkezzen olyan zavarűrítéssel, amely biztosítja az áramkör megfelelő zavarűrítettségét.

A Villamosipari Kutató Intézetben kifejlesztett túlfeszültség ellen védő elemet mutatja a 11-7. ábra. A túlfeszültség ellen védő elem névleges árama 3 A. A túlfeszültség ellen védő elemek megszólalási feszültsége az 5 V, 12 V, 15 V, 18 V, 24 V, 27 V kimeneti feszültségű tápegységekhez illeszkedik.

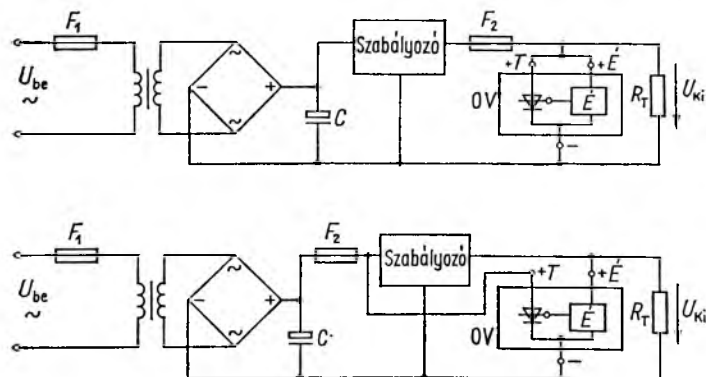
4.3. Kapcsolóüzemű tápegységek

Az elmúlt években a gyártástechnológia fejlődésének eredményeképpen lehetővé vált nagy teljesítményű kapcsolóüzemű tápegységek építése.

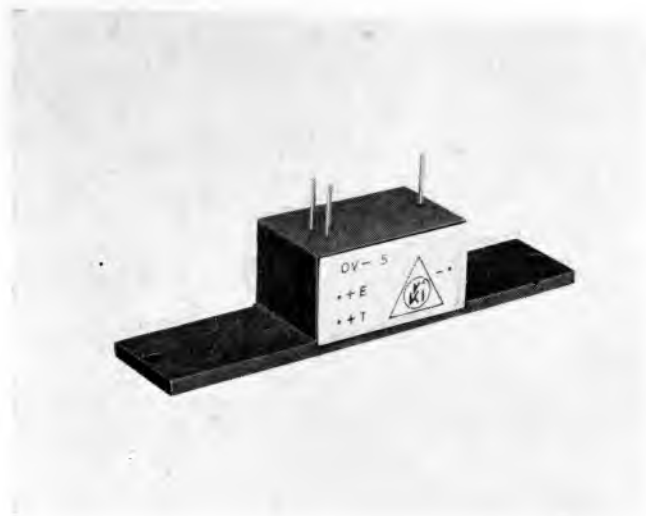
A kapcsolóüzemi tápegységek *előnyei* a jó hatásfok és a kis méret és súly, *hátránya*, hogy az analóg tápegységekhez képest nagyobb az RF zavar, ezért nagyobb



11-5. ábra. A kimeneti túlfeszültség ellen védő elem elvi felépítése



11-6. ábra. A túlfeszültség ellen védő elem tipikus alkalmazásai



11-7. ábra. Túlfeszültség ellen védő elem

szűrőegységet kell beépíteni, ezen kívül, hogy a kimeneti feszültség hullámossága az analóg tápegységeknél nagyobb, és a tranziens viselkedés az analóg tápegységeknél rosszabb.

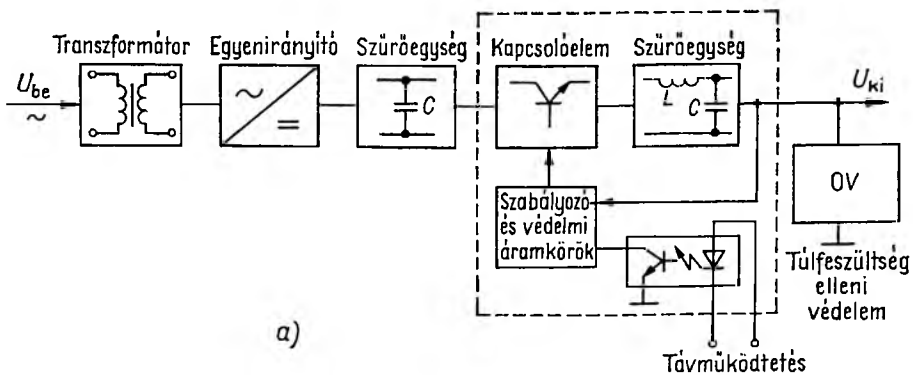
Néhány szigetelt leválasztást biztosító elvi megoldást mutat a 11-8 *a...e* ábra [1], [9]. A 11-8*a* ábra szerinti soros szabályozóval ellátott kapcsolás előnye, hogy a hálózati transzformátor szekunder tekercseiről a tápegység segéd tápfeszültségei egyszerűen előállíthatók. Hátránya, hogy hálózati frekvencián működő transzformátort tartalmaz, ezért ezt a kapcsolási elrendezést csak kisebb teljesítményeknél használják.

A 11-8*b* ábrán az *a* ábrához hasonlóan soros szabályozóval felépített a stabilizátor, azonban a hálózati transzformátor helyett a stabilizálás nélküli egyenfeszültséget – a soros szabályozó bemeneti feszültségét – egy szabadonfutó inverter állítja elő. A stabilizátor előnye, különösen nagyobb teljesítmények esetén a méret- és súlycsökkenés – nincs hálózati frekvencián működő transzformátor –, hátránya viszont a bonyolultabb felépítés.

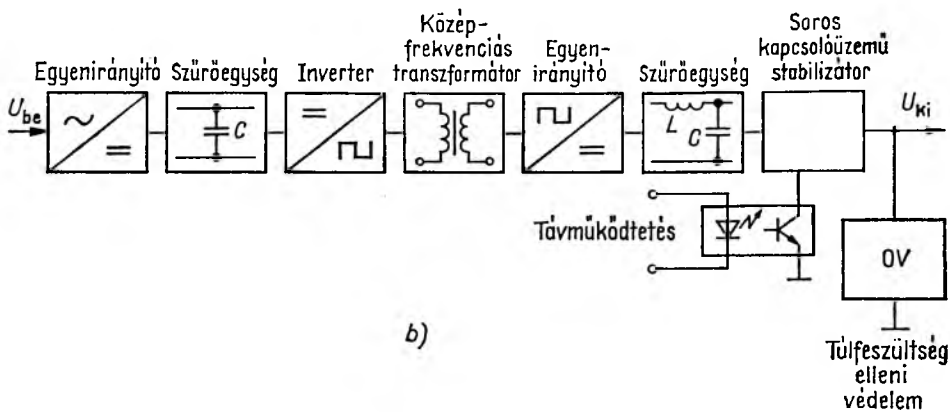
A 11-8*c* ábrán vezérelt egyenirányítóval és középfrekvenciás inverterrel felépített szabályozó blokkvázlata látható. A stabilizátor kimeneti feszültségét a vezérelt egyenirányító gyújtásszögének változtatásával lehet módosítani. A kapcsolás előnye az egyszerű felépítés, hátránya, hogy a vezérelt egyenirányító meddő teljesítményt hoz létre, és a kiszabályozási idő a vezérelt egyenirányító miatt hosszú.

A 11-8*d* ábrán a soros szabályozó a nagyfeszültségű oldalon található, és ezek után történik a középfrekvenciás szabadonfutó inverternél a szigetelt leválasztás. A kapcsolás előnyei és hátrányai megegyeznek a 11-8*b* ábra kapcsán tárgyaltakkal. A 11-8*e* ábrán a legkorszerűbb megoldás látható. A bemeneti feszültség egyenirányítás és szűrés után egy impulzusszélesség-modulált átalakítóra került, amelynek modulációs mélységét szabályozóáramkör változtatja. Ez az áramköri felépítés – azonos kimeneti teljesítményt feltételezve – a többi kapcsolóüzemű megoldáshoz viszonyítva a legegyszerűbb.

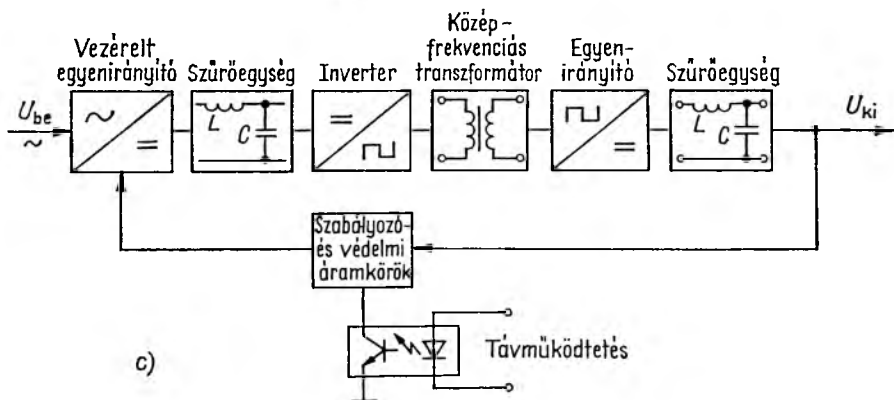
A 11-8*a* ábrán levő tápegység kimeneti túlfeszültség elleni védelme megegyezik az analóg soros szabályozók túlfeszültség-védelmével, de a 11-8*b...e* ábrákon levő



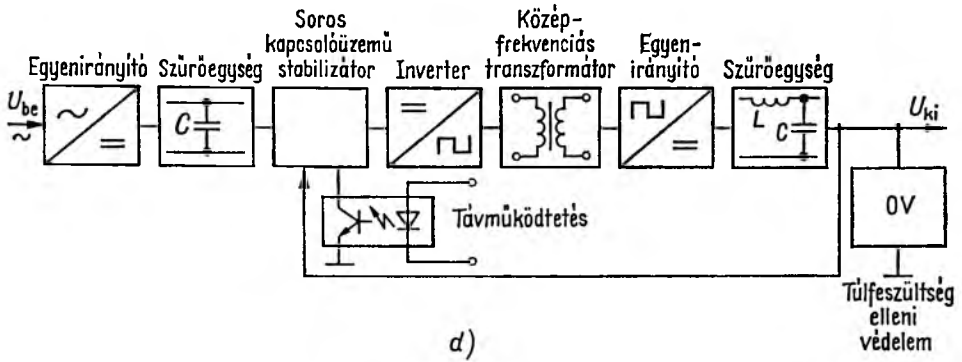
11-8a ábra. A soros kapcsolóüzemű stabilizátorral felépített tápegység blokkvázlata



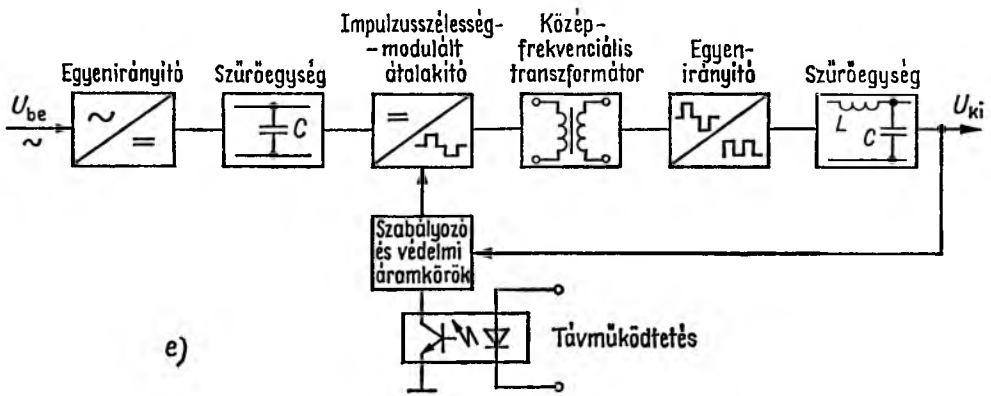
11-8b ábra. Középfrekvencián működő inverterrel és soros kapcsolóüzemű stabilizátorral felépített tápegység blokkvázlata



11-8c ábra. Vezérelt egyenirányítóval és középfrekvenciás inverterrel felépített tápegység blokkvázlata



11-8d ábra. Soros kapcsolóüzemű stabilizátorral és középfrekvencián működő inverterrel felépített tápegység blokkvázlata



11-8e ábra. Középfrekvencián működő, impulzusszélesség-modulált átalakítóval felépített tápegység blokkvázlata

tápegységek védelmét az előbb említett megoldásokon kívül úgy is fel lehet építeni, hogy túlfeszültség esetén a kapcsolóelemek működésének tiltásával a kimeneti feszültséget a védelmi áramkör nullára csökkenti.

Tekintsük át röviden az egyes funkcionális egységekben alkalmazott alkatrészeket. A bemeneti egyenirányító egyfázisú táplálás esetén 1F, 2U, 2Ű, háromfázisú táplálás esetén – az egyes fázisok szimmetrikus terhelésére törekedve – 3F, 2U, 6Ű kapcsolás [4]. A 3F, 1U, 3Ű kapcsolást a nullavezetőn folyó egyenáram miatt általában kerülni szokták.

A szűrőegység feladata az egyenirányított feszültség simítása. Kisebb teljesítmények esetén kondenzátoros, nagyobb teljesítmények esetén fojtótekercses és kondenzátoros szűrőegységet alkalmaznak. Ennek oka, hogy csak kondenzátoros szűrő esetén a tápláló hálózatot terhelő áram formatényezője rossz. A bemeneti szűrőegység feladata az említettekén kívül az, hogy biztosítsa a tápegység, ill. a fogyasztók számára a megfelelő kimenetifeszültség-fenntartási időt. Az impulzusszélesség-modulált átalakító teljes híd, félhíd, nyitóüzemű vagy záróüzemű kapcsolási elrendezés lehet, amelynek működési frekvenciája általában a hallhatósági határ felett van, így

a tápegység működése gyakorlatilag zajtalan. A főáramkörben bipoláris tranzisztort, teljesítmény FET-et, GTO-t vagy frekvenciatrizisztort használnak.

A főtranszformátort szinte kizárólag porvasból készítik az örvényáramú és a hiszterézisveszteségek csökkentése érdekében [10]. Mivel a működési frekvencia nagy, a kimeneti diódák kis záráskezési idővel rendelkező gyorsdiódák. 5 V és 12 V kimeneti feszültségek esetén Schottky-diódák, nagyobb kimeneti feszültségek esetén epitaxiális diódák [11], [12]. A kimeneti szűrőegység feladata a kimeneti feszültség hullámosságának csökkentése. A kimeneti fojtótekerces is általában porvasból készül, míg a szűrőkondenzátor kis ESR, ESL értékű elektrolitkondenzátor [7], [8]. A vezérlőszabályozó áramkörökben magas logikai szintű áramköröket, az utóbbi időben szinte kizárólag CMOS áramköröket használnak a nagy zavartávolság miatt.

A Villamosipari Kutató Intézetben kifejlesztett analóg tápegységek a 11-3. ábra szerint, a kis teljesítményű kapcsolóüzemű tápegységek a 11-8a ábra szerint, a nagy teljesítményű tápegységek pedig a 11-8e ábra szerint épülnek fel. A nagy teljesítményű tápegységekben nyitóüzemű átalakítót alkalmaztunk, amelyek működési frekvenciája 25 kHz. A kis teljesítményű kapcsolóüzemű tápegységek túláram, ill. zárlat elleni védelemmel, kimeneti túlfeszültség elleni védelemmel és a tápegység többi részétől potenciálfüggetlen tiltóbemenettel rendelkeznek. A kimeneti rezisztenciájuk

$$+ \frac{U_n}{2I_n} \cdot 10^{-2} \Omega$$
 határok között folyamatosan változtatható. A nagy teljesítményű tápegységek az előbb említettek kivül távérzékeléssel és beépített hővédelemmel is rendelkeznek.

A 11-9., 11-10. ábrák a tápegységeket mutatják.

5. Több stabilizált kimeneti egyenfeszültséggel rendelkező tápegységek

Egyes fogyasztók működéséhez egyidejűleg különböző értékű tápfeszültségek szükségesek. Ilyenek pl. a lineáris áramkörök, a mikroprocesszoros berendezések.

Az intézetünkben kifejlesztett tápegységeket párhuzamosan és sorosan is lehet kapcsolni, így tetszés szerinti feszültségkombinációkat lehet előállítani. Mikroprocesszoros berendezések számára négy, egymástól független kimeneti feszültségű tápegységeket fejlesztettünk ki. A tápegységek elvi felépítése a 11-11. ábrán látható.

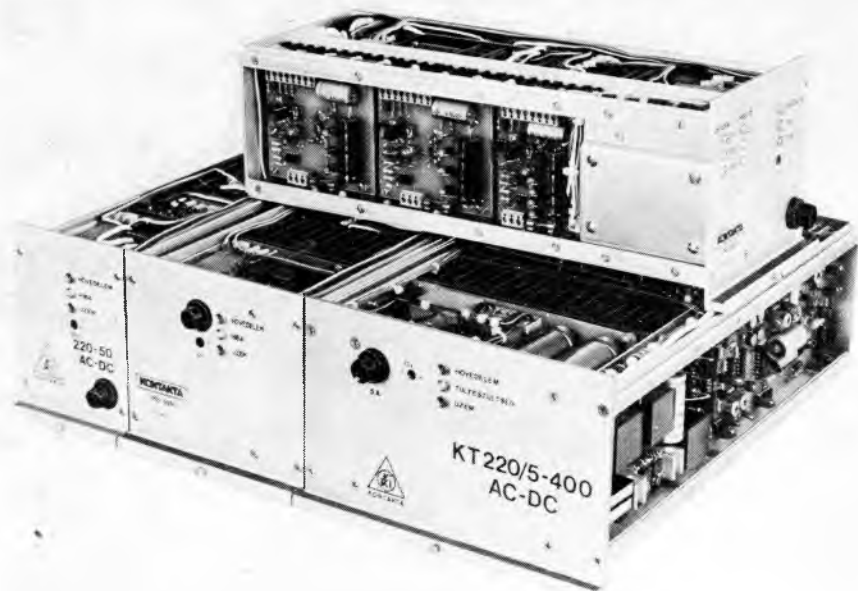
A nagy áramú tápegységrész kapcsolóüzemű stabilizátorra a 11-8e ábra szerinti, míg a kisebb áramú kimenetek analóg stabilizátorokkal rendelkeznek, transzformátoruk közös. Külön távműködtető bemenete van a nagy áramú tápegységrésznek, az analóg tápegységek viszont közös távműködtető bemenettel rendelkeznek. Mind-egyik tápegységrész hővédelemmel és kimeneti túlfeszültség elleni védelemmel rendelkezik. A 11-12. ábrán egy 75 W névleges kimeneti teljesítményű tápegység fényképe látható.

6. A tápegységek kialakítása; ipari bevezetés

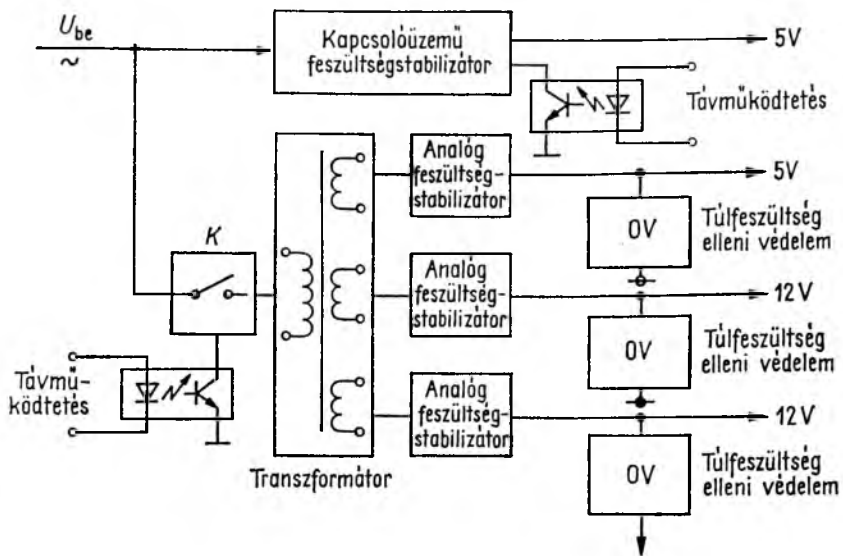
A tápegységeket KONTASET-EUROKONT kártyarekesz-rendszerbe illeszkedően fejlesztettük ki. A tápegységek kimeneti feszültsége: 5 V, 12 V, 15 V, 18 V, 24 V, 27 V, névleges kimeneti teljesítményük 2×2 W, 10 W, 50 W, 100 W, 200 W, 400 W. A mikroprocesszoros berendezések táplálására kifejlesztett tápegységek kimeneti feszültségei egymástól potenciálfüggetlenek, így lehetőség nyílik a feszültségek tet-



11-9. ábra. Kisteljesítményű kapcsolóüzemű tápegység



11-10. ábra. Kapcsolóüzemű tápegységek



11-11. ábra. Mikroprocesszoros berendezések táplálására készült tápegységek bloksémája



11-12. ábra. Mikroprocesszoros berendezések számára kifejlesztett, 75 W névleges kimeneti teljesítményű tápegység

szőleges kombinációjára. A kimeneti feszültségek értékei: 5 V, 5 V, 12 V, 12 V, a tápegységek kimeneti teljesítménye: 75 W, ill. 250 W.

Valamennyi tápegység magassága 128,5 mm. A közepes, ill. nagy teljesítményű tápegységek egységesen 351 mm hosszú KONTASET-EUROKONT kazettákban foglalnak helyet.

A KONTAKTA Alkatrészgyárban ez évben indul a tápegységek sorozatgyártása. Jelenleg a nagyobb egység teljesítményű AC/DC átalakítók, valamint a kisebb teljesítményű DC/DC átalakítók fejlesztésével foglalkozunk. Az egyenfeszültségű táplálású tápegységeket a már elkészült AC/DC tápegységekhez hasonló elvek szerint fogjuk kialakítani.

Irodalom

- [1] The Switch Mode Series. Motorola Semiconductor Products Inc.
- [2] The Voltage Regulator Handbook. Texas Instruments Inc.
- [3] Voltage Regulator Handbook. National Semiconductor.
- [4] Electronic Power Control and Digital Techniques. Texas Instruments Inc.
- [5] Compact 5-Volt Power Supplies Using High-Voltage Power Transistors. RCA Application Note AN-4509.
- [6] 60-Watt, 20-Volt Regulated Power Supply Using a Single Pass Transistor. RCA Application Note AN-4558.
- [7] Electrolytic capacitors: high-grade long-life aluminium types and their application in SMPS. Mullard Technical Information 30.
- [8] Electrolytic Capacitors for Output Filters of Switched-mode Power Supplies: discussion of desirable characteristics. Mullard Technical Information 20.
- [9] A survey of converter circuits for switched-mode power supplies. Mullard Technical Note 24.
- [10] Power-handling capability of ferrite transformers and chokes for switched-mode power supplies. Mullard Technical Note 31.
- [11] Using very fast recovery diodes in SMPS. Mullard Technical Information 79.
- [12] Power Schottky Rectifiers: The Past, the Present, and the Future by Steve Devore and Jerry Walton. Motorola Inc.

12.

Hőtároló kályhák korszerű feltöltésszabályozói

TÜDŐS TIBOR

ÖSSZEFOGLALÁS

Hőtároló fűtőkészülékek feltöltésszabályozó automatikarendszereinek fejlődése és színvonala az iparilag fejlett országokban. Az időjárásfüggő és időprogram szerint változó vezetójellel vezérelt feltöltésszabályozás előnyei: a maradék hő figyelembevétele, a hálózati terhelés kiegyenlítése, energiamegtakarítás. Mikroelektronikai eszközök alkalmazási lehetőségei. Termomechanikus és elektronikus rendszerű kályhaszabályozók. Az intézetünkben kifejlesztett, termomechanikus kályhaszabályozók központi vezérlésére alkalmas feltöltésvezérlő rendszer ismertetése.

СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАРЯДОМ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ ПЕЧЕЙ

Т. Тудеш

Резюме

Развитие и уровень автоматических систем регулирования заряда теплоаккумулирующих отопительных устройств в промышленно развитых странах. Преимущества регулирования заряда, зависящего от погоды и временной программы: учет остаточного тепла, сбалансирование сетевой нагрузки, экономия энергии. Возможности применения микроэлектронных деталей. Термомеханические и электронные элементы управления зарядом печей. Описание разработанных в нашем институте термомеханических регуляторов печей, применимых для централизованного управления зарядом.

MODERNE AUFLADEREGLER FÜR ELEKTRO-SPEICHERHEIZGERÄTE

Т. ТҮДӨС

Zusammenfassung

Es werden die Entwicklungsgeschichte und der erreichte Stand der automatischen Aufladeeinrichtungen für Elektro-Speicherheizungen in den hochentwickelten Industriestaaten beschrieben. Die Vorteile der Aufladeregelung durch witterungsabhängige und sich nach einem Zeitprogramm ändernde Führungsgrösse: Berücksichtigung der Restwärme, Ausgleich der Netzbelastung, Energieeinsparung. Es wird auf die Einsatzmöglichkeiten der Mikroelektronik eingegangen. Es werden thermomechanische und elektronische Geräte-Laderegler behandelt. Abschliessend wird ein in unserem Institut entwickeltes, zur zentralen Steuerung von thermomechanischen Laderegler geeignetes. Aufladesteuersystem erörtert.

BY T. TÜDŐS

Summary

Development and state of the art of automatic charge control systems for electric storage heaters in advanced industrial countries. Advantages of charge control by weather-dependent command input, varying according to a time program – making allowance for residual heat, compensation for mains loads, energy saving. Potential applications of microelectronic devices. Thermomechanical and electronic charge thermostats in storage heaters. Description of a charge control system, developed at VKI, for the central control of thermomechanical charge thermostats.

1. A hőtároló fűtőkészülékek feltöltésszabályozó automatika-rendszereinek fejlődése és jelenlegi világszínvonala

1.1. A hőtároló fűtés terjedése

A hőtároló rendszerű villamos helyiségfűtés az elmúlt két évtizedben nagyarányú fejlődésen ment keresztül Nyugat-Európa egyes országaiban. A vezető szerepet ebben az NSZK játszotta mind a készülékek műszaki színvonala, mind a gyártott és hálózatra kapcsolt készülékek mennyisége tekintetében. A növekedés üteme az utóbbi években némileg ugyan megtört, de a hőtároló fűtés a prognózisok [1] szerint továbbra is terjed, csak lassúbb ütemben. Mint ismeretes, a hőtároló fűtés bevezetését a villamosenergia-szolgáltató rendszerek éjszakai kihasználatlansága, a terhelési görbén mutatkozó „völgy” indokolta. A fejlődés ütemének megváltozását az okozta, hogy számos helyen a bekapcsolt hőtároló fűtések a terhelési völgyet teljesen „kitöltötték” és éjszakai csúcs jött létre. A villamos hőtároló fűtés elterjedését az energiaválság nem befolyásolta hátrányosan, mert nincs közvetlenül az olajra mint primer energia-hordozóra utalva.

1.2. A feltöltésszabályozás fejlődése

A hőtároló kályhák éjszakai felfűtésének mértékét, azaz „feltöltését” kezdetben külföldön is a kályhákba beépített kézi beállítású készülékek szabályozták. Ezek tulajdonképpen hőmérséklet-szabályozók, amelyek közvetve vagy közvetlenül a hőtároló mag hőmérsékletét érzékelik. A kályhák használója minden este a külső hőmérsékletnek és a másnapra várható időjárásnak megfelelően kézzel állítja be a feltöltés mértékét. A jó beállításhoz némi érzék kell, rossz beállítás esetén a következő napon a helyiség vagy nem lesz kellő mértékben fűtve, vagy túlfűtés áll elő.

E jelenség kiküszöbölésére és a komfort fokozására külföldön már a fejlődés kezdeti szakaszán megjelentek az időjárástól, azaz a külső hőmérséklettől függő feltöltésvezérlő automatikák [2], [3]. Ezek eleinte tökéletlenek voltak, pl. nem vették figyelembe a kályhákban az előző fűtési napokról visszamaradt hőt, ennek következtében a kályhák néhány napi feltöltési és hőkinyerési ciklus után a szükségesnél magasabb szintre töltődtek fel. Idő közben az áramszolgáltatók is igényekkel léptek fel. Hátrányosnak mutatkozott ugyanis egyrészt az, hogy a kályhák az éjszakai időszak kezdetén egyszerre kapcsolódtak a hálózatra, terheléslökést, ill. esetenként terhelési csúcsot okozva, másrészt, mivel az automatikák vagy a kézi beállítású sza-

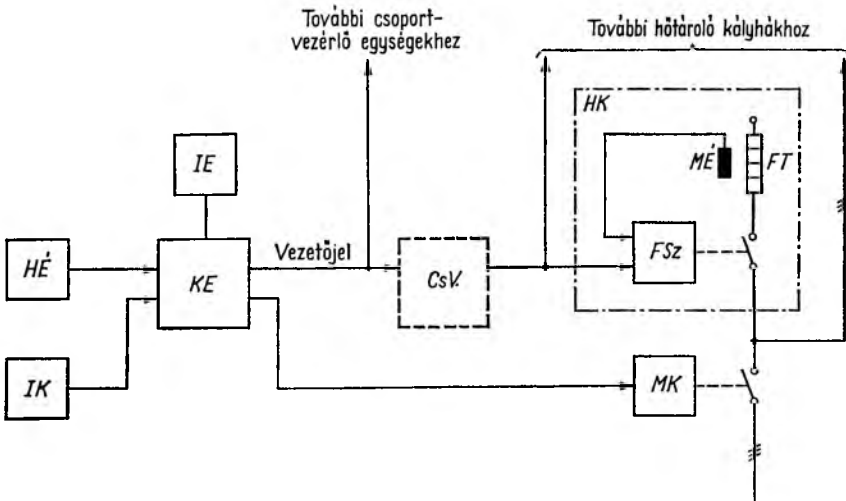
bályozók fokozatosan az összes kályhát kikapcsolták, az éjszakai kedvezményes árszabású időszak végére nem maradt terhelés a hálózaton. A VDEW (az NSZK-beli Villamosművek Egyesülete) irányelveket és ajánlásokat dolgozott ki villamos hőtároló fűtések feltöltőberendezéseire [4]. A feltöltésszabályozó automatikák következő generációja, amelyet ma is gyártanak és üzemeltetnek, már megfelel ezeknek az irányelveknek és ajánlásoknak [2], [5], [6]. E feltöltésszabályozó rendszerek a túlfűtés megakadályozásával alkalmasnak bizonyultak 10...15% villamos energia megtakarítására.

1.3. A jelenlegi feltöltésszabályozók működési elve

A villamos hőtároló kályhák feltöltésszabályozó automatikája a következő feladatokat látja el:

- Biztosítja, hogy a kályha a kedvezményes árszabású időszakban legalább annyi energiát vegyen fel a hálózatról, amennyi elegendő a fűtött helyiség napi hőszükségletének fedezésére, de amely kevesebb annál a hőmennyiségnél, amely a kályha felületi (statikus) hőleadása révén túlfűtené a helyiséget.
- Az energiafelvételt a kedvezményes árszabású időszakban úgy vezérli, hogy a hálózat terhelése lehetőleg egyenletes legyen.

E feladatok megoldására általában a 12-1. ábra tömbvázlata szerinti rendszerek terjedtek el. A *HÉ* jelű külső hőmérséklet-érzékelő információt szolgáltat a közepes külső hőmérsékletről a *KE* központi vezérlőegység részére. *IK*-val jelöltük az időprogram-kapcsolót, amely lehet a hangfrekvenciás központi vezérlés vevőkészüléke, vagy egy kapcsolóóra. Ennek a jele dönti el, hogy szabad-e az energiavételezés. Ez a jel vezérli az *IE* időzítőjel-képző egységet és ad parancsot a fűtés *MK* mágneskapcsolójának ki-be kapcsolására. (Az *IE* időzítőjel-képző egység gyakran egybe van építve a *KE* központi vezérlőegységgel.) A központi vezérlőegység legfontosabb szerve egy erősítővel kombinált jelátalakító, amely a *HÉ* külső hőmérséklet-érzékelő



12-1. ábra. Feltöltésszabályozó rendszer tömbvázlata

KE központi egység; *IE* időzítőegység; *HÉ* hőmérséklet-érzékelő;
IK időprogram-kapcsoló; *CsV* csoportvezérlő; *HK* hőtároló kályha;
ME magérzékelő; *FT* fűtőtest; *FSz* feltöltésszabályozó; *MK* mágneskapcsoló

ellenállásjeléből egy analóg villamos jelet képez, amely vezetőjelként kerül továbbításra az egyes *HK* hőtároló kályhákhoz. Az időzítőjel-képző egység egy időtől függő jelet generál, amely szuperponálódik a központi vezérlőegység kimenő jelére (vagy modulálja azt); ily módon válik a vezetőjel mind a külső hőmérséklettől, mind az időtől függővé.

Ha egy többlakásos lakóépületben több lakást fűtenek hőtároló kályhával, elegendő az épületben egy központi vezérlőegységet felszerelni, s lakásonként egy-egy *CsV* csoportvezérlő egységet (l. a 12-1. ábrát). Ez leválasztóerősítőként működhet, ezenkívül lehetővé teszi, hogy az egyes lakások egyedi hőszükségletének megfelelően – bizonyos határok között – módosítsák a központi vezérlőegység szolgáltatva vezetőjelet. Ha a központi vezérlőegység csak egyetlen lakás, vagy egy családi ház hőtároló fűtését vezérli, nincs szükség csoportvezérlő egységekre.

Az *FSZ* feltöltésszabályozó (12-1. ábra) általában a *HK* hőtároló kályhákba van beépítve. Ez összehasonlíttja az *MÉ* maghőmérséklet-érzékelő jelét a *KE* központi vezérlőegységtől érkező vezetőjellel. Kétállású szabályozóként működik, ha a maghőmérséklet kisebb a vezetőjel által meghatározott alapértéknél, bekapcsolja a kályha *FT* fűtőtestjeit, ha nagyobb, kikapcsolja őket.

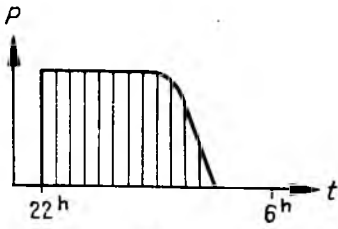
A 12-1. ábrát szemlélve feltűnik, hogy csak az *FSZ* feltöltésszabályozó alkot a hőtároló kályhával zárt szabályozási kört. A *HÉ* külső hőmérséklet-érzékelőtől kiindulva a hatáslánc nyitott, itt tehát vezérlésről van szó. A továbbiakban, amikor csak a különállóan is forgalomba kerülő *KE*, *IE* és *CsV* egységekről beszélünk, ezeket feltöltésvezérlő automatikának nevezzük, a szabályozó jelölést fenntartjuk a teljes rendszer, ill. a kályhánként alkalmazott *FSz* egység megnevezésére.

A vezetőjel időbeli lefolyásától függ, hogy milyen lesz a hőtároló fűtésből származó hálózati terhelés az éjszaka folyamán. A 12-2. ábrán a *VDEW* irányelvek [4] nyomán közöljük a lehetséges változatokat. Ha a vezérlőautomatika állandó, csak a külső hőmérséklettől függő vezetőjelet szolgáltat, mert pl. nincs időzítőjel-képző egysége, akkor a hálózati terhelés a 12-2a ábra szerinti lefolyású lesz; ez az ún. „előrevezérlés” esete (*Vorwärtssteuerung*). Az előrevezérlést hangfrekvenciás központi vezérléssel szakaszosan meg lehet szakítani (12-2b ábra) vagy időben el lehet tolni (12-2c ábra). A legfontosabb a 12-2d ábra szerinti változat, az ún. „hátravezérlés” (*Rückwärtssteuerung*) esete. Ennél a vezérlési változatnál az időzítőjel-képző egység révén a vezetőjel az éjszakai időszak folyamán egyenletesen növekszik, s csak az időszak vége előtt kb. félórával éri el a külső hőmérsékletnek megfelelő értékét. A növekvő alapérték következtében a több maradékhővel rendelkező kályhák később kapcsolnak be, s gyakorlatilag valamennyi kályha feltöltése az éjszakai időszak végére fejeződik be. Megemlítendő a „középre vezérlés” (*Spreizsteuerung*) változata is, amely a 12-2e ábrán látható.

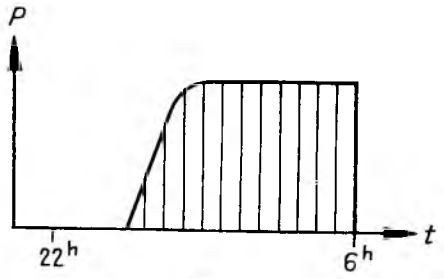
A feltöltésvezérlő rendszerek általában lehetővé teszik a kályhák nappali utánfűtését a hangfrekvenciás központi vezérlés által erre a célra biztosított kb. 2 h időtartamra. Mivel a nappali utánfűtés kritériumai eltérők az éjszakai feltöltésétől, az időzítőjel-képző egység a program kezdetétől számított 10 h után átkapcsol egy nappali jelleggörbére.

1.4. A jelenlegi feltöltésszabályozók kivitele

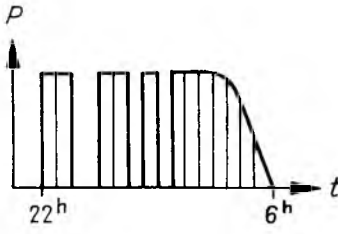
Borstelmann és Flatow [2] könyve 12 különböző cégnek az *NSZK*-ban forgalomba hozott feltöltésszabályozó rendszerét ismerteti. Mindegyik cég „elektronikus” rendszernek nevezi feltöltésszabályozó automatikáját, de kapcsolási vázlaikból látható, hogy elektromechanikus és termomechanikus elemekkel kombinált, azaz hibrid automatikákról van szó. A különböző rendszereket a szakirodalom kategorizálja



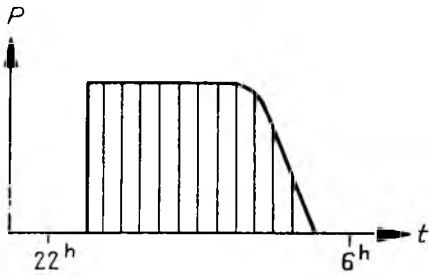
a)



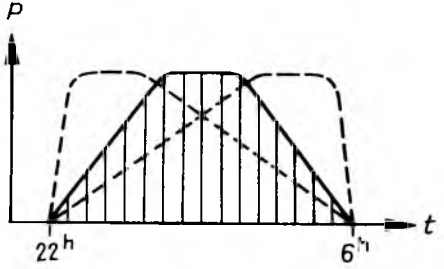
d)



b)



c)



e)

12-2. ábra. A terhelés alakulása különböző vezérlési változatoknál

a) előrevezérlés; b) megszakított előrevezérlés; c) időeltolásos előrevezérlés;

d) hátravezérlés; e) középvézérlés

[2], [6]; az egyes kályhák feltöltés-szabályozójának (a 12-1. ábrán: FSz) típusa szerint a következő két csoportra oszthatók:

- a) termomechanikus feltöltésszabályozó rendszer,
- b) elektronikus feltöltésszabályozó rendszer.

A külső hőmérséklet érzékelése és a vezetőjelképzés mindkét csoportban elektronikus rendszerű, a külső hőmérséklet érzékelője NTC vagy PTC karakterisztikájú termisztor. Az időzítőjel-képző egység csaknem valamennyi forgalomban levő típusnál elektromechanikus rendszerű: kis szinkronmotoros hajtómű forgatja el egy potencióméter tengelyét, ezzel generálja az időben lineárisan változó időzítőjelet, ezenkívül bütökstáracsákat is forgat, amelyek érintkezőket működtetnek a bináris kapcsolási funkciók végrehajtására.

A termomechanikus feltöltésszabályozó rendszer túlnyomó többségénél a kályhákba beépített feltöltésszabályozó speciális kapilláriscsöves hőmérséklet-szabá-

lyozó, amelynek két hőérzékelője van. A vezetőjel ennél a rendszernél impulzustartam-modulált váltakozófeszültség: a központi vezérlőegység triac vagy tirisztorok útján „perióduscsomag-vezérléssel” állítja elő. A szokásos periódusidő 1 s és 1 min közötti érték. A jelparaméter az impulzustartam és a periódusidő viszonya. A vezérlésre használt értéktartomány egyes típusoknál 0...80%, másoknál 0...40%. A második hőérzékelő fűtőtestének átlagos fűtőteljesítménye arányos a vezetőjellel, s ez közel arányos hőmérséklet-emelkedést okoz az érzékelőben. Mivel a második érzékelő jele hozzáadódik a maghőmérséklet ellenőrzőjéhez, 0% vezetőjel jelenti a maximális feltöltésre való parancsot és a maximális – pl. 80% – vezetőjel felel meg a feltöltés letiltásának. „Hátravezérlésnél” ezért a vezetőjel az éjszakai időszakban lineárisan csökken. A maradékhő érzékelése és figyelembevétele igen egyszerű a maghőmérséklet-érzékelő révén.

A termomechanikus rendszerű feltöltésszabályozókat vezérlő automatikák egyelőre dominálnak a piacon. Ilyen rendszerű a Siemens cég 1979-ben bevezetett PRO-TOMATIK U jelű rendszere is [7], valamint a Satchwell–Birka cég és a Grässlin cég automatikája.

A látszólag primitív rendszer népszerűségének okai: a termomechanikus kályha-feltöltésszabályozó egyszerű, megbízható és olcsó. Azonos kivitelű kályhát lehet gyártani kézi beállítású feltöltésszabályozás céljára és feltöltésvezérlő automatikához való csatlakozásra. A feltöltésvezérlő automatika meghibásodása esetén (pl. ha nem szolgáltat vezetőjelet) a kályhába beépített feltöltésszabályozó önműködően maximális értékre tölti fel a kályhát.

A kevésbé elterjedt *elektronikus feltöltésszabályozójú rendszerek* közül a legismertebb a Bauknecht cég IPSOMAT rendszere. Az NSZK-ban kb. másfél évtizede alkalmazták az időjárásfüggő feltöltésszabályozókat, és a tapasztalatok kedvezők [8]. A fejlődést és az igények növekedését jelzi, hogy 1981-ben megjelent a feltöltésvezérlőkre vonatkozó DIN szabvány tervezete [9]. Egyelőre csak a termomechanikus kályha-feltöltésszabályozókkal működő vezérlőkre vonatkozó részek jelentek meg, mert változatlanul ezeket gyártják és használják a legnagyobb mennyiségben.

A mikroelektronika fejlődése természetesen a feltöltésvezérlők fejlesztésére is hatással van [10]. Az AEG cég jelent meg először a piacon mikroszámítógépes feltöltésvezérlővel „Elfamatic μ C” néven [11]. Ez is termomechanikus kályhaszabályozók vezérlésére alkalmas.

2. Hőtároló fűtés Magyarországon

Hazánkban 1974 óta gyártanak korszerű hőtároló kályhákat; a legyártott és hálózatra kapcsolt kályhák száma azóta évről évre rohamosan növekszik. Jelenleg kb. 30 000 db kályhát gyártanak évente. Az OMFb kellő időben felismerte a feltöltésszabályozás energiagazdálkodási jelentőségét, és megbízta az intézetet egy korszerű feltöltésszabályozó rendszer kifejlesztésével. Idő közben az elosztóhálózatokon egyes helyeken a hőtároló kályhák és forróvíz-tárolók együttes éjszakai terhelése problémákat okozott. A várható terhelésnövekedés kérdéseit egy OMFb bizottság vizsgálta, az elkészült elemző tanulmány [12] is rámutatott a feltöltésszabályozó rendszer bevezetésének szükségességére.

3. Az intézetben kifejlesztett feltöltésszabályozó rendszer

A fejlesztés megkezdésekor azt a célt tűztük ki, hogy a jelenleg külföldön nagy mennyiségben gyártott és használt elektromechanikus, szinkron motoros típusoktól eltérően egy teljesen elektronikus – azaz mozgó alkatrész nélküli – vezérlőkészüléket

alakítsunk ki. Munkánk során tárgyaltunk a szobajöhető gyártók és az áramszolgáltatók képviselőivel, s ekkor merült fel az a többlet igény, hogy a feltöltésvezérlő az időprogram-kapcsoló feladatát is lássa el annak érdekében, hogy olyan hálózatokon is alkalmazható legyen, ahol a hangfrekvenciás központi vezérlés még nincs bevezetve. A kályhákban megtartottuk a külföldön is bevált termomechanikus elvű feltöltésszabályozót. Felmerült a központi vezérlőegység mikroprocesszoros kialakításának lehetősége is; végül is időzítőjel-képző egységként egy kvarcvezérlésű, elektronikus digitális órát alkalmaztunk.

A *HV-2 jelű feltöltésszabályozó rendszer* a következő részegységekből épül fel:

- központi vezérlő- és időzítőjel-képző egységből;
- külső hőmérséklet-érzékelőből;
- kályha-feltöltésszabályozóból;
- csoportvezérlő egységből.

(Csoportvezérlő egységet csak akkor kell a rendszerbe beiktatni, ha egy központi vezérlőegységről 20-nál több hőtároló kályhát kívánunk vezérelni.)

A rendszer fő *műszaki adatai* a következők:

Névleges feszültség: 220 V, 50 Hz.

A kályhák vezérlőfeszültsége: 220 V, 50 Hz.

A központi egység leadott vezérlőteljesítménye: 400 W.

Egy központi egységről vezérelhető

– kályhák száma: 20 db.

– csoportvezérlő egységek száma: 50 db.

A kályha-feltöltésszabályozó vezérlő fűtőteljesítménye 20 W.

Hálózati feszültségkimaradást áthidaló tartalékjárat ideje 24 h.

Kvarcvezérlésű digitális óra időeltérése legfeljebb $1 \text{ s/nap} \approx 6 \text{ min/év} \approx \approx 1 \cdot 10^{-5}$.

A maximális feltöltés hőmérsékletének beállítási tartománya: $-20 \dots +5^\circ \text{C}$.

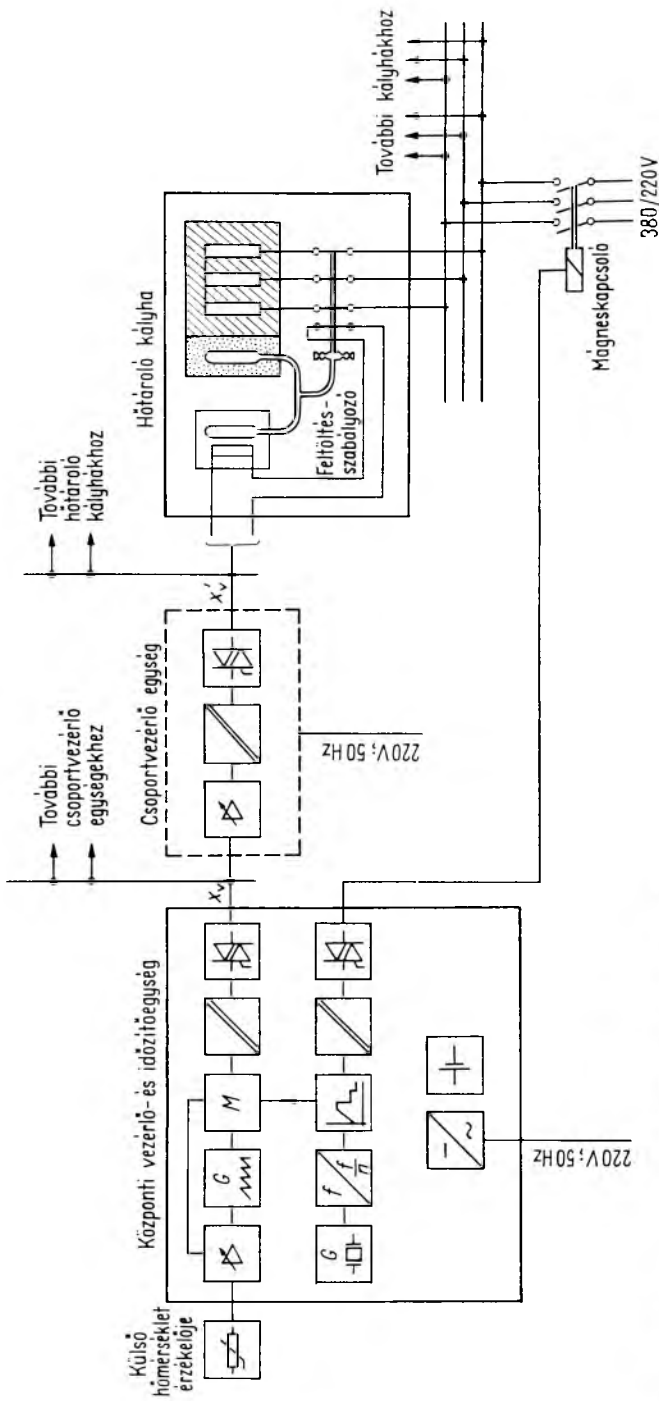
A fűtés kezdési hőmérsékletének beállítási tartománya: $+8 \dots 20^\circ \text{C}$.

A rendszer hatásvázlata a 12-3. ábrán, a központi vezérlő- és időzítőegység működési diagramja a 12-4. ábrán, fényképe a 12-5. ábrán látható.

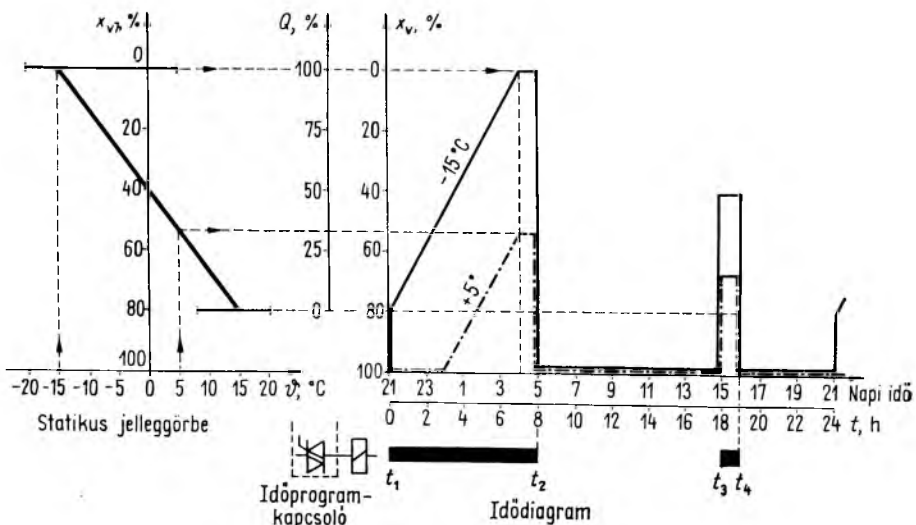
A működési diagram statikus jelleggörbéje a kályha feltöltöttségének a maximális feltöltésre vonatkoztatott Q értékét ábrázolja a külső hőmérséklet függvényében. Ez egyúttal alkalmas a x_v vezetőjel éjszakai időszak végén mérhető x_{v7} értékének ábrázolására. A két mennyiség közötti összefüggés: $x_{v7} = 80 - 0,8 Q$. A vezetőjel nagy értéke ugyanis alacsony feltöltöttségi szintet ír elő, mert ekkor a kályha-feltöltésszabályozó vezérlőérzékelője nagyobb hőmérsékletre van felfűtve.

A vezetőjel az éjszakai időszakban lineárisan növekvő feltöltöttségi alapértéket szolgáltat a kályha-feltöltésszabályozók részére. A jobb oldali idődiagram példaként két esetre, -15°C és $+5^\circ \text{C}$ külső hőmérséklet esetére adja meg a vezetőjel változását a bal oldali statikus jelleggörbe szerinti beállítás mellett. A diagramból látható, hogy a vezérlőegység -15°C esetén 100%-os, $+5^\circ \text{C}$ esetén 30%-os feltöltésre ad parancsot.

Az idődiagramból kitűnik, hogy nagyobb külső hőmérséklet esetén a kályhák bekapcsolása később következik be, és a feltöltés a külső hőmérséklet által meghatározott értékre az éjszakai időszak végén fejeződik be. A vezetőjelnek az idő függvényében csökkenő változása és a feltöltésszabályozónak a vezetőjel és a maghőmérséklet értékét összegező funkciója révén biztosítható, hogy az azonos központi egységről vezérelt kályhák nem egyszerre kapcsolódnak a hálózatra, a több maradékhővel rendelkező kályha később fog bekapcsolni.



12-3. ábra. A HV-2 feltöltésvezérlő rendszer hatásvázlata
 x_v vezetőjél; x'_v csoportvezérlő által módosított vezetőjél



12-4. ábra. A HV-2 feltöltésvezérlő rendszer működési diagramja

x_v , a vezetőjel értéke a felfűtési idő végén; x_v , vezetőjel; ϑ külső hőmérséklet;
 Q a kályha feltöltöttsége; t a program kezdetétől számított idő;
 t_1, t_2, t_3, t_4 programozható kapcsolási időpontok

Az idődiagramon egy nappali ráfűtés is látható; ennek a feltöltési szintje ugyancsak függ a külső hőmérséklettől, de egyúttal beállítható az éjszakai szintnél alacsonyabb értékre, annak érdekében, hogy a nappali bekapcsolás csak a különösen indokolt esetekben következék be.

A vezetőjel 220 V váltakozófeszültségű jel, amely ún. „periódussorozatos” (v. „hullámcsomag”) teljesítményvezérlést valósít meg nullaátmenetes kapcsolási technikával. Ez utóbbira azért van szükség, hogy ne okozzon rádiófrekvenciás zavart. A vezetőjel periódusideje 5,12 s; a teljesítmény a kitöltési tényező változtatásával van vezérelve.

Az ábrán a vezetőjel idődiagramja alatt a központi egység időprogram-kapcsoló kimenetének programját is bemutattuk. Látható, hogy ez a kapcsolóóra funkcióját is ellátja. A t_1, t_2, t_3 és t_4 időpontok az áramszolgáltató kívánságának megfelelően programozhatók 8,5 min-os lépcsőzéssel. A program kódolása gyártáskor, kötések forrasztásával történik, átprogramozáshoz a kötések át kell forrasztani.

A központi egység kvarcvezérlésű digitális órája, amely a hálózati feszültség kimaradása esetén sem állhat meg, 24 h-s tartalékjáráttal rendelkezik a beépített nikkel–kadmium telepről biztosított tápfeszültségről. Ez a hálózatról állandó készenléti (csepp-) töltést kap.

A külső hőmérséklet-érzékelőben egy félvezető (szilícium) érzékelőelem van a vakolat alatti elhelyezésnek megfelelő tömített tokozásban elhelyezve.

A csoportvezérlő egység a központi vezérlőegységből érkező x_v vezetőjel erősítésére és galvanikus leválasztásra szolgál.

A kályha-feltöltésszabályozó működése a hatásvázlat (12-3. ábra) alapján követhető. Fő alkatrésze egy kapilláriscsöves hőmérséklet-szabályozó. Ez a jelenleg is használt feltöltésszabályozó továbbfejlesztett változata, két érzékelővel. Az egyik érzékelő itt is — a hőszigetelésben elhelyezve — közvetve a hőtároló mag hőmérsékletét érzékeli, a másik a kályha kapocsterében van, ezt egy 20 W-os vezérlő fűtőtest fűti.



12-5. ábra. A HV-2 feltöltésvezérlő rendszer központi egysége

Továbbfejlesztésként tervezzük a feltöltésvezérlő-katalógus integrált áramkörei-nek helyettesítését egy-két berendezésorientált „semi-custom” integrált áramkörrel.

A HV-2 jelű feltöltésvezérlő rendszer bevezetésével tekintélyes mennyiségű vil-lamos energia takarítható meg. Széles körű elterjesztésével a villamosenergia-rendszer éjszakai terhelése egyenletesebbé tehető (az atomerőművek belépésével ennek a jelen-tősége fokozódik); a hálózat kihasználása és felvevőképessége pedig növelhető.

A HV-2 jelű feltöltésvezérlő-rendszer gyártására a Kontakta Alkatrészgyár vállalkozott.

Irodalom

- [1] Chancen für elektrische Raumheizung und Warmwasserbereitung. Haustechnik, 1982. Nr. 6.
- [2] Borstelmann—Flatow: Handbuch der elektrischen Raumheizung. Hüthig, 1975.
- [3] Matus: Regelung und Steuerung von Wärmespeicheranlagen, Teil A, B, C. 3. Aufl. Wehlmann, 1972.
- [4] VDEW Richtlinien und Empfehlungen für Aufladeeinrichtungen elektrischer Spei-cherheizungen. VDEW Verlag, 1973.

- [5] *Jüttemann*: Energiatakarékos villamos fűtés és klimatizálás. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
- [6] *Kalischer—Orth*: Elektronische Aufladeeinrichtung für elektrische Speicherheizungen. UIE VIII. Liège, 1976. VIb-8.
- [7] *Wiesinger*: Steuern und Regeln von Elektro-Speicherheizgeräten mit PROTOMATIK U. Elektrodienst, 1979. H. 7.
- [8] *Lange-Hüsken—Orth*: Entwicklungstendenz der Regel- und Steuergeräte für elektrische Speicherheizungen unter Berücksichtigung der Belastungskurven. UNIPEDE Konferenz, Bordeaux, 1977.
- [9] DIN 44 574, Teil 1, 2, 4, 6. Aufladesteuerung für Speicherheizung. Entwurf, 11. 81.
- [10] *Stauch—Müller—Schlüter*: Die Aufladeregung von Elektro-Speicherheizungen. *de* 'der elektromeister + deutsches elektrohandwerk 5. 79.
- [11] Elfamatic μ C die vollelektronische Aufladesteuerung mit den bestechenden Vorteilen. AEG prospektus.
- [12] OMFB 11-8203-Et. Az éjszakai villamosenergia-terhelés várható növekedése és annak hatása az elosztóhálózatra. Elemző tanulmány. 1982. július.

A VILLAMOS ENERGIA KÖZVETLEN ELŐÁLLÍTÁSA

13.

Sajtolt, műanyagkötésű elektródokból épített lúgos akkumulátorok fejlesztésének eredményei

DR. KULCSÁR SÁNDOR - DR. LUKÁCS JÓZSEF - DR. SORS LÁSZLÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

A sajtolással történő elektródgyártási technológia alkalmazása a lúgos akkumulátorok készítésénél elterjedőben van.

A cikk új, jelentős ilyen irányú eredményeket ismertet a Ni—Fe, Ni—Cd, Ag—Zn akkumulátorok fejlesztésében a VARTA, a SAFT, a Csehszlovák Tudományos Akadémia Heyrovsky Intézete és a poznani Politechnikai Egyetem munkája nyomán. A nemzetközi eredmények tükrében az Intézet kutatási eredményei és az ezek alapján kifejlesztett termékek műszaki paraméterei nem maradnak el a külföldi publikációkban ismertetett értékektől.

Az új technológia térnyerése a táskás előállítási mód rovására várhatóan lassú lesz, elsősorban a gazdasági megfontolások miatt.

РЕЗУЛЬТАТЫ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ПРЕССОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ С ПЛАСТМАССОВЫМИ СВЯЗУЮЩИМИ

Др. Ш. Кульчар—Др. Й. Лукач—Др. Л. Шори

Резюме

Применение технологии производства электродов методом прессовки находится в стадии распространения.

Новые, значительные результаты такого направления известны по работам VARTA, SAFT Института Гейровского АН ЧССР и Познаньского политехнического института в области усовершенствования Ni—Fe, Ni—Cd, Ag—Zn аккумуляторов.

В свете международных результатов исследовательские результаты ВКИ и технические параметры разработанных на этой основе изделий не уступают от результатов, опубликованных в заграничной литературе.

Внедрение новой технологии взамен карманного метода изготовления ожидается медленным, в первую очередь из-за экономических рассуждений.

ENTWICKLUNGSERGEBNISSE BEI ALKALI-BATTERIEN, DIE AUS GEPRESSTEN ELEKTRODEN MIT KUNSTSTOFFBINDUNG BESTEHEN

DR. S. KULCSÁR - DR. J. LUKÁCS - DR. L. SORS

Zusammenfassung

Die Anwendung des Pressverfahrens in der Elektrodenfertigungstechnologie ist bei der Fertigung von Alkali-Batterien immer mehr verbreitet.

Es sind neue, bedeutende diesbezügliche Ergebnisse in der Entwicklung der Ni—Fe,

Ni—Cd, Ag—Zn Akkumulátoren auf Grund der Arbeiten von VARTA, SAFT, von dem Heyrovsky Institut der Tschechoslowakischen Wissenschaftlichen Akademie und von der Polytechnischen Universität Poznan bekannt.

Die Forschungsergebnisse des Institutes und die technischen Parameter der auf diesem Grund entwickelten Erzeugnisse stimmen mit den in ausländischen Publikationen veröffentlichten Werten überein.

Die Verbreitung der neuen Technologie wird gegen das Taschen-Herstellungsverfahren anhand ökonomischen Überlegungen wahrscheinlich langsam vor sich gehen.

RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF ALKALINE STORAGE BATTERIES EMPLOYING PRESSED PLASTIC-BONDED ELECTRODES

BY S. KULCSÁR – DR. J. LUKÁCS – DR. L. SORS

Summary

The technology of pressing finds increasingly widespread application for the manufacture of electrodes employed in alkaline batteries.

In this field, new and significant achievements have been obtained in the development of Ni—Fe, Ni—Cd, Ag—Zn storage batteries by the works of VARTA, SAFT, the Heyrovsky Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences, and the University of Polytechnics, Posnan (Poland).

Compared to achievements abroad, the research achievements of our Institute, and the technical parameters of products developed as a result of these achievements, are not inferior to those disclosed in foreign publications.

It is expectable that, above all for economic considerations, the new technology will slowly gain ground at the expense of the pocket-type production method.

1. Bevezetés

A különféle lúgos elektrolitú akkumulátorokat az 1900-as évektől kezdve fokozatosan fejlesztették ki. A lúgos elektrolitban alkalmazott elektródok kémiai hatóanyagát Ni, Fe, Cd, Ag, Zn, Hg stb. és ezek vegyületei alkotják. Kombinációikból alakultak ki a különféle tulajdonságú áramforrások.

A különféle gyártástechnológiák kialakítását a mindenkori igények és a rendelkezésre álló technikai színvonal, ill. az alapanyagok tulajdonságai határozták meg. Ezek közül történetileg a legelső Edison nevéhez fűződik, aki a feladat kitűzése után a századfordulón kifejlesztette az ún. „táskás” típusú akkumulátorszerkezetet, amelyet a Ni-, Cd- és Fe-elektrodok készítésére jelenleg is széles körben alkalmaznak.

Ennek a technológiának az alapja az, hogy előzetesen elkészített aktív anyagot 0,07...0,08 mm vastag, erősen perforált fémlémez házba, ún. táskába helyezik, amely az áram elvezetését is biztosítja. Ez a megoldás rendkívül szilárd és hosszú élettartamú rendszert eredményezett, és szinte változtatás nélkül máig is alkalmazzák. Ennek kissé módosított formája az az elrendezés, amely szerint az aktív anyag perforált fémből készült csövekben van elhelyezve. Ezt ma már alig gyártják. Az 1930–40-es években fejlesztették a német és francia kutatók a szinterelt nikkelmátrix felhasználásával készült Ni—Cd akkumulátorokat, amelyek elsősorban nagy terhelhetőségük (10...25 C₅) folytán egyes speciális területek igényeinek kielégítésére alkalmasak. A Ni, Fe és Cd-on kívül még gyakran alkalmazott Ag és Zn esetében nem ennyire meghatározó az elektródszerkezet, ill. a technológia. E téren a préselt és szinterelt gyártási mód ismert.

2. A jelenlegi technológiai fejlesztési irányok

A technológiák és alkalmazási területek ismertetésére bemutatjuk a lúgos akkumulátorok gyártásának értékét (néhány országra vonatkozóan) Barak [1] könyve alapján (13-1. táblázat). Látható, hogy az alkalmazási területek legnagyobb részét a Ni–Fe és Ni–Cd akkumulátorok alkotják, amely mellett a többi jelentősége kisebb, ezért velük, ill. a laboratóriumi jelentőségű típusokkal (pl. Zn–Ni) a továbbiakban nem foglalkozunk. Feltűnő, hogy a Szovjetunióban igen nagy mennyiségű Ni–Fe akkumulátort gyártanak. Ezek az áramforrások – úgy véljük – mostoha körülmények között targoncahajtási célra jobban beváltak, mint a hazánkban ilyen célokra elterjedt műanyagszövet-táskás ólomakkumulátorok. A szovjet Ni–Fe táskás TNZs típusok nálunk is ismertek és alkalmazottak.

A jelenlegi kialakult gyártástechnológiáknak az előnyeik mellett néhány jelentős hátrányuk van, amelyek indokolják, hogy új technológiák kialakítására fordítsunk figyelmet. A táskás eljárás előnyei:

- nagy mértékben automatizálható, ezért kevés az élőmunkaigénye;
- a termék mechanikai tulajdonságai jók.

Hátrányai:

- nagy a beruházásigénye;
- az eljárás rendkívül kényes a táskaszalagok minőségére és perforációjára, a szalagot és perforáló tűskét folyamatosan importálni kell;
- nagy a belső ellenállás a táskaszalag árnyékoló hatása és a lemezzvastagság miatt.

A lemezzvastagság a terhelhetőség növelése érdekében csak egy ésszerű határig csökkenthető, mert ezen túl a lemez aktív és inaktív szerkezeti anyagainak aránya igen kedvezőtlené válik és egyéb tulajdonságai romlanak le, pl. az energiasűrűség erősen csökken. Az utóbbi években kialakult táskás típusok valószínűleg az e konstrukcióból kihozható maximumot jelentik.

A szinterelt típusú akkumulátorok igen nagy terhelhetőségűek, és gyártásuk is jól automatizálható.

Hátrányaik:

- az eljárás bonyolultsága, valamint az alapanyag ára miatt a termék elég drága;
- az alapanyagot a karbonil-nikkelt csak néhány cég gyártja;
- hazai szempontból mind a gyártási eljárás, mind az alapanyag embargós.

Mindezen okok miatt a fejlesztők – így a VKI is – újabb utakat kerestek.

13-1. táblázat

Lúgos akkumulátorok becsült termelési értéke néhány országban. Mfont/év (1978)

Ország	Ni–Cd táskás	Ni–Cd szinterelt	Ni–Cd zárt	Ni–Fe	Ag–Zn Ag–Cd	Teljes
Anglia	12	–	6	–	–	18
Franciaország	10	5	11	3	1	30
NSZK	16	2	8	1	1	28
Svédország	17	–	–	–	–	17
USA	5	11	40	–	4	60
Japán	6	4	28	–	2	40
Összesen:	66	22	93	4	8	193

Megjegyzés: A Szovjetunió Ni–Fe akkumulátora gyártásának termelési értéke kb. 150 Mfont/évenként, a Ni–Cd akkumulátor termelése ennek csak töredék része. (M. Barak adatai alapján) [1]

3. A sajtolási technológiák fejlődése az akkumulátoriparban

André franci  professzor által az 1940–50-es években kifejlesztett és az óta nálunk is elterjedt Zn–Ag akkumulátorok elektr djai sajtolással készülnek. Tekintettel arra, hogy az ezüst igen drága, ezek általában kis, max 20...30 Ah kapacitású elemek, amelyekhez kis méretű elektródokat kellett készíteni. Az ez stelektr dokat ez stporb l készítik, amelyeket az áramvezetés biztosítására ez stdr tra sajtolnak. Az AgO –  s kisütés után az Ag – jól vezet, térfogatváltozás nincs, a szerkezet  ntart . A cinket általában Zn–ZnO por keverékéből többnyire h l ra préselik. Egyéb technológiák is ismeretesek: pl. a rácson Zn-szivacsot rögzítenek.

A Ni–Cd akkumulátorok gyártásánál is már régen próbálkoztak a jelenlegitől eltérő technológiával. A zárt, miniat r Ni–Cd akkumulátorok elektr djai már kb. 30  ve kötőanyag nélkül sajtolva készültek. A legnagyobb problémát a NiOOH és a Cd(OH)₂ redoxifolyamatai alatt fellépő 30...40%-os térfogatváltozás okozta, amely miatt kezdetben nem sikerült eredményt elérni. A vizsgált sajtolási eljárások mellett a nagyobb méretű elektród nem volt működőképes.

 jabb szerkezeti anyagok, főleg a PTFE [poli(tetrafluor-)etilén] alkalmazásával haladás következett be. A jelent s munkát végzők közül néhány fontosabb és ismer-tebb kutató, ill. gyártó eredményeit mutatjuk be saját kutatásainkkal párhuzamosan a teljesség  g nye nélkül.

Cseh-szlovákiában a Heyrovsky Intézet munkatársai foglalkoznak elsősorban a műanyagkötésű sajtolt Ni–Cd elektródok fejlesztésével. Dr. J. Mrha és munkatársai nagy számú publikációban [2]...[6] foglalták össze eredményeket. Ezeknek megfelelően mind a Ni-, mind a Cd-elektródokat sajtolási technológiával állítják elő egy áramvezető h l t alkalmazva. K t anyagk nt főként PTFE-t és néhány esetben PE-t (polietilén) használtak. A vizsgált elektródok mérete 5×4,5 cm volt. Az elektródok tulajdonságai:

-  lettartam: 500...1000 ciklus;
- max terhelhetőség: 1,5 C.

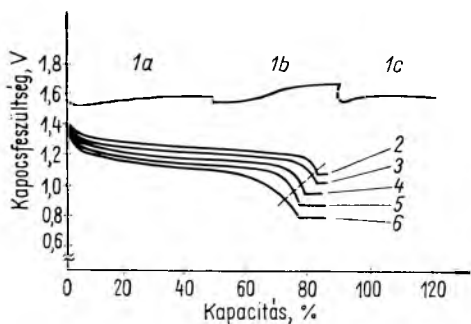
A Ni-sajtolásnál kb. 100 MPa, a Cd-sajtolásnál 15...20 MPa nyomást alkalmaztak.

A poznai Politechnikai Egyetemen Dr. Reks  vezetésével dolgoznak új típusú sajtolt Ni-, Cd-  s Zn-elektródok fejlesztésén [7]. A vezetési tulajdonságok javítására fémmel (Ni) bevont grafit- és műanyag szövedéket alkalmaznak.

A VARTA cég j rm hajt si célokra állított elő sajtolt technológiájú elektródokból épített akkumulátorokat [8]. A Ni–Fe elemekből épített FENNOX elnevezésű akkumulátorokat K. Lexow  s G. Kramer vezetésével fejlesztett k ki. A sajtolt Ni-elektródok Co-  s Cd-adalékokat tartalmaznak PTFE kötőanyaggal. A Cd-elektródokat is sajtolt alakban állították elő.   80 Ah kapacitású elemek C₅-tel (80 A-rel) folyamatosan terhelhetők.

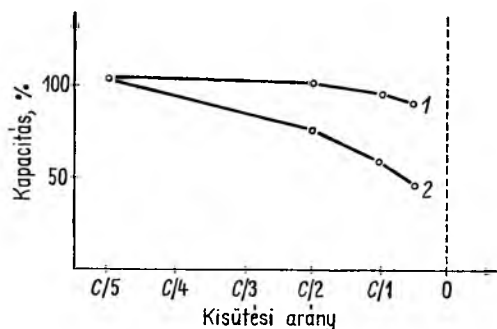
Az akkumulátorokat szakaszosan 3,5 C₅ (280 A) kis t  rammal vizsgálták. A 120 cellás telepen 30 Wh/kg és 43 Wh/dm³ energiasűrűséget értek el 1 h-s kisütésre számolt kapacitásra. Az akkumulátor 0,2 C₅-tel terhelve 38 Wh/kg és 55 Wh/dm³ fajlagos kapacitású. Az élettartamra vonatkozó eredményt nem publikálták. Az akkumulátor terhelési görbéit a 13-1.  bra mutatja.

I. Fabar RWE Electrochemical (NSZK) [8] és munkatársai hasonló eredmények-r l számoltak be 1982 szeptemberében. A pozitív Ni-elektród 30% grafitot tartalmazott, expandált rács  r mszed re volt sajtolva. K t anyagk nt poliamidot alkalmaztak. Az áramvezetés elősegítésére többretegű fém  r mszed t használtak. Az elektródok vastagsága 2,5 mm, kapacitása 0,5 mA h/cm². Terhelhetőségi g rb j t az  lomakkumul torral összehasonlítva a 13-2.  bra mutatja. Az élettartam kb. 700 ciklus. A gyakorlati alkalmazásáról nincs információnk.



13-1. ábra. FENNOX akkumulátorok kisütési és töltési görbéi (VARTA)

1a 0,4 C₅ A töltés; 1b 0,2 C₅ A töltés; 1c 0,1 C₅ A töltés; 2 0,2 C₅; 3 0,4 C₅; 4 0,6 C₅; 5 0,8 C₅; 6 1 C₅ kisütés



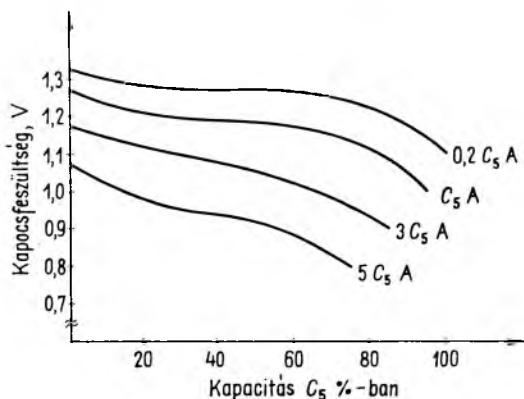
13-2. ábra. NPC Ni—Cd akkumulátor kapacitásának és kisütési arányának összehasonlítása az ólomakkumulátorral

1 Ni—Cd NPC típus; 2 savas ólomakkumulátor

A SAFT cég 1982-ben lépett piacra elsőként műanyag kötésű elektródot tartalmazó Ni...Cd akkumulátorral. Ezek 4 Ah kapacitású zárt cellák, amelyekben csak a Cd-elektrod készül műanyag kötéssel, a Ni-elektrod szinterelt típusú. Az akkumulátor műszaki tulajdonságai teljesen azonosak a szinterelt akkumulátorok paramétereivel.

A VKI már több éve foglalkozik préselt (műanyagkötésű) Ni- és Cd-elektrodok és ezekből készített akkumulátorok kutatásával [10], [11], [12], [13]. A kutatási-fejlesztési munka eredményeként a Mechanikai Művekben már gyártják a KBH-60 és KBM-80 típusjelzésű akkumulátorokat, az előzőekben ismertetetthez hasonló sajtolási technológiával. Ezeknek az akkumulátoroknak — különösen a starter célokra kifejlesztett KBH-60 típusnak — a terhelhetősége meghaladja a legtöbb táskás Ni...Cd akkumulátorét. A különféle terheléseken mért kisütési görbéit a 13-3. ábra mutatja.

Az előzőekben ismertetett és néhány hagyományos Ni—Cd, Ni—Fe, Ag—Zn akkumulátor fontosabb tulajdonságát a 13-2. táblázat mutatja be. Az adatokból is látható, hogy az új típusú, sajtolási technológiával készült elektródból gyártott termékek tulajdonságai jobbak a táskás típusokénál. Ezt támasztja alá a 13-3. táblázat is, amely a különféle akkumulátortípusok hidegállóságát mutatja be az irodalom [14] és saját méréseink alapján. Látható, hogy a már gyártásban levő műanyag-



13-3. ábra. M. M. – VKI gyártmányú, KBH típusú, műanyagkötésű Ni—Cd akkumulátor kisütési görbéi

13-3. táblázat

Különböző akkumulátorok kapacitása a hőmérséklet függvényében, Ah

Akkumulátorfajták	Hőmérséklet, °C			
	25	0	–20	–40
Ni—Cd szinterelt nyitott	100	95	85	70
Ni—Cd táskás nyitott	100	95	85	65
Ni—Cd műanyagkötésű	100	95	85	70
Zn—Ag	100	90	55	20
Ólomakkumulátor	100	75	50	25

kötésű típusok a szinterelt Ni—Cd akkumulátorokkal teljesen azonos hidegindító tulajdonságúak, amely biztosítja alkalmazhatóságukat szélsőséges éghajlati körülmények között is.

A VKI által kifejlesztett sajtolt (műanyagkötésű) elektródokból készített akkumulátorok egyéb tulajdonságai is megfelelnek az IEC nemzetközi szabvány követelményeinek és a jelenlegi nemzetközi színvonalnak.

4. A fejlődés várható iránya

A következő években – a bevezetőben leírt problémákat figyelembe véve – a táskás rendszerek rovására a sajtolási technológia lassú előretörése várható. Új egyensúly alakul ki az egyes alkalmazási területek gazdaságosabb kialakítására. Ennek főbb okai a sajtolási technikának a táskással szembeni előnyeiben rejlenek:

- A sajtolt elektródok terhelhetősége elvileg nagyobb, mivel elmarad a táska árnyékolóhatása.
- A nedves folyamatok alkalmazása következtében a kadmiumvegyületek okozta egészségkárosodás veszélye kisebb.

Gyártó	Típus	Elektród				Akkumulátor				Alkalmazás módja (idő)
		pozitív elektród		negatív elektród		energia-sűrűség, mWh/cm ³	max teljesítmény mW/cm ³	max terhelés (állandó)	élettartam (IEC ciklus)	
		típus	gyártási mód	típus	gyártási mód					
Csehszlovák Tud. Akadémia Heyrowsky I.		Ni	sajtott, műanyag-kötés	Cd	sajtott, műanyag-kötés			C ₅	600...800	Kísérleti elem (1982)
VARTA (NSZK)	FENNOX	Ni	sajtott, műanyag-kötés	Fe	préselt, műanyag-kötés	55	kb. 100	C ₅		Kísérleti elemek, járműhajtás, 1980
WESTINGHOUSE (USA)	2×4	Ni	szinterelt acélszálok	Fe	sajtott, műanyag-kötés	39,6	kb. 110	C ₅	400...800	Kísérleti elemek, járműhajtás, 1981
Szovjet	TNZs	Ni	táskás	Fe	táskás	39,6	kb. 30	C ₅	~800	Gyártásban
SAFT (francia)	KPH-60	Ni	táskás	Cd	táskás	31,9	kb. 200	7 C ₅	min. 500	Gyártásban
VARTA (NSZK)	TSP	Ni	táskás	Cd	táskás	30,1	kb. 130	5 C ₅	min. 500	Gyártásban
VKI-MM (magyar)	KBH-60	Ni	sajtott, műanyag-kötés	Cd	sajtott, műanyag-kötés	32,8	kb. 200	5 C ₅	min. 500	Gyártásban 1982-től
VKI-MM (magyar)	KBM-80	Ni	sajtott, műanyag-kötés	Cd	préselt műanyag-kötés	42,7	kb. 120	3 C ₅	min. 500	Gyártásban 1982-től
Mechanikai Művek (magyar)	AE	Ag	sajtott	Zn	préselt	147	kb. 200	5 C ₅	120	Gyártásban

- Tömörebb a szerkezet, így ugyanazt a kapacitású telepet 20...30%-kal kisebb helyen lehet elhelyezni.
 - Az elektródfelületek közelebb vihetők egymáshoz, javulnak az akkumulátorok műszaki tulajdonságai (pl. hidegállóság, belső ellenállás);
 - A gyártás automatizálható, döntően hazai, ill. szocialista országokban elkészített berendezéseken elvégezhető, tehát jelentős devizamegtakarítást tesz lehetővé.
- Mindezek ellenére gyors változás nem várható, részben azért, mert a jelenlegi gyártástechnológiákban már jelentős tapasztalat és nagyértékű technológiai berendezések vannak felhalmozva, részben pedig azért, mert egyes célokra (pl. vasúti világítás) a jelenlegi akkumulátorok is jól megfelelnek.
- Az újonnan belépő és speciális célú (5–10–15 C₅ terhelhetőség) akkumulátorok gazdaságos gyártása azonban csak az új, sajtólásos technológia segítségével oldható meg.

Irodalom

- [1] *M. Barak*: Electrochemical Pow. Sourc. P. Peregrinus Ltd., 1980.
- [2] *J. Mrha—I. Krejčí—Z. Zábransky—V. Koudelka—J. Malik*: Plastic bonded electrodes for nickel-cadmium accu. II. Basic electrochemical parameters of the nickel oxide electrode. J. of Pow. Sourc. **4** (1979), 239.
- [3] *J. Jindra—J. Mrha—K. Mička—Z. Zábransky—V. Koudelka—J. Malik*: Plastic bonded electrodes for nickel-cadmium accu. I. Cadmium electrode. Journal of Pow. Sources **4** (1979), 227.
- [4] *B. Klápšte—J. Mrha—K. Mička—J. Jindra—V. Maraček*: Plastic bonded electrodes for nickel-cadmium accu. III. Influence of active layer composition on galvanostatic and potentiostatic discharge curves. J. of Pow. Sourc. **4** (1979), 349.
- [5] *K. Mička—J. Mrha—B. Klápšte*: Plastic bond. electrodes for nickel-cadmium accu. IV. Some specific problems of the positive active layer. Journal of Pow. Sourc. **5** (1980), 207.
- [6] *V. Koudelka—J. Malik—J. Mrha—I. Krejčí—M. Spinka*: Plastic bonded electrodes for nickel-cadmium accu. V. Influence of the current collector and mechanical compression on the current carrying capability of the nickel oxide electrode. Journal of Pow. Sources, **6** (1981), 161.
- [7] *W. Reksč—T. Leczykiewicz—L. Malanowsky—W. Pawlaczyk*: Polypropylene as a support of active mass in Ni—Zn battery. 2nd International Conf. of Electrochem. Power Sources (1981), Zilina.
- [8] *W. Lexow—G. Kamer—A. Oliapuram*: Ni—Fe (FENNOX)-module-battery. 12th Pow. Sources Conf. 7. Brighton (1980.)
- [9] *P. Faber*: Metal/Plastic Compound Electrodes for Alkaline Batteries 13th International Pow. Sourc. Symposium. Brighton, 1982.
- [10] *S. Kulcsár*: Plastic-bonded nickel-cadmium accu. for high-discharge rate. 32. ISE Conf. Cavtat (1981.)
- [11] *S. Kulcsár—P. Horváth—G. Csath—Mrs. M. Smaroglay*: The internal resistance of plastic bonded (pressed type) high rate Ni electrodes. J. of Pow. Sources **8** (1982), 61...65.
- [12] *S. Kulcsár—J. Ágh—Á. Fazekas—J. Vigh—Z. Bujdosó*: Mikrostructure of plastic bonded nickel electrodes. J. of Power Sources **8** (1982), 55...59.
- [13] *Kulcsár S.—Csath G.—Major A.—Batiz Gné*: Nagy terhelhetőségű műanyag kötésű nikkel—kadmium akkumulátorok. VKI Közlemények **8** (1982), 125.
- [14] *Horváth P.—Sors L.*: Kémiai áramforrások és alkalmazásaik. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.

14.

Transzportjelenségek szerepe savas ólomakkumulátorokban

DR. HORVÁTH PÁL

ÖSSZEFOGLALÁS

A savas ólomakkumulátorokban az elektrolitként alkalmazott kénsav maga is az elektródfolyamat során végbemenő anyagátalakulási folyamatok aktív résztvevője. Ennek folytán az elektródfolyamat térbeli eloszlását befolyásolja a kénsav lokális koncentrációja, ill. fordítva, az elektródfolyamat térbeli eloszlása szerepet játszik a változó lokális koncentráció kialakulásában. A jelenség leírására kidolgozott elektródmodell matematikai megfogalmazását követően a szerző csöves pozitív elektródokkal épített ipari ólomakkumulátorokra vonatkozó számítások eredményeit mutatja be. A kísérletek eredményeivel is összhangban megmutatja a transzporteffektusok szerepét és hatását a pórusos elektród makroszerkezetének optimális tartományában. Az elektródba épített aktív anyag jobb kihasználását eredményező optimális makrostruktúra kialakításának legfőbb technológiai és üzemviteli szempontjai a kísérleti eredmények alapján megfogalmazhatók.

РОЛЬ ТРАНСПОРТНЫХ ЯВЛЕНИЙ В КИСЛО-СВИНЦОВЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

Др. П. Хорват

Резюме

В кислото-свинцовых аккумуляторах серная кислота, примененная в качестве электролита, сама является активным участником процессов преобразования веществ, происходящих в процессе электродной реакции. При этом, локальная концентрация серной кислоты влияет на пространственное распределение электродного процесса и наоборот, переменная локальная концентрация играет роль в пространственном распределении электродного процесса. На основе математического оформления электродной модели, разработанной для описания явления, автором излагаются расчетные результаты на промышленные свинцовые аккумуляторы, построенные с трубчатými положительными электродами. Согласно результатам экспериментов показываются роль и действие транспортных эффектов в оптимальной области макроструктуры пористого электрода. Важнейшие технологические и рабочие соображения разработки оптимальной макроструктуры, обеспечивающей повышенное использование активной массы, встроенной в электрод, на основе экспериментальных результатов, можно сформулировать.

DIE ROLLE VON TRANSPORTERSCHEINUNGEN IN BLEIAKKUMULATOREN

DR. P. HORVÁTH

Zusammenfassung

Die in Bleiakкумуляtoren als Elektrolyt verwendete Schwefelsäure nimmt auch aktiv an den verlaufenden Materialumwandlungsprozessen während des Elektrodenprozesses teil. Dadurch wird die räumliche Verteilung des Elektrodenprozesses von der lokalen Konzentration der Schwefelsäure beeinflusst bzw. umgekehrt, die variable lokale Konzentration spielt eine Rolle bei der räumlichen Verteilung des Elektrodenprozesses. Nach der mathematischen Formulierung des zur Beschreibung der Erscheinung erarbeiteten Elektrodenmodells werden die Ergebnisse der Berechnungen bezüglich eines mit rohrförmigen Positiv-Elektroden gebauten industriellen Bleiakкумуляtors gezeigt. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Versuche werden auch die Rolle und die Wirkung der Transporteffekte im optimalen Bereich der Makrostruktur der porösen Elektrode erörtert. Die hauptsächlichsten technologischen- und Betriebsführungsaspekte zur Gestaltung einer optimalen Makrostruktur wegen der besseren Ausnutzung der in die Elektrode eingebauten aktiven Masse können auf Grund der Versuchsergebnisse formuliert werden.

THE ROLE OF TRANSPORT PHENOMENA IN LEAD-ACID STORAGE BATTERIES

BY DR. P. HORVÁTH

Summary

In lead-acid storage batteries the sulphuric acid acting as electrolyte is also involved as an active participant of the material transformation processes accompanying the electrode reaction. Accordingly, the spatial distribution of the latter is affected by the local concentration of sulphuric acids; inversely, the varying spatial distribution of the electrode reaction have a role in the local concentration of sulphuric acid. Following a mathematical formulation of the electrode model elaborated for a description of this phenomenon, the author presents the results of calculations on industrial lead-acid batteries employing tubular positive electrodes. Also in agreement with the results of experiments, he demonstrates the role and impacts of transport effects in the optimum domain of the macro-structure of the porous electrode. Based on experimental results, it is possible to formulate the major technological and operational considerations of constructing an optimum macro-structure resulting in a better utilization of the active material incorporated in the electrode.

1. Bevezetés

A savas ólomakkumulátorok alkalmazási területe igen változó spektrumot ölel át, mivel a gyártók különböző célra fejlesztett típusokat forgalmaznak. A fejlesztés napjainkban két jellegzetes irányban folyik. Az egyik fő fejlesztési irány a villamos járműhajtás speciális igényeit igyekszik kielégíteni. További jelentős erőfeszítések folynak a hagyományos típusok (gépjárműindító akkumulátorok, helyhez kötött telepek) gyártástechnológiájának, ill. konstrukciójának fejlesztése területén.

A savas ólomakkumulátorok üzemi jellemzői a következő két paramétertől függnek:

- a kibocsátás állapota (a gyártómű határozza meg);
- az üzembehelyezés és üzemeltetés módja (a felhasználótól függ).

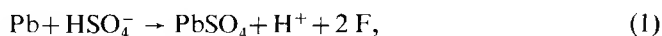
Míndez egyben azt is jelenti, hogy az üzemetetés szakszerű vagy szakszerűtlen jellege jelentősen meghatározza az akkumulátor üzemi jellemzőit, így az élettartamát is.

A cikk a számos befolyásoló tényező közül azokkal a kérdésekkel foglalkozik, amelyek savas ólomakkumulátorokban végbemenő szilárd és folyadék fázison belüli transzportfolyamatokkal függnek össze. Ezek közül üzemi szempontból döntő szerepe a folyadék fázisú, kénsavas vizes elektrolit fizikai, kémiai, ill. műszaki tulajdonságainak van.

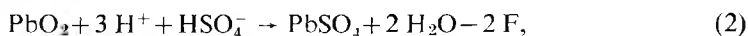
2. Alapfogalmak

A savas ólomakkumulátorokban a villamos energiát az elektródokon lejátszóóó következő elektrokémiai reakciók termelik:

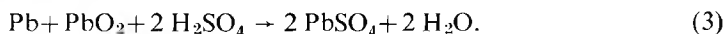
a negatív elektródon:



a pozitív elektródon:



azaz együttesen:



Az elektródreakciók végső reakcióterméke szilárd ólomszulfát az elektródok felületén. A töltéstermelési folyamatok során a vizes elektrolit szulfátion-koncentrációja csökken, miközben additív víztermelés is végbemegy a pozitív elektród térfogat-tartományában.

A 14-1. ábra scanning-elektronmikroszkópos felvételén kb. 50%-ig kisütött pozitív elektród pórusos aktív anyaga látható, 5000-szeres nagyításban. A felvételen világosan megkülönböztethető két, néhány μm méretű, az ólomdioxidnál nagyságrendekkel durvább szerkezetű PbSO_4 kristály. A teljesen kisütött pozitív aktív anyag



14-1. ábra. Pozitív aktív anyag elektronmikroszkópos felvétele 5000-szeres nagyításban, 50%-os kisütés után

kisütést követő, részben feltöltött állapotában viszont mintegy „emlékszik” az eredetileg durvább PbSO_4 szerkezetre. Először erre a tényre Kabanov [1] és munkatársai hívták fel a figyelmet. Így pl. elektronmikroszkópos felvételekkel igazolható, hogy az ólomdioxid kristályok olyan halmazokat alkotnak, mint a 14-1. ábrán a PbSO_4 kristályok formái, amelyekből töltés során az anódos oxidációval keletkeznek.

Míndezen a tapasztalatok arra mutatnak, hogy az ólomdioxid aktív anyag katódos redukciója (a kisütés), valamint az anódos oxidációja (a töltés) más reakciómechanizmus szerint megy végbe. Kissé leegyszerűsítve a folyamatokat úgy jellemezhetjük, hogy a kisütés a $\text{Pb}^{4+} \rightarrow \text{Pb}^{2+}$ redukció szilárd fázison belüli kételektronos folyamata, ezt követően az oldott Pb^{++} ionok oldaton belüli transzportja az ólom-szulfát kristálygócok felületéig. Töltéskor in situ szilárd fázisú reakciók játszódnak le. A szilárd fázison belül az ólom-dioxid képződése közbülső PbO_n oxidok oxidációja eredménye. Fokozatosan nő a Pb^{4+} ionok koncentrációja a szilárd fázisban. Kísérleti eredmények alapján, számos kutató véleménye szerint a PbO_2 képződése, hasonlóan a termikus disszociációhoz [2] több lépésben megy végbe, azaz a $\text{Pb}-\text{O}$ rendszerben léteznek szilárd oldat zónák, n -re vonatkozóan a következő határok közötti oxidáltsági fokkal:

$$1,33 < n < 1,57 \text{ és } 1,87 < n < 2.$$

A szilárd fázisú reakciók közül a pozitív elektródon a kisütési folyamat döntő hányadában a $\text{Pb}^{4+} \xrightarrow{2e} \text{Pb}^{2+}$ reakció kételektronos folyamata töltésátlépésének sebessége a sebességmeghatározó [3]. A folyamat túlfeszültsége ennek megfelelően 30 mV/dekád meredekségű Tafel-függvény. Mindössze a kisütés végső szakaszában – miközben jelentősen csökken a Pb^{4+} ionok koncentrációja (vagy ami ugyanezzel ekvivalens, az oxigénionok koncentrációja csökken) – jelentkezik a túlfeszültségnek olyan jellegű változása [3], amely a szilárd fázison belüli diffúzió gátolt voltára utal.

A töltéstermelő elektrokémiai reakciók pórusos struktúrába zárt szilárd fázison belüli „kísérő” reakcióit, e reakciók kinetikai tulajdonságait napjainkban kezdik részletesebben vizsgálni, mivel ez is egyik fontos kulcs a savas ólomakkumulátorok műszaki és gazdasági jellemzőinek javításához. Különösen döntő tényező lehet a beépített aktív anyagok rendkívül alacsony, mintegy 35...40% kihasználási hatásfokának javítása szempontjából. Sajnálatos, hogy ismereteink ezen a területen nagyon hiányosak.

3. A kénsav-koncentráció szerepe

Az (1) reakcióegyenlet szerint a savas ólomakkumulátorban kisütés közben minden 2 F (= 53,6 Ah) töltésmennyiség termelése együtt jár 2 molnyi (196,1 g) H_2SO_4 elfogyasztásával, ill. 2 molnyi víz (36 g) képződésével. Mivel az elektrokémiai áramforrásokban mindazokat az anyagokat, amelyek töltéstermelés közben az elektrokémiai reakcióban részt vesznek, aktív anyagoknak nevezzük, így a savas akkumulátor aktív anyagai közé tartozik az ólom és ólomdioxid mellett a kénsav és a víz is. A víz termelését kisütés közben célszerű az egyszerűbb kezelhetőség kedvéért additív sav felhasználással modellezni. Fontos körülményként kell kiemelni, hogy a sav fogyasztás, ill. a víz termelése a kisütés folyamán az akkumulátorok azon térfogat-tartományában megy végbe, és olyan sebességgel, ott és ahogy maga az elektrokémiai reakció is. Ebből egyben következik, hogy az elfogyó, valamint a megtermelt anyag hiány-, ill. többletkoncentrációja a folyadékfázison belül kiegyenlítődni igyekszik. Lézerinterferometriás vizsgálatokkal igazoltuk [4], hogy normális körülmények között, reális elemkonstrukciók esetében a konvektív anyagtranszportnak jelentős

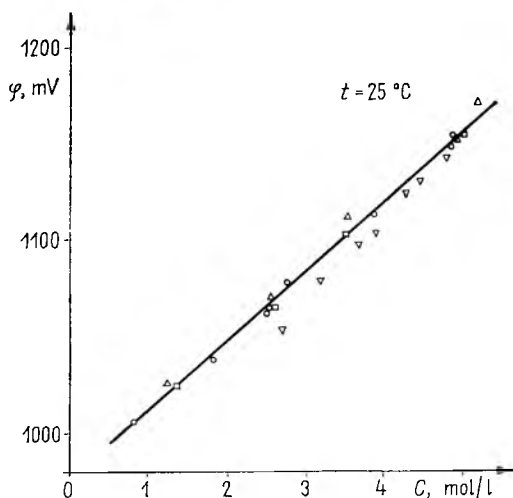
szerepe nem lehet. Az anyagtranszport döntő hányada diffúzióval történik. A következő fejezetben megmutatjuk, hogy töltés közben [amikor az (1) egyenlet szerinti reakció fordított irányban megy végbe] tudatosan kell gondoskodni olyan extrém viszonyokról, hogy a konvektív anyagtranszport feltételei biztosítottak legyenek.

A folyadékfázison belüli diffúzió leírására Fick második törvényének alkalmazásával, módosított transzportegyütthatókkal Stein [5] végzett először vizsgálatokat gépjárműindító akkumulátorok pozitív lemezeivel extrém nagy kisütőáramok esetében. Hasonló matematikai bázison Lehning [6] közepes kisütőáramok mellett 2 mm lemezvastagságokat feltételezve a teljes elemre alkalmazta a modellt. A tapasztalati értékek és modell által nyert adatok ellentmondó eredményre vezettek. Mička és Roušar [7] modern elméletet dolgozott ki a folyamatok leírására, és először tettek kísérletet a savkoncentráció térbeli eloszlása mellett az áramsűrűség térbeli (lokális) eloszlásának meghatározására is. Tárgyalásmódjuk hátránya, hogy a szilárd fázisú aktív anyag villamos vezetőképességét olyan nagyra tételezték fel, hogy a hatásos feszültségesést elhanyagolták a számításaik során. Ily módon az elektród polarizáció kisütési folyamat végén tapasztalható exponenciális növekedését nem tudja a modell figyelembe venni. Az általunk kidolgozott modell [3], [4], [8] matematikailag a Stein-modell kibővítése. A folyadékfázisú transzport mellett a modell figyelembe veszi az elektród szilárd fázisú aktív anyaga porozitásának a változását is. Ezek mellett az áramsűrűség lokális eloszlását is meghatározhatjuk additív differenciálegyenletrendszer megoldásával.

Részletes vizsgálatokkal megállapítottuk, hogy a pozitív elektród kisütés közben mérhető túlfeszültsége három potenciálkülönbség összegeként írható le. Ezek:

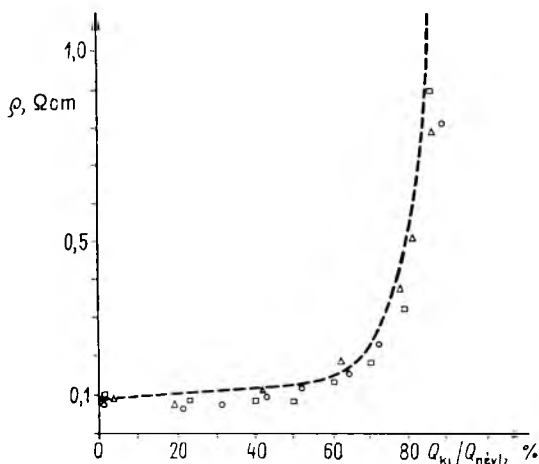
- a $\text{Pb}^{4+} \rightarrow \text{Pb}^{2+}$ kételektronos folyamat töltésátlépési túlfeszültsége (30 mV/dekád ún. Tafel-meredekséggel);
- a pozitív elektród térfogattartományában kialakuló lokális kénsavkoncentrációtól a 14-2. ábra szerint lineárisan függő túlfeszültség; amelynek meredeksége

$$(35 \pm 3) \frac{\text{mV} \cdot \text{l}}{\text{mol}};$$

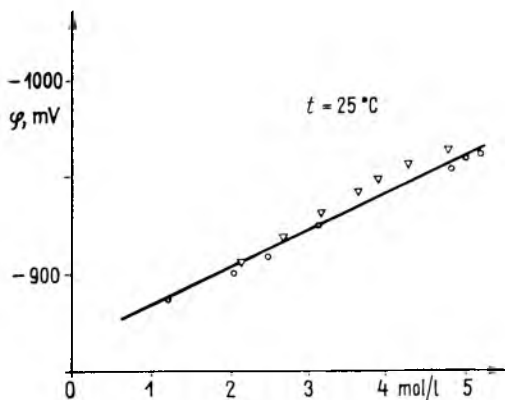


14-2. ábra. Különböző módon előkészített PbO_2 elektródok potenciálja a kénsav-koncentráció függvényében

- galvanizált felület; △ Planteformált felület; □ Pt-ra galvanizált felület;
- ▽ gépjárműindító pozitív lemezek Hg(II)SO_4 referenciaelektródokhoz mérten



14-3. ábra. PbO_2 aktív anyag villamos ellenállása a relatív kisütési kapacitás függvényében
($\circ I = 0,1 \text{ C5}$; $\square I = 0,16 \text{ C5}$; $\triangle I = 0,4 \text{ C5}$)

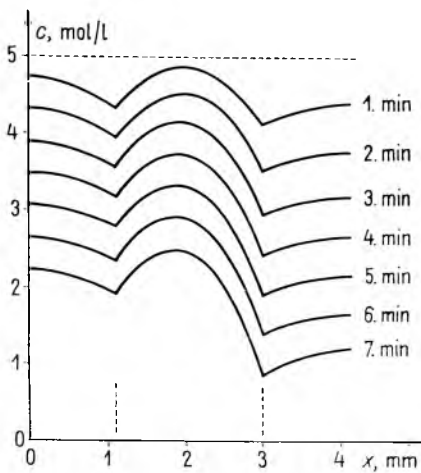


14-4. ábra. Pb elektródok potenciálja a kénsavkoncentráció függvényében
 \circ galvanizált; ∇ gépjárműindító negatív lemez $\text{Hg}(\text{II})\text{SO}_4$ referenciaelektrodhoz mérten

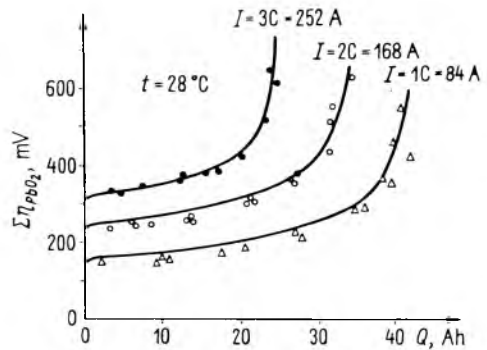
– a pozitív elektród szilárd fázisa villamos vezetőképességének kisütés közbeni változásából eredő potenciálesés a (14-3. ábrán ennek jellegzetes alakját mutatjuk be).

A fémólomból álló, pórusos struktúrájú negatív elektród túlfeszültségének első két tagja szintén létezik. A koncentrációtól lineárisan függő túlfeszültség higany(II)-szulfáthoz képest mért értékét a 14-4. ábrán mutatjuk be. A függvény meredeksége kisebb, mint a pozitív elektród esetében, értéke: $(19 \pm 3) \frac{\text{mV} \cdot \text{l}}{\text{mol}}$.

A VBKM 3DN6 típusú gépjárműindító akkumulátorának $I = 3 \text{ C} = 252 \text{ A}$ kisütőárammal mért kisütése esetén a 14-5. ábrán megadjuk különböző kisütési idők mellett az egymástól 1,8 mm távolságra levő pozitív és negatív elektród térfogattarto-



14-5. ábra. A koncentrációeloszlás számításának eredménye 3DN6 típusú VBKM akkumulátorban $t = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ -on $I = 252 \text{ A}$ kisütőáramnál



14-6. ábra. 3 DN6 típusú VBKM akkumulátor pozitív elektródjának túlfeszültsége a kisütött kapacitás függvényében (folytonos vonal: számított, diszkrét pontok: mérési adatok)

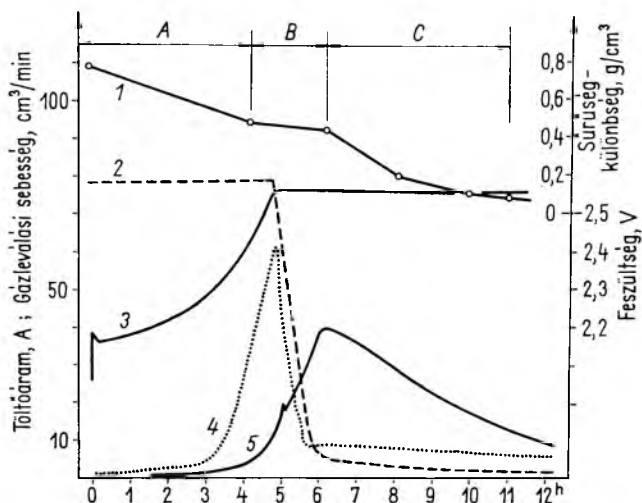
mányában, valamint a köztük levő ún. szabad savtérben kialakuló koncentráció eloszlását. Ugyanerre a típusra $I = 1 \text{ C}$, $I = 2 \text{ C}$ és $I = 3 \text{ C}$ kisütőáramok mellett, a kisütött kapacitás függvényében megadjuk a pozitív elektród előzőkben leírt tagokból számolt (folytonos vonal) és 6 db cellán elvégzett, összesen 18 mérés értékeit (diszkrét pontok), a 14-6. ábrán. Az elméleti és kísérleti eredmények egyezése megfelelőnek mondható.

A 14-5. és 14-6. ábra adatai alapján megállapítható, hogy a kisütés végpontját a pozitív elektród szilárd fázisú aktív anyaga vezetőképességének katasztrofális (14-3. ábra szerinti) csökkenése határozza meg a szobahőmérsékletű kisütések esetében. Kis hőmérsékletű kisütések esetében ($0 \text{ }^\circ\text{C}$ alatt) a 14-5. ábrán bemutatott koncentrációeloszlás nagyobb meredekségű, közel közös tengelyű parabolákkal leírt jellege miatt a koncentrációeloszlás határozza meg a kisütési időt. Ennek oka a lecsökkent sebességű, folyadékfázison belüli diffúzió.

A kisütést megszüntetve néhány perc elteltével az akkumulátoron belüli savtérben közel egyenletes, de a kisütött kapacitásnak megfelelő csökkent savkoncentráció alakul ki.

4. A töltési körülmények szerepe

A részben vagy teljesen kisütött savas ólomakkumulátorban a kisütés folyamán fokozatosan csökken az elektrolit koncentrációja, csökken a kénsavas elektrolit sűrűsége. A legtöbb ólomakkumulátor konstrukciója olyan, hogy 5...20 h-s kisütési időre méretezik. A helyhez kötött akkumulátorokat általában egyéb szempontok szerint méretezik, vagyis ezeket kivéve ez egyben azt jelenti, hogy 5...20 h-s kisütési kapacitásra elegendő, a gyártómű által előírt sűrűségű kénsavat lehet az akkumulátor edényzetében elhelyezni. Töltés közben a sav koncentrációja fokozatosan növekszik. A töltési módszerek közül legújabbban a töltés kezdeti fázisában az ún. állandó áramú töltést, majd egy kritikus potenciálkülönbség elérése után az ún. állandó feszültségű



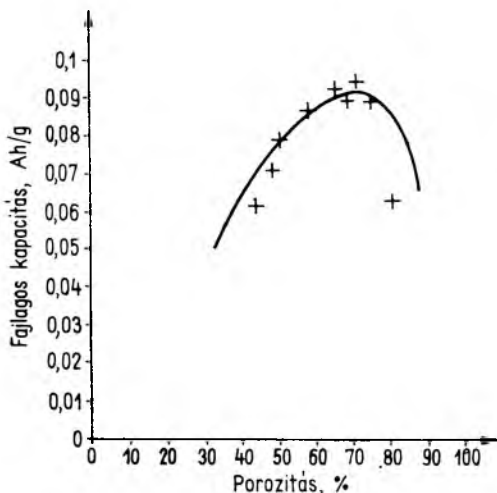
14-7. ábra. A töltési folyamat jellemző paramétereit 450 Ah kapacitású, helyhez kötött telep esetében a 33. ciklus után

1 a kénsav sűrűségének különbsége a cella alsó és felső pontján mérve, g/cm^3 ; 2 a töltőáram, A; 3 a cella feszültsége, V; 4 az oxigén leválási sebessége, cm^3/min ; 5 a hidrogén leválási sebessége, cm^3/min

töltési módszert alkalmazzák. Ez utóbbi szakaszban fokozatosan csökken a töltőáram. Töltőkészülék konstrukciója szempontjából ez a módszer minden bizonnyal kényelmes, jó szabályozhatóságot tesz lehetővé, azonban a savas ólomakkumulátor szempontjából – mint látni fogjuk – kifejezetten káros. A kisütés végén a fokozatosan csökkenő töltőáram ugyanis kis mértékben idéz elő gázleválást az elektródok felületén, így a töltés közben az elektródok felületén keletkező nagy sűrűségű kénsav a híg elektrolitban mintegy lefolyik az elektród–elektrolit fázishatár mentén az edényzet aljára. Ennek eredményeként fokozatosan kialakul egy magasság szerinti sűrűség-rétegződés a gravitációs tér hatására. Említettük az előzőekben, hogy a konvekció erősen gátolt folyamat adott konstrukciók esetében, azonban több töltési–kisütési ciklus alatt vagy az önkisülés hatására kellően hosszú idő alatt a jelenség kifejlődik.

Az utóbbi időben vizsgálták [9] a kénsavas elektrolit sűrűség szerinti rétegződésének mechanizmusát. Részletesen elemezték a függőleges irányú koncentrációgradiens kialakulását a túltöltés és kisütési mélység függvényében. A vizsgálatok során mérték a gázfejlődést, az elektródpotenciálok és cellahőmérséklet alakulását a töltés és kisütés folyamán. Részletes vizsgálatok eredményei állnak rendelkezésre, pl. kis karbantartásigényű, olyan ipari, helyhez kötött felhasználási célú cellák esetében, amelyek pozitív rácsa alacsony antimontartalmú ólomötvözetből, negatív rácsa pedig antimonmentes ólomból készült. A vizsgálatok azt mutatják, hogy ha $C/6$ kisütési sebességgel kisütik és állandó áram, ill. ezt követő állandó feszültségű töltési programmal töltik fel az elemeket, akkor minden esetben kifejlődik a rétegződés, ha a túltöltés kevesebb, mint 5%.

A 14-7. ábrán a 33. ciklusban mért jellemzőket mutatjuk be a töltési idő függvényében. Az ábra jobb oldalán a töltőáram és a gázfejlődés sebessége látható. Az ábra bal oldali tengelye a cella alja és teteje közt mérhető savsűrűség-különbséget ábrázolja. Az A szakasz megfelel az állandó áramú töltés időtartamának. A kénsav-sűrűsége magasság szerinti rétegződésének intenzív csökkenése tapasztalható ebben



14-8. ábra. Műanyag szövet táskás pozitív lemez fajlagos kapacitása az aktív anyag porozitásának függvényében, $I = 1 \text{ C}$ kisütőáramnál

a szakaszban. A kialakult függőleges koncentrációgradiens az elektródok előéletének következménye, és a csökkenés arra mutat, hogy a hígabb elektrolitban üzemelő elektród (az elektród felső része) töltésvétele jobb, mint a sűrűbb elektrolitban üzemelő elektródhányad töltésvétele. Ez könnyen érthető a 14-2. ábra alapján. A *B* szakasz az állandó feszültségű tartomány kezdeti része. Ebben a szakaszban az áram erősen csökken, és az oxigénfejlődés dominál. Ebben a szakaszban kissé mérséklődik a sűrűség szerinti rétegződés csökkenése, ami arra mutat, hogy az oxigénfejlődés nem nagyon hatékony a mélyebb, nagyobb sűrűségű tartományokból való kénsavfelhordásra.

A *C* szakaszban a hidrogén fejlődése a domináns. Ebben a szakaszban a magasság szerinti gradiens csökkenése a legjelentősebb, tehát a hidrogén a leghatékonyabb a kénsav keverésére. Részletes vizsgálatokkal igazolható, hogy a 14-7. ábrához mérten sokkal kisebb mértékű rétegződés is jelentős kapacitáscsökkenésre vezet, pl. $0,15 \text{ g/cm}^3$ sűrűségkülönbségnek megfelelő rétegződés 15% kapacitáscsökkenést okoz. Hangsúlyozzuk, hogy a *B* és *C* szakasz, azaz az állandó feszültségű töltési tartomány nem tudja kielégítően megszüntetni a magasság szerinti rétegződést. Erre a célra intenzív hidrogénfejlesztő töltési impulzus(ok) alkalmazása és egyben adott, 10%-ot meghaladó túltöltés szükséges.

5. Optimális elektródstruktúra

Az előző pontokban elmondottak figyelembevételére szükséges a jó konstrukciójú savas ólomakkumulátor kidolgozásához. A kénsav egy kisütési időn belüli jó transzportjának biztosítása, különösen a nagy áramú kisütésre tervezett típusok esetében meghatározó. Az ún. vontatási célú, műanyag szövetáskás, pozitív elektródú savas ólomakkumulátorok VKI-ban folyó fejlesztéséről már a korábbi közleményben is beszámoltunk. Mivel ebben a típusban a pozitív elektród aktív anyagának a rétegvastagsága jelentős, ezért különösen fontos az elektródon belüli jó savtranszport

biztosítása. A 14-8. ábrán bemutatjuk az $I = 1 \text{ C}$ kisütési sebesség mellett mérhető fajlagos kapacitást az elektród porozitása függvényében. A folytonos vonal a 3. pontban leírt elektródmodell alapján végzett számítás, míg a diszkrét pontok kísérletek eredményei. A központi áramgyűjtő pálcá körül a pozitív aktív anyag rétegvastagsága 2,65 mm, az elektród magassága 310 mm, szélessége 187 mm. Az 5 h-s kisütési idő mellett mérhető fajlagos kapacitás 0,12...0,148 Ah/g. Az $I = 1 \text{ C}$ kisütés esetén a kapacitás maximumát 66% kummulatív porozitás mellett tapasztaljuk. Gyártástechnológiai szempontból a teljes elektród homogén porozitással való előállítása nem könnyen teljesíthető feladat. Mivel a kisebb porozitás irányában a görbe kevésbé meredek, a maximumhelyhez mérten kis porozitásérték választása célszerű. A kereskedelmi termékekhez mérten nagyobb porozitású elektródok élettartamciklizálás során történő viselkedése tanulmányozására a vizsgálatokat megindítottuk. A töltés-kisütési ciklusok alatt a 4. pontban kifejtetteket figyelembe véve legalább 20% túltöltést végzünk.

6. A következtetések összegzése

A savas ólomakkumulátorokban a transzportjelenségek közül a töltéstermelő elektrokémiai folyamatot képező reakciók szilárd fázison belüli részreakcióit kísérő diffúziós folyamatok nem meghatározók az akkumulátor villamos jellemzői szempontjából. Fő szerepet a folyadékfázison belül végbemenő transzportfolyamatok játszanak. Ezek közül kisütés közben a diffúzió, töltés közben a konvekció a döntő folyamat. Starter ólomakkumulátorok esetében az aktív anyag viszonylag kis vastagsága miatt a diffúzió csak a hidegstartnál fellépő áramoknál számottevő, szobahőmérsékleten a szerepe nem közvetlen és nem döntő. A műanyag szövet táskás pozitív lemezek vastag aktív anyagában szobahőmérsékleten már $I = 1 \text{ C}$ kisütőáramnál is nyilvánvaló a diffúzió szerepe a fajlagos kapacitás kialakításában. Ezt megfelelő porozitás biztosításával kell figyelembe venni.

Töltés alatt gondoskodni kell minimálisan 10% túltöltésről annak érdekében, hogy a negatív elektródon fejlődő hidrogén a cella alsó tartományaiban kialakuló nagyobb sűrűségű kénsavat konvektív árammal felkeverje, és a cella felső tartományai-ba pumpálja. Ellenkező esetben függőleges irányú sűrűséggradiens alakul ki, és ez kezdetben kapacitásvesztéshez, később a cella tönkremeneteléhez vezet.

A cikkben összefoglalt munka az OMFB pénzügyi támogatása mellett folyik.

Irodalom

- [1] *Kabanov, B. N.*: Elektrohimiya metallov i adszorbcija. M. Nauka, 1966.
- [2] *Kánya E.—Kisdaróczi J.*: A savas ólomakkumulátorok pozitív aktív anyagában levő ólomvegyületek minőségi és mennyiségi elemzése termoanalitikai módszerekkel. VKI Közleményei, **9**. Budapest, 1984.
- [3] *Horváth: P.*: Pórusos elektródok töltéstermelő folyamatai, különös tekintettel az ólomakkumulátorok elektródfolyamataira. Budapest, 1980. Kandidátusi értekezés.
- [4] *Horváth, P.—Mrs. Jedlovsky, P.—Benedek, M.*: Journal of Power Sources **8**. (1982). p. 41.
- [5] *Stein, W.*: Dissertation. Techn. Hochschule. Aachen, 1959.
- [6] *Lehning, H.*: Electrotechn. t. A. 93. 1972. p. 62.
- [7] *Micka, K.—Rousar, I.*: Electrochim. Acta, **18**. (1973) p. 629, **21** (1976) p. 599.
- [8] *Horváth, P.*: 13 th. Int. Pow. Sources Symp. Brighton, 1982.
- [9] *Sunu, W. G.—Burrows, B. W.*: Power Sources **8**. Acad. Press, London, 1981. p. 601.

15.

Lúgos Ni-Cd akkumulátor Ni aktív anyagának szerkezeti sajátságai, adalékai és a villamos tulajdonságokra gyakorolt hatásuk

DR. KULCSÁR SÁNDOR – KÁDÁR ENDRE

ÖSSZEFOGLALÁS

A pozitív elektród gyártásának alapanyaga a Ni aktív anyag, amely a segédanyagoktól eltekintve α - és β -nikkel-hidroxidból áll.

Az elektród működése a nyerselektrod fázisszerkezetétől is függő kémiai, elektrokémiai és fizikai átalakulások sorozata. A nyersanyag fázisszerkezete és készítési módja között összefüggés állapítható meg termoanalitikai és röntgendifrakciós vizsgálatok alkalmazásával. Villamos mérésekkel kimutattuk a fajlagos tárolóképeség és a fázisszerkezet közötti összefüggést. A szerkezeti sajátságok és villamos tulajdonságok sokféle adalékanyaggal befolyásolhatók, ezek közül legkedvezőbb a kobalt.

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА, ДОБАВКИ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИКЕЛЕВОЙ АКТИВНОЙ МАССЫ ЩЕЛОЧНЫХ Ni—Cd АККУМУЛЯТОРОВ

Др. Ш. Кульчар—Э. Кадар

Резюме

Исходным материалом производства положительных электродов является никелевая активная масса, состоящая кроме вспомогательных материалов из альфа- и бета-гидроокиси никеля.

Работа электрода и последовательность химических, электрохимических и физических преобразований, зависящих, в том числе и от фазовой структуры сырого электрода. Между фазовой структурой и методом изготовления исходного материала можно определить взаимосвязь применением термоаналитических и рентгено-дифракционных испытаний. Электрическими измерениями показана зависимость между удельной емкостью и фазовой структурой. Структурные свойства и электрические характеристики зависят от многих различных добавок, из этих наиболее выгодно применение кобальта.

DIE STRUKTUREIGENHEITEN, ZUSÄTZE UND DIE AUF DIE ELEKTRISCHEN EIGENSCHAFTEN AUSGEÜBTE WIRKUNG DER NICKEL-AKTIVMASSE VON ALKALI-BATTERIEN

DR. S. KULCSÁR—E. KÁDÁR

Zusammenfassung

Als Grundmaterial für die Positiv-Elektroden-Fertigung wird Nickel-Aktivmaterial angewandt, das — abgesehen von den Hilfsmaterialien — aus alpha und beta Nickelhydroxid besteht.

Die Funktion der Elektrode wird durch eine auch von der Phasenstruktur der Rohelektrode abhängige Serie von chemischen, elektrochemischen und physikalischen Umwandlungen bestimmt. Zwischen der Phasenstruktur und der Fertigungsart des Rohmaterials kann durch Anwendung von thermoanalytischen- und Röntgendiffraktionsprüfungen ein Zusammenhang festgestellt werden. Durch elektrische Messungen wurde der Zusammenhang zwischen der spezifischen Speicherfähigkeit und der Phasenstruktur nachgewiesen. Die Struktureinheiten und die elektrischen Eigenschaften können durch vielerlei Zusatzstoffe beeinflusst werden. Als günstigstes hat sich Kobalt erwiesen.

STRUCTURAL FEATURES, ADDITIVES AND THEIR INFLUENCE ON THE ELECTRIC PROPERTIES OF THE NICKEL-ACTIVE MATERIAL IN ALKALINE Ni—Cd STORAGE BATTERIES

BY DR. S. KULCSÁR—E. KÁDÁR

Summary

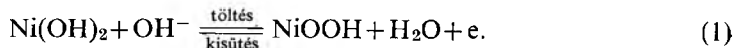
The nickel-active material is the basic material of positive electrode manufacture. Apart from the additives it consists of alpha and beta nickel hydroxides. The functioning of electrode consists of a series of chemical, electrochemical and physical transformations also dependent on the phase structure of the crude electrode. A relationship can be established by thermoanalytical and X-ray diffraction investigations between the phase structure and the way of manufacture of the raw material. The relationship between the specific storage capacity and the phase structure has been demonstrated by electric measurements. The structural features and electric properties can be affected by a number of additives, of which the most favourable one is cobalt.

1. Bevezetés

A lúgos akkumulátorok pozitív elektródjaként leggyakrabban nikkeloxid elektródot (NOE) alkalmaznak, amelyet különféle negatív elektródokkal (pl. Fe, Cd, Zn) párosítva lúgos elektrolitú akkumulátorokat készítenek.

A NOE áramtermelő aktív anyaga különféle nikkeloxidok és vezetést elősegítő egyéb anyagok (pl. grafit-, nikkelszirom) keveréke, amelyek megfelelő szemcseméretben kerülnek alkalmazásra a táskás akkumulátorok lemezeibe töltve.

A szintervázás Ni-elektrodok esetében külön vezetőanyagot nem alkalmaznak, mivel a villamosan jól vezető nikkelmátrix a vékony, rosszul vezető aktív rétegről képes a töltések elvezetésére. A NOE-ban lejátszódó áramtermelő folyamat legegyszerűbb modellje a következő:



A valóságban az (1) reakció bonyolultabb, több redukált és oxidált forma létezik, köztük számos nem sztöchiometrikus változat. Pl.:



A felsorolás korántsem teljes. Ezekben az anyagokban a Ni vegyértéke 2 és 4 között szinte folytonosan változik, és a molekulákba víz és különféle kationok épülnek be eltérő erősségű kötést hozva létre az alapvegyülettel.

Az aktív anyag gyártásában és az elektródok működésében legjelentősebbek a következő anyagok: α -Ni(OH)₂, β -Ni(OH)₂, β -NiOOH, γ -NiOOH.

2. Az aktív anyag fő fáziskomponensei

β -Nikkel-hidroxid

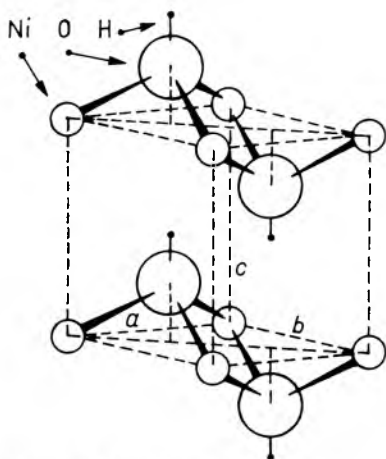
A β -Ni(OH)₂ a lúgos közegben stabil Ni(OH)₂-módosulat. Hexagonális tetraédes (C₆) rétegrácsot alkot, hasonlóan a Mg, Ca, Mn, Fe, Co, Cd hidroxidjaihoz [8]. Tökéletesen kristályos formában igen nehéz előállítani.

Rácsparaméterei: $a = 31,26$ nm, $c = 46,05$ nm. Rétegeközi vizet nem tartalmaz, OH-csoportjaiban levő hidrogén „H-kötésben” nem vesz részt. A jól kristályosodott β -Ni(OH)₂ IR spektrumában 3640 cm⁻¹-en a szabad OH-csoportok feszültségvibrációja miatt erős abszorpció észlelhető. Ezenkívül 460 cm⁻¹-en a Ni-O kötés feszültség-, ill. 545 cm⁻¹-en és 345 cm⁻¹-en az OH-csoportok deformációs vibrációja észlelhető. Kevésbé kristályos anyag esetén a 3640 cm⁻¹-n megváltozik az abszorpciós kép [10].

A β -Ni(OH)₂ előállítható pl.*tömény Ni(NO₃)₂ és KOH oldat 90 °C-on történő elegyítésével, majd a kapott termék ammóniából történő átkristályosításával.

α -Nikkel-hidroxid

Az α -Ni(OH)₂ a β -Ni(OH)₂ kevésbé kristályos (mikrokristályos) rendezetlen változata. A megnevezés nem egy határozott polimorfot, hanem a vegyületek sorozatát jelöli, amelyek különféle mennyiségű rétegeközi vizet és idegen ionokat tartalmaznak. Az OH-rétegek szomszédságában levő vízréteg a $c = 46$ nm (β -Ni(OH)₂) értéket 75 nm-re növelik [11]. Az α -Ni(OH)₂-ban levő víz „H-kötésben” van az OH-csoportokkal. A nikkelsóból lúg hatására keletkező α -Ni(OH)₂ gyorsan „öregszik” és ennek során



15-1. ábra. Ni(OH)₂ elemi cella

β -Ni(OH)₂-dá alakul. Erősen lúgos közegben a folyamat néhány óra alatt lezajlik. Az átalakulás valószínűleg oldódás – kicsapódás mechanizmussal történik.

Az α -Ni(OH)₂ híg nikkelsó és lúgoldat alacsony hőmérsékleten történő elegyítésével állítható elő.

β -Nikkel-oxid-hidroxid

Hexagonális rendszerben kristályosodik hasonlóan a CoOOH-hoz és a CrOOH-hoz. Rácsparaméterei: $a = 28,1$ nm, $c = 48,4$ nm. Hidrogénkötést tartalmaz. Fajsúlya 3,85 g/ml. Kis ellenállású n-típusú félvezető. A β -Ni(OH)₂ elektrokémiai oxidációjának fő terméke. Előállítható pl.: Ni(NO₃)₂ oldat lúgos K₂S₂O₈-cal történő oxidációjával.

γ -Nikkel-oxid-hidroxid

A γ -NiOOH elnevezés a vegyületek csoportját jelöli. Általános képletük: A_xH_y(H₂O)_zNiO₂, ahol A = alkáli ion (K⁺ vagy Na⁺), $x, y \leq 1$, a Ni oxidációs foka: 3...3,75. A Ni₃O₆·2H₂O képletű változata NaOH és NiO ömledékének NaOBr oldattal történő hidrolízisével, 0 °C-on állítható elő [2]. Az α -Ni(OH)₂ elektrokémiai oxidációjának fő terméke, de ez a változat kevesebb alkáli iont tartalmaz. Direkt oxidációval is előállítható NaOBr vagy K₂S₂O₈ alkalmazásával, ekkor feltehetően H₃O·Ni₃O₆·2H₂O keletkezik.

A β -NiOOH-nál kapacitása nagyobb, önkisülése kisebb, kisütési potenciálja kisebb. Akkumulátorban keletkezését elősegíti az elektrolit koncentrációjának és ionsugarának (Rb > K > Na > Li), valamint a töltőáram erősségének a növelése [12].

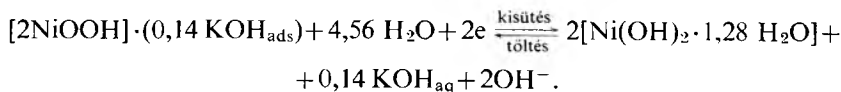
A pozitív aktív anyag ki nem sült maradék kapacitása bizonyos esetekben γ -NiOOH (kis kisütési potenciál, nehezebb redukció). Az elektród duzzadásának forrása [3].

3. Az aktív anyag működése

Az aktív anyag működtetésére számos konstrukciót alkalmaznak (pl. táskás, szintert stb.). A konstrukciótól függetlenül a NOE működését a következők jellemzik:

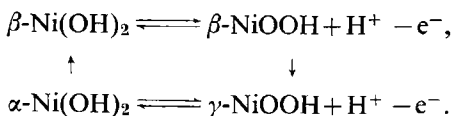
- Nagy élettartam, kedvező tárolhatóság, mélykisütéssel szembeni érzéketlenség. E tényezők okai: szilárd fázisú elektródfolyamat, az aktív anyag nagyfokú oldhatatlansága az elektrolitban, és a redukált, ill. oxidált forma kis térfogatkülönbsége.
- Jelentékeny önkisülés, viszonylag kedvezőtlen töltési hatások, ami az oxigén kis túlfeszültségének tulajdonítható.
- A töltés – kisütési folyamat erősen irreverzibilis.

Anyagszerkezeti vizsgálatok alapján ismert, hogy a NOE-ba a töltés során KOH molekulák épülnek be. A redukció során ezek távoznak és H₂O molekulák épülnek be. Nyugalmi potenciál – elektrolitaktivitás összefüggéseket vizsgálva a következő reakcióegyenlet feltételezhető:



A nyugalmi potenciál – elektrolitaktivitás kapcsolatot azonban kristályszerkezeti tényezők is befolyásolják, így más összefüggések is elképzelhetők [13], [14], [15].

Röntgendifrakciós, termoanalitikai és infravörös vizsgálatok alapján a NOE-ban a következő fázisátalakulások történnek:



A fázisok jelenléte és átalakulása az aktív anyag készítési módjától, az adalékanyagoktól és az üzemelés körülményeitől függ.

Reakciókinetikai szempontból vizsgálva a NOE-t megállapították, hogy a reakció szilárd fázisú, a sebesség meghatározó lépése protondiffúzió, a Ni(OH)₂ és a NiOOH korlátozottan elegyedő szilárd oldatot képez [16].

4. A fajlagos tárolóképeség és a fázisszerkezet összefüggésének vizsgálata

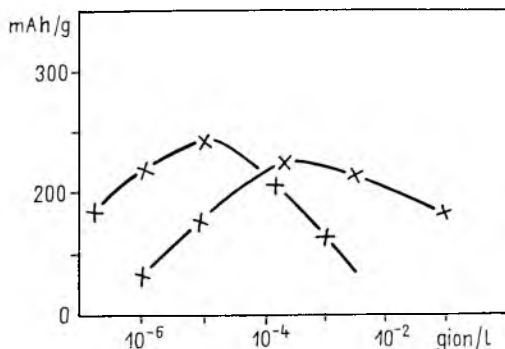
A pozitív aktív anyagot legelterjedtebben nikkelső és alkálihidroxid reagáltatásával állítják elő. Az így nyerhető Ni(OH)₂ az előállítás körülményeitől függően α- és β-Ni(OH)₂-öt, ill. alkáli fémet, vizet és spontán oxidáció következtében magasabb nikkeloxidot tartalmaz.

A fázisszerkezet kialakulásában fontos szerepe van a Ni(OH)₂-leválasztás körülményeinek. Kísérleteink során vizsgáltuk az alkalitás és a hőmérséklet hatását a fázisszerkezetre röntgendifrakciós, valamint termoanalitikai módszerrel.

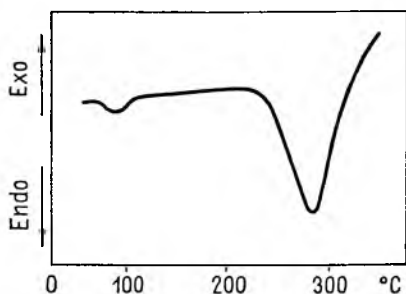
A különféle módon leválasztott Ni(OH)₂-mintákból vezetőanyag hozzáadása után (20% grafit) azonos súlyú pasztillákat sajtoltunk, majd ezeket próbacellába szereltük, és 21%-os KOH-ban, 25 °C-on, két formálási ciklus után meghatároztuk tárolóképeségüket. 1,5-es töltési faktort, 0,2 C₅ kisütőáramerősséget és 0 V Hg/HgO elektródra vonatkoztatott megszakítási potenciált alkalmaztunk.

Megállapítottuk, hogy a tárolóképeség – alkalitás összefüggés maximumot mutat. A maximum a hőmérséklet növelésével a nagyobb hőmérsékletek irányába tolódik el és abszolút értékben csökken (15-2. ábra).

A minták termoanalitikai vizsgálata kevésbé eltérő TG, DTG és DTA görbéket eredményezett. A DTA jelleggörbét a 15-3. ábrán mutatjuk be. A fázisszerkezetre utaló eltérések a 285 °C körül lejátszódó Ni(OH)₂ = NiO + H₂O dehidratációs folya-



15-2. ábra. Alkalitás – fajlagos tárolóképeség összefüggés



15-3. ábra. Pozitív aktív anyag DTA jelleggörbéje

15-1. táblázat

Különbőle módon leválasztott Ni(OH)₂-ok termoanalitikai adatai

A leválasztás körülményei		Bomlási hőmérséklet, °C	Rétegeközi víz, %
alkalitás, gion/l	hőmérséklet, °C		
10 ⁻⁶	25	278	4,2
10 ⁻⁹	25	289	1,1
10 ⁻⁶	80	284	0,9
10 ⁻⁹	80	293	0,0

mat DTA görbén észlelhető maximumának és a leadott víz mennyiségének pontos értékelésével mutathatók ki (15-1. táblázat).

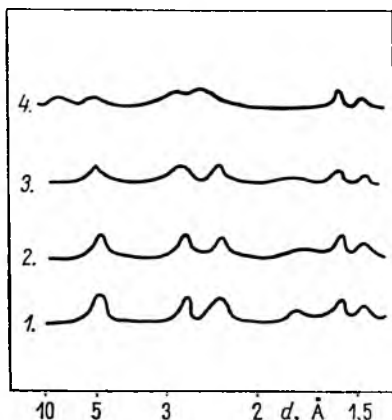
Mínt hogy az α-Ni(OH)₂-re jellemző rétegeközi és dehidratációs víz azonos hőmérsékleten távozik [18], [19], előbbi mennyiségét a minta Ni-tartalmát figyelembe véve határoztuk meg a TG görbéből. A 15-1. táblázatból látható, hogy a rétegvíz a leválasztási hőmérséklet és az alkalitás növekedésével eltűnik. Hasonló irányban változik a bomlási hőmérséklet is, jelezve a kristályos vagy kristályosabb bétafázis megjelenését.

A röntgendifraktogramokon is észlelhető a kristályos fázis megjelenése nagyobb hőmérsékleten és az alkalitás növekedésével (15-4. ábra).

Az eredményekből arra lehet következtetni, hogy az erősen kristályos bétafázis megjelenése csökkenti a tárolóképességet, ill. az aktív anyag Ni-tartalmának elektrokémiai hatásfokát. Más szerzők a pozitív elektród öregítése során hasonló eredményre jutottak [20].

5. Idegen ionok szerepe a NOE működésében

A NOE működését számos idegen ion befolyásolja. Ezek egyrészt adalékanyagok, másrészt szennyeződések. Adalékanyagon most csak az elektródfolyamatokat gátló vagy gyorsító anyagokat értjük. Káros szennyezők pl. a NO₃⁻ és a Cl⁻, mert önkisülést okoznak, a SO₄⁻ duzzadási folyamatok forrása.



15-4. ábra. Különbőle módon lecsapott $\text{Ni}(\text{OH})_2$ -ok röntgendiffraktogramja

1 10^{-6} gion/1, 80 °C; 2 10^{-9} gion/1, 80 °C; 3 10^{-8} gion/1, 25 °C;
4 10^{-9} gion/1, 25 °C

Feltételezhető, hogy a NOE szilárd fázisú folyamatai miatt a hasonló rácsparaméterű anyagok lépnek valamilyen kölcsönhatásba az aktív anyaggal [23]. Ilyenek pl. a Fe, Cd, Ca, Mg, Co és Mn hidroxidjai.

Ezek közül a Fe káros, a Mg és a Ca-mal kapcsolatban megoszlanak a vélemények. A Cd-, Mn- és Co-ionokat előnyösnek tartják. Nagyobb hőmérsékleten csökken a NOE töltésvétele, ezt a hatást mérsékelni lehet a Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zn és Hg hidroxidjainak alkalmazásával [24].

A leggyakrabban alkalmazott adalék a Li és a Co, a többi anyag gyakorlati alkalmazásáról keveset tudunk.

A Li könnyen beépül a NOE-ba. A töltött NOE az n-, a kisütött p-típusú félvezető. A vezetőképességük aktiválási energiája alig tér el. A Li hatására azonban az n-típus aktiválási energiája csökken, a p-típusé nő [25], [26]. Ezzel magyarázzák kedvező hatását.

A Co-adaléknak számos kedvező hatást tulajdonítanak: csökkenti az önkisülést, javítja a töltésvételt, a formációt és a vezetési viszonyokat. Elősegíti a $\gamma\text{-NiOOH} \rightarrow \beta\text{-NiOOH}$ átalakulást. Vannak azonban olyan megállapítások is, hogy kedvezőtlen módon növeli az elektród duzzadását. Ennek kiküszöbölésére pl. Cd–Co kettős adalékrendszer alkalmaznak [27]. A legújabb vizsgálatok szerint azonban a Co nem befolyásolja az elektród duzzadását, sőt növeli az aktív anyag elaszticitását, így csökkenti az elektródban fellépő káros mechanikai feszültségeket [28].

6. Az adalékanyagok hatásának vizsgálata

Irodalmi adatok és saját méréseink szerint is a leghatékonyabb adalék a Co. A kobalt-aktiválás módja jelentősen befolyásolja az eredményességet, amint az a 15-2. táblázat adataiból látható.

A nikkelsó és alkálihidroxid elegyítésekor keletkező $\text{Ni}(\text{OH})_2$ gélállapotú, igen nagy mennyiségű vizet tartalmaz. Ha az adalékot ekkor visszük a rendszerbe, a későbbi műveletek során bekövetkező jelentékeny zsugorodás miatt az adalék és az anyag kapcsolata rossz lesz. Viszonylag jó eredményt kapunk, ha a gélállapot meg-

Adalékanyagok hatása a tárolóképességre

A minta jele	Az aktiválás módja	Adalék	Relatív adalék-anyagtartalom ⁽¹⁾	Adalék-anyag-arány ⁽²⁾	Tárolóképesség, mAh/g	Formáció, % ⁽³⁾
A	Nem aktivált	Co	∅	—	221	+8,4
B	Por technológia	Co	2	—	229	+7,7
C	Felületbevonás	Co	1	—	242	-2,0
D	Gélfelületbevonás	Co	2	—	221	+8,2
E	Gélfelületbevonás	Co	1	—	220	+7,3
F	Felületbevonás	Ba + Co	2	1:1	240	-1,0
G	Felületbevonás	Mg + Co	2	1:1	250	0,0
H	Felületbevonás	Cd + Co	2	1:1	245	-1,0

⁽¹⁾ A minták egymáshoz viszonyított adalékanyag-tartalma.

⁽²⁾ A különféle adalékok egymáshoz viszonyított aránya az adott mintákban.

⁽³⁾ A 3. és az 1. ciklusban mért tárolóképesség különbsége az 1. ciklusra vonatkoztatva.

szüntetése után por formájában adagoljuk a $\text{Co}(\text{OH})_2$ -ot, ami technológiai szempontból előnyös, de az eloszlás kedvezőtlen volta miatt valamivel rosszabb eredményt ad, mint a felületbevonás. A 15-2. táblázatból az is látható, hogy az egyes alkalmazási módok viszonylagos hatékonysága még az adalék mennyiségének növelésével sem kompenzálható.

Kombinált adalékrendszerek vizsgálata során a Ba–Co, a Mg–Co és a Cd–Co összetételű variánsokat vizsgáltuk (15-2. táblázat).

A Cd, Ba és Mg önmagában kedvezőtlenebb hatást mutat, mint a Co. Kombinált alkalmazásban 1...3% javulás érhető el a Mg és Cd esetén a tiszta Co-adalékhoz képest. Ez nem számottevő javulás, ha az 1...2% mérési hibát figyelembe vesszük.

7. Következtetések

A pozitív aktív anyag fajlagos tárolóképessége függ a fázisszerkezettől. A fázisszerkezetet az előállítás módja, az idegen ionok hatása és a működés körülményei alakítják ki. Vizsgáltuk az előállítás során alkalmazott alkalitás és a hőmérséklet hatását a fázisszerkezetre, és megállapítottuk, hogy mindkét tényező növekedése a kristályosabb bétafázis keletkezése irányába tolja el a folyamatot, ami csökkenti a fajlagos tárolóképességet. Az adalékanyagok közül legkedvezőbb a Co. Ez egyebek között elősegíti a $\gamma \rightarrow \beta$ átalakulást. Megállapítottuk, hogy hatékonysága nagymértékben függ az alkalmazás módjától, és Cd, Ba, Mg kombinációban használva hatása alig változik.

Irodalom

- [1] H. Bode—K. Dehmelt és J. Witte: *Electrochimica Acta*, **11** (1966), 1079.
- [2] H. Bartl—H. Bode—G. Sterr—J. Witte: ú. m. f. **16** (1971), 615.
- [3] C. Greaves—M. A. Thomas—M. Turner: *Power Sources Conference* (1982.)
- [4] Yu. N. Cherykh—A. A. Yahuvleva: *Elektrohimija* **6** (1970) 1671.

- [5] *P. C. Milner—V. V. Thomas*: Advances in Electrochemistry and Electrochemical Engineering, Vol. 5, Ed: C. W. Tobias Interscience, New York, p. 1. (1967)
- [6] *R. W. Cairns és E. OH*: J. Amer. Chem. Soc. **55** (1933), 534.
- [7] *O. Glemser és J. Einerhard*: Z. Anorg. Allg. Chem. **189** (1930), 183.
- [8] *G. Natta*: Gazz. Chim. Ital. **58** (1928), 344.
- [9] *F. P. Kober*: J. Electrochem. Soc. **112** (1965), 1064.
- [10] *M. Figlarz—S. Le Bihan*: Comptes Rendus **272** (1971), 580.
- [11] *H. Bode—K. Dehmelt és J. Witte*: Z. Anorg. Allg. Chem. **366** (1969.)
- [12] *A. L. Rotijan (Ed.)*: Prikladnaja Elektrohimiya. Izd. Him. Leningrad, 1974., p. 485.
- [13] *F. Kornfeil*: Proc. Ann. Power Sources Conf. **12** (1958.)
- [14] *P. L. Bourgault és B. E. Conway*: Can. J. Chem. **38** (1960), 1557.
- [15] *R. Barnard—C. F. Randell—F. L. Tye*: J. Applied Electrochemistry. **10** (1980), 127.
- [16] *H. Ewe—A. Kalberlak*: Electrochim. Acta. **15** (1970), 1885.
- [17] *O. Glemser—J. Einerhand*: Z. Electrochem. **54** (1950), 302.
- [18] *S. Le Bihan*: Thermochim. Acta. **6** (1973), 319.
- [19] *W. Dennstedt—W. Löser*: Electrochim. Acta. **16** (1971), 429.
- [20] *R. Barnard—C. F. Randell—F. L. Tye*: Power Sources Conference (1980).
- [21] *W. Feitknecht—H. R. Christen—H. Studer*: Z. Anorg. Allg. Chem. **283** (1956), 88.
- [22] *H. Bode*: Angew. Chem. **73** (1961), 553.
- [23] *V. Z. Barsukov—A. G. Gerosimov—L. N. Sagoyan*: Int. Soc. E. chem. **32**. Meeting, Dubrovnik, Yugoslavia, (1981.)
- [24] USP 3.826.684.
- [25] *Z. Takehara—M. Kato—S. Yashizawa*: Electrochim. Acta. **16** (1971), 833.
- [26] *P. Kelson—A. D. Sperrin—F. L. Tye*: Power Sources **4**. Ed: D. H. Collins. Oriel Press, Newcastle upon Tyne, (1973), p. 201.
- [27] BP. 1. 426.708.
- [28] *D. H. Fritts*: J. Electrochem. Soc. **129** (1982), 118.

TECHNOLÓGIÁK

16.

Napelemek, napelemes áramforrások, napelemes érzékelők

PÁLFY MIKLÓS – BÖHÖNYEY FERENC – PALOTAI GÉZA

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk – amely az 1981-ben Visegrádon rendezett KGST szakértői értekezleten elhangzott előadások összevont anyaga – a napelemek, napelemes áramforrások és napelemes érzékelők működésével, vizsgálati módszereivel és alkalmazási lehetőségeivel foglalkozik. Elméleti és méretezési megfontolásokon túl ismerteti a hazai fejlesztés legújabb eredményeit.

СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ИСТОЧНИКИ ТОКА И ДАТЧИКИ ИЗ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

M. Pálfi—Ф. Бехеней—Г. Палотай

Резюме

Статья — совмещенный материал докладов, прочитанных на совещании экспертов стран-членов СЭВ в Вишеграде в 1981 г. — занимается принципом работы, методами испытания и возможностями применения солнечных элементов, источников тока и датчиков из солнечных элементов. Кроме теоретических и расчетных соображений излагаются новейшие результаты отчетственного совершенствования.

SOLARZELLEN, SOLARZELLEN-STROMQUELLEN, SOLARZELLEN-FÜHLER

M. PÁLFY – F. BÖHÖNYEY – G. PALOTAY

Zusammenfassung

In dem Artikel – der Artikel enthält eine Zusammenfassung derjenigen Vorträge, die 1981 zu der RGW-Fachexperten-Konferenz in Visegrád verklungen sind – werden die Funktionsweise, die Prüfmethode und die Einsatzmöglichkeiten von Solarzellen, Solarzellen-Stromquellen und Solarzellen-Fühler behandelt. Über die theoretischen und Dimensionierungsüberlegungen hinaus werden die neuesten Ergebnisse der heimischen Entwicklung erörtert.

Summary

Representing a summary of lectures delivered at the conference of CMEA experts at Visegrád in 1981, the paper discusses the operation, test facilities and potential applications of solar cells, solar power sources and photoelectric sensors. In addition to theoretical and dimensioning considerations, it describes the latest achievements of Hungarian development projects.

A napelemek földfelszíni alkalmazására irányuló kutatások a VKI-ban több mint egy évtizedes múltra tekintenek vissza. A téma összetett igényeiből adódóan a technológiai jellegű munkák az utóbbi időben az egységes mérési rendszer kialakításával, a gyártási folyamatok analízisével, valamint az alkalmazási területek és speciális alkalmazási lehetőségek fejlesztésével bővültek.

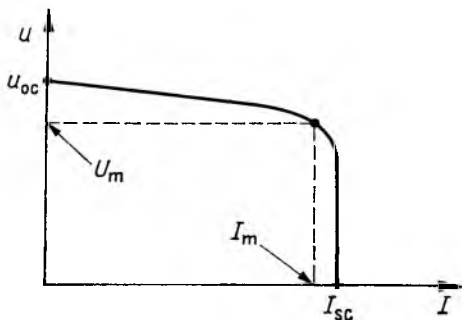
E cikk, amely az 1981-ben Visegrádon rendezett KGST szakértői értekezleten elhangzott előadások összevont anyagát is felhasználja, az utóbbi évek munkáiból egymással szorosan összefüggően három önálló témakörrel foglalkozik. A napelemek szerkezeti felépítését, működését ismertnek tételezi fel [1], [2], ezeket nem részletezi. Elméleti és méretezési megfontolásokon túl bemutatja a hazai fejlesztés legújabb eredményeit.

1. Napelemek mérése

A napelemek kimeneti villamos tulajdonságait a mérés útján felvett $U-I$ karakterisztika (16-1. ábra) alapján vizsgáljuk. A karakterisztika három fő jellemzője: Az U_{oc} üresjáratú feszültség, az I_{sc} rövidzárási áram és a kitöltési tényező, az ún. fillfaktor (FF), amely a maximális kimeneti teljesítmény aránya az $U_{oc}I_{sc}$ szorzathoz. A maximális kimeneti teljesítmény a hozzá tartozó U_m feszültség és I_m áramértékkel van definiálva. A kitöltési tényező így írható:

$$FF = \frac{U_m I_m}{U_{oc} I_{sc}}$$

Ez a három paraméter egyedi napelemek és napelemmodulok esetében is alkalmas a napelemek értékelésére.



16-1. ábra. Napelemek $U-I$ karakterisztikája

A napelemek energiaátalakítás szempontjából legfontosabb jellemzője a hatásfok, amely definíció szerint:

$$\eta = \frac{P_{\text{gen}}}{P_{\text{foto}}},$$

ahol P_{gen} a generált villamos teljesítmény;

P_{foto} a napelem felületére érkező fénytelsítmény.

A hatásfok a villamos karakterisztika értékeivel kifejezve:

$$\eta = \frac{U_m I_m}{P_{\text{foto}}} = \frac{FFU_{0c} I_{sc}}{P_{\text{foto}}}$$

A 16-2. ábrán a napelem mint fotovillamos átalakító elvi vázlatja látható.

A bemenetre érkező fototelsítmény hatására a kimeneten villamos teljesítmény jelenik meg. A napelem vizsgálata tulajdonképpen abból áll, hogy ismert bemenő jel esetén mérjük a kimenő jelet. A kérdés az, hogy a bemenetre adott jel milyen legyen és hogyan állítsuk elő, továbbá a kimeneten mit és hogyan mérjünk.

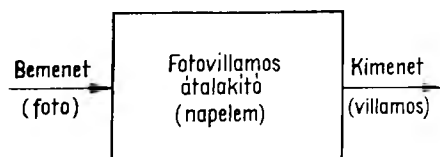
Napelemek mérésére napjainkban egységes nemzetközi szabványok még nincsenek. Általában a nagy nyugati (elsősorban USA) cégek mérési rendszereit alkalmazzák [3].

Nyilvánvaló, hogy sorozatmérést napfénynél általában nem lehet végezni, mivel annak intenzitása és spektruma is állandóan változik. A mérési eredmények átszámítása standard megvilágítási szintekre bonyolult és pontatlan. A mérésekhez napsütéshez hasonló tulajdonságú műfényforrás, ún. napszimulátor szükséges.

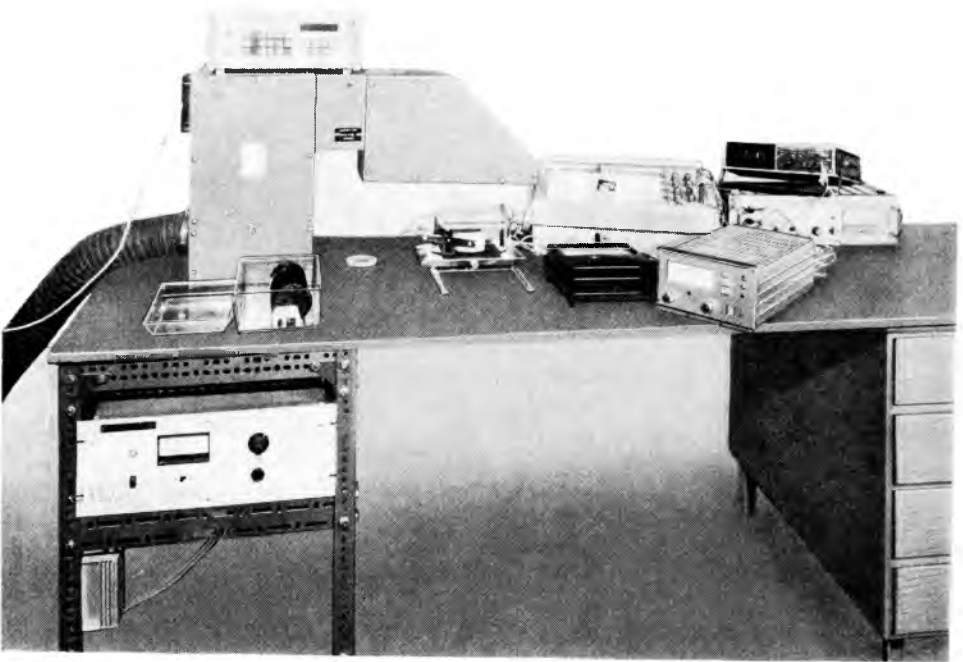
Napszimulátor céljára a nemzetközi gyakorlatban általában AM 1 spektrumeloszlást közelítő, 100 mW/cm² intenzitású homogén fényforrást alkalmaznak, és ezt használják földfelszíni napelemek mérésénél. Esetenként AM 1,5 (85 mW/cm²) és AM 2 (75 mW/cm²)-vel jellemzett fényforrásokkal is mérnek. A spektrumeloszlás pontos leképezése nem túl kritikus, mert – ha a fényforrás egyébként nem változtatja a spektrumát és a vizsgálandó napelemek azonos spektrális érzékenységek, – a kimenő villamos jel egyetlen, a rendszerre jellemző állandóval transzformálható a kívánt szabványos értékre, ill. a probléma a fényforrás beállítására szolgáló etalon kérdésre redukálható.

A kívánt spektrumtól erősen eltérő fényforrás nem kívánatos, mert pl. hosszabb hullámhosszú forrás jobban melegíti az elemeket, továbbá a napelemek érzékenységeinek hullámhosszfüggése miatt a különböző alapanyagból készült napelemek más, a mérendő napelem anyagával azonos érzékenységet eloszlású etalonokat igényelnek.

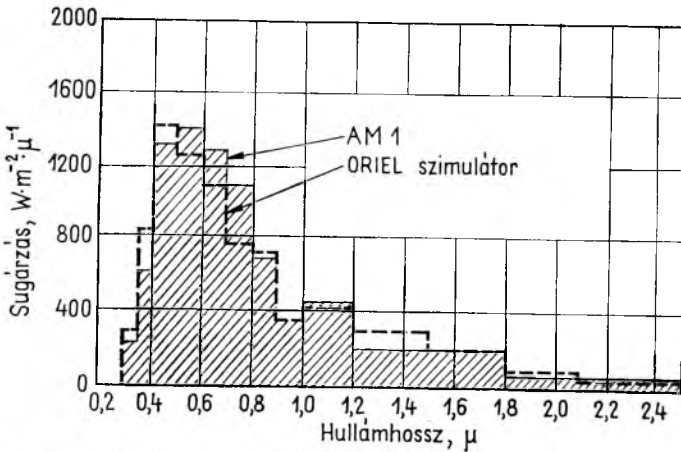
A gyakorlatban napszimulátor céljára spektrumszűrővel ellátott xenonlámpás fényforrások terjedtek el. Példaképpen bemutatunk egy, az ORIEL cég (USA) által gyártott napszimulátort (16-3. ábra) és spektrumeloszlását (16-4. ábra). A napelemmodulok mérésénél alkalmazott szimulátorok esetében további problémát jelent a lényegesen nagyobb (kb. 0,5 m²) felület egyenletes megvilágítása. A 16-5. ábrán egy ilyen napelemmodulok mérésére alkalmas szimulátort mutatunk be. A berendezést a



16-2. ábra. Fotovillamos átalakító blokkvázlata



16-3. ábra. Napelem mérőrendszere (ORIEL szimulátorral)



16-4. ábra. Oriel napszimulátor spektrumeloszlása

VKI-ban fejlesztették ki. A fényforrás 12 db HgM1 250/D típusú, 6000 K színhőmérsékletű, TUNGSRAM gyártmányú diszproziomadalekolt fémhalogén lámpa [5].

A napszimulátorok beállításához használt etalonoknak két típusa ismert. Az egyik az ún. gyártásközi etalon tulajdonképpen egy pontosan mért napelem, amelynek segítségével a szimulátorok hitelesítése nap mint nap elvégezhető. A másik



16-5. ábra. Napszimulátor napelemmodul méréshez

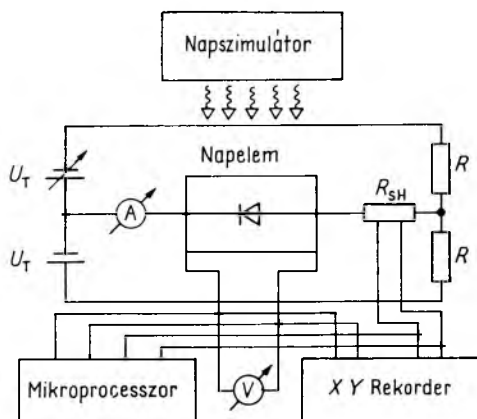
típus az ún. „master etalon” a gyártásközi etalonok időszakos hitelesítésére szolgál. Ez utóbbi hitelesítése nemzetközi mérőállomásokon végezhető. Ilyen mérőállomás van pl. Európában Málta szigetén, az USA-ban a Table Mountain-en. A szocialista országok közül a Szovjetunió tervezi mérőállomás létrehozását.

A napelemek kimeneti villamos jellemzőit az ismertetett $U-I$ karakterisztika egyértelműen meghatározza. A karakterisztika felvételére alkalmas áramkört a 16-6. ábrán mutatjuk be. A karakterisztika jellegzetes pontjai közül az üresjárási feszültség, a rövidzárási áram közvetlenül is mérhető, míg a maximális teljesítményű munkaponthoz tartozó adatok a karakterisztikából származtathatók pl. a 16-6. ábra szerinti, a VKI-ban kifejlesztett mikroprocesszoros számítógép-rendszer alkalmazásával [6]. A hídkapcsolású mérőáramkör biztosítja, hogy a nullátmenetek (üresjárási feszültség, rövidzárási áram) is egyértelműen mérhetőek. A VKI-ban kifejlesztett mérőrendszer ORIEL napszimulátorral a 16-3. ábrán látható.

2. Napelemes áramforrások

A napelemes áramforrások fő felhasználási területei:

- telekommunikációs rendszerek, átvivőlancok autonóm áramforrásai;
- csővezetékek katódos korrózióvédelmének áramforrása;



16-6. ábra. Napelem $U-I$ karakterisztikájának mérőrendszere

- autonóm szivattyúállomások áramforrása;
- kis teljesítményű meteorológiai, geodéziai, mezőgazdasági műszerek, rádiók, magnetofonok stb. tápáramforrása;
- navigációs jelzőberendezések, kihelyezett jelzőbiztosító és riasztóberendezések áramforrása;
- jelző- és riasztóberendezések detektora vagy szabályozója;
- segélytelefonok tápforrása;
- televíziós oktatóhálózat áramforrása fejlődő országokban.

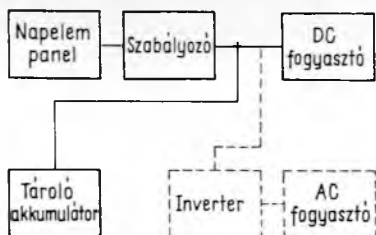
A napelemes áramforrások elvi vázlata a 16-7. ábrán látható.

Az áramforrás egyik legfontosabb eleme a napelempanel, amely modulokból épül fel. A VKI-ban készülő napelemmodulok a 16-8. ábrán láthatók.

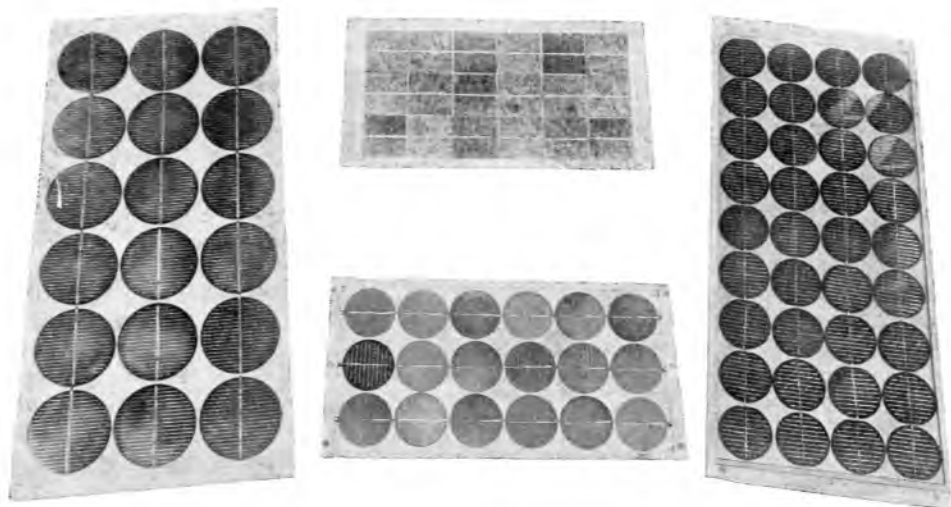
A napelempanel megvilágítható normál napfényvel vagy koncentrált fényvel. A normál napfényvel működő sík rendszerek többnyire fix tájolásúak. Fix tájolás esetén egy adott felületre egy év alatt általában akkor érkezik maximális energia, ha a tájolás Egyenlítő-irányú, és a panelfelület merőleges a nap-éj egyenlőség idején mérhető maximális napsugárbeesési szögére (Budapesten ez $42,5^\circ$). Ekkor a panelfelület a vízszintes síktól mért szöge a szélességi kör szögével azonos (Budapesten $47,5^\circ$). Egyenletesebb eloszlású éves energiahozam biztosítása érdekében az adott telepítési hely szélességi körénél $5^\circ \dots 15^\circ$ -kal nagyobb paneldőlésszöget alkalmaznak. Természetesen konkrét telepítésnél egyéb tényezők figyelembevétele is szükséges, pl. a hófelhalmozódás elkerülésére közel 90° -os paneldőlésszög kívánatos; sivatagos területeken a homokfelhalmozódás megakadályozására kb. 45° -os dőlésszög szükséges; esős trópusi tartományban a panelek öntisztulásának biztosításához legalább 30° -os dőlésszög kell; átlagtól periodikusan eltérő meteorológiai feltételek esetén (pl.: meghatározott napszakban ismétlődő sugárzáscsökkenés) a tájolás iránya eltérhet az Észak–Dél iránytól.

A szabályozóegység legegyszerűbb esetben egy dióda, amely sötét periódusban az akkumulátor kisülését hivatott megátolni a napelempanelen keresztül. Bizonyos esetekben a szabályozóegységbe építhető az akkumulátortelep túltöltésvédelmét ellátó szabályozóáramkör vagy optimális akkumulátortöltést biztosító elektronikus egység. Alkalmassint biztosítani kell a feszültségstabilizálást a terhelés oldalán, ill. az alarmjelet az akkumulátor túlzott kisülése esetén.

Energiatárolás céljára gyakorlati alkalmazás szempontjából – elsősorban ár-kérdések miatt – a Ni...Cd és az ólomakkumulátorok vehetők figyelembe. Ezek



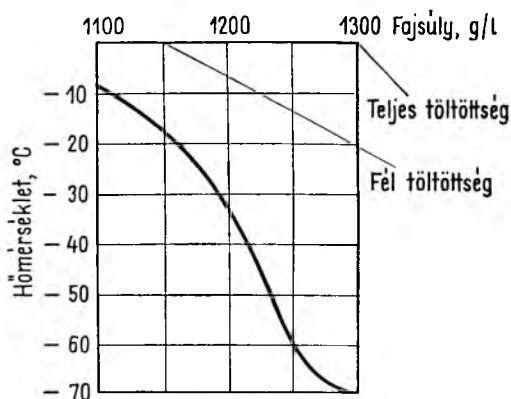
16-7. ábra. Napelemes áramforrás elvi vázlata



16-8. ábra. A VKI-ban készült napelemmodulok

16-1. táblázat

Jellemző	egység	Ni-Cd		Pb		
		zárt	nyitott	zárt	Pb-Sb	Sb-szegény
Kapacitás						
minimum	Ah	0,01	10	1	10	20
maximum	Ah	15	1800	10	200	2000
Karbantartás gyakorisága	hó	–	6	–	6	12
Élettartam	év	10	10...25	4	5	20...25
Önkisülés	%/hó	35	35	3	10–30	2–3
Működési hőmérséklet						
maximum	°C	+45°	+45°	+45°	+60°	+50°
minimum	°C	–20°	–20°	–20°	–20°	–20°



16-9. ábra. Ólomakkumulátorok elektrolitjának fagypontgörbéje

fő jellemzői a 16-1. táblázatban láthatók [7]. A táblázat adataiból különös figyelmet érdemelnek az önkisülésértékek, ugyanis az önkisülés árama a hasznos terhelőáramot csökkenti, és előállhat az az állapot, hogy téli időszakban kis sugárzási szint mellett a napelempanel az akkumulátor veszteségét sem tudja pótolni. A tárolóakkumulátorokkal kapcsolatban további probléma a működési hőmérséklet tartománya. Nagy környezeti hőmérsékleten az önkisülés nő (40 °C-on az önkisülés árama kb. háromszorosa a 20 °C-on mérhető értéknek). Kis hőmérsékleten az elektrolit fagyásveszélye és az akkumulátor kapacitáscsökkenése jelent problémát. Az ólomakkumulátorok elektrolitjának fagypontgörbéjét a 16-9. ábrán mutatjuk be [10].

Az elmondottakból nyilvánvaló, hogy egész éves üzemű napelemes autonóm áramforrások céljára kis veszteségű kezelésre igénytelen ólomakkumulátorok alkalmazása a célszerű.

Egyenáramú fogyasztók feszültség szintje általában illeszkedik az ólomakkumulátorok névleges feszültségéhez (6 V; 12 V; 24 V stb.). Ilyen esetben megfelelő méretezéssel a fogyasztó közvetlenül csatlakoztatható a napelemes tápegységhez. Változóáramú fogyasztókhoz inverter szükséges. Inverteres rendszer esetén az egyenáramú oldal feszültség szintjét — a kedvezőbb átalakítási hatások biztosítása érdekében — célszerű viszonylag nagy (24 V feletti) értékre választani.

A napelemes áramforrások méretezése során meghatározandó fő jellemzők [8], [9], [10]:

- a panel névleges feszültsége;
- a panel névleges árama;
- az akkumulátor kapacitása.

A panelek névleges feszültségét a terhelés specifikálja. Egyenáramú fogyasztók esetén ez általában illeszkedik az ólomakkumulátorok feszültség szintjéhez. A napelempanel modulokból épülnek fel és ezen modulok névleges feszültsége szintén illeszkedik az ólomakkumulátorok feszültség szintjéhez. Ily módon a napelemmodulok megfelelő számú sorbakapcsolásával a kívánt panelfeszültség egyszerűen biztosítható.

A névleges paneláram a következő összefüggéssel határozható meg:

$$I_p = ab \frac{24J_L}{Q_m} \quad \text{A,}$$

ahol $a = 1,5$ biztonsági tényező;

$b = 100 \text{ mW/cm}^2$, vonatkoztatási szint;

I_L az átlagos terhelőáram, A;

$24 I_L$ egy nap fogyasztása, Ah;

Q_m az éves sugárzás napi középértéke a paneldőlésszögre korrigálva, mWh/cm².

A számítás során az értékeket 100 mW/cm^2 — a mérésnél alkalmazott — megvilágítási szintre vonatkoztatjuk. A viszonylag alacsony $a = 1,5$ biztonsági tényező azon a megfigyelésen alapul, hogy a sugárzás energiatartalma, bár havonta nagy eltéréseket mutat, éves szinten nem változik $\pm 15\%$ -nál nagyobb értékkel. A szükséges paneláram ismeretében a párhuzamosan kapcsolt modulok száma:

$$n = \frac{I_p}{I_0},$$

ahol I_p a paneláram, A;

I_0 a moduláram, A.

A szükséges akkumulátorkapacitás meghatározásánál három tényezőt veszünk figyelembe: a szezonális tárolás igényét, a tartósan napsütésmentes napok számát és a környezeti hőmérsékletet.

A szezonális tárolókapacitás a következő összefüggés alapján határozható meg:

$$S_s = \frac{A}{K} I_L \sum_1^N \frac{Q_m - Q}{Q_m} \quad \text{Ah,}$$

ahol $A = 731,6 \text{ h}$ a havi óraszám átlaga;

$K = 0,67$ az akkumulátor kisütési tényezője;

I_L , az átlagos terhelőáram,

N az éves átlagnál kisebb sugárzást produkáló hónapok száma;

Q_m , az éves sugárzás napi középértéke a paneldőlésszögre korrigálva, mWh/cm²;

Q a havi sugárzás napi középértéke a paneldőlésszögre korrigálva mWh/cm².

A tartósan napsütésmentes napok száma általában meteorológiai szolgáltatásokból hozzáférhető.

Tájékoztatásul — pl. előzetes becsléshez — a tartósan napsütésmentes napok száma a szélességi körök függvényében a 16-2. táblázat szerint vehető figyelembe [9], [10].

A 16-2. táblázat, ill. konkrét esetben a meteorológiai adatok figyelembevételével számítható napsütésmentes napokból adódó akkumulátorkapacitás a következő:

$$S_D = 24 I_L D \quad \text{Ah,}$$

ahol $24 I_L$ egy nap fogyasztása, Ah;

D a napsütésmentes napok száma.

16-2. táblázat

Szélességi kör (L°)	Tartósan napsütésmentes napok száma (D)
$0^\circ \dots 30^\circ$	15
$30^\circ \dots 40^\circ$	20
$40^\circ \dots 50^\circ$	25
$50^\circ \dots 60^\circ$	30
60° felett	35

A környezeti hőmérséklet hatását biztonsági tényezővel vesszük figyelembe, a 16-9. ábrán látható fagyásgörbéje alapján. Értéke $B = 1 \dots 3$ között változik.

Az előzőek alapján a teljes akkumulátorkapacitás a következő:

$$S = (S_S + S_D)B \quad \text{Ah,}$$

ahol S_S a szezonális tárolókapacitás, Ah;

S_D a napmentes napok tárolása, Ah;

$B = 1 \dots 3$ biztonsági tényező fagyásveszély esetén.

A VKI-ban készült napelemes áramforrások közül kettőt a 16-10. és 16-11. ábrákon mutatunk be.

A 16-10. ábrán látható SG-12/2 típusú, 12 V-os akkumulátort névlegesen 2 A-rel töltő áramforrás fő jellemzői:



16-10. ábra. SG-12/2 típusú autonóm áramforrás



16-11. ábra. SG-6/30 típusú korrózióvédelmi tápegység

- névleges töltőfeszültség: 16 V,
- névleges töltőáram
(1 kW/m² megvilágításnál): 2 A,
- átlagos energiatermelés
(4 kWh/m²/nap átlagsugárzást
feltételezve: kb. 25 kWh/év,
- panelméret: 680×680 mm,
- akkumulátorkapacitás 120 Ah.

A berendezés kihelyezett autonóm áramforrás céljára készült hazai felhasználásra.

A 16-11. ábrán SG-6/30 típusú, 6 V-os akkumulátort névlegesen 30 A-rel töltő áramforrás látható, amelynek fő jellemzői:

- névleges töltőfeszültség: 8 V,
- névleges töltőáram
(1 kW/m² megvilágításnál): 30 A,
- átlagos energiatermelés
(6 kWh/m²/nap
átlagsugárzásnál): kb. 300 kWh/év,
- panelméret: 2500×1500 mm,
- akkumulátorkapacitás 1500 Ah.

A berendezés katódos korrózióvédelmi rendszer autonóm tápegységének készült, sivatagos területen (Irak) történő felhasználásra.

3. Napelem mint fotovillamos érzékelő

A napelemek gyártásakor keletkeznek olyan elemek, amelyek az előírt követelményeknek nem felelnek meg, ugyanakkor fotovillamos érzékelőként előnyösen használhatók. A napelemek előállítására különböző eljárások ismeretesek. A VKI-ban

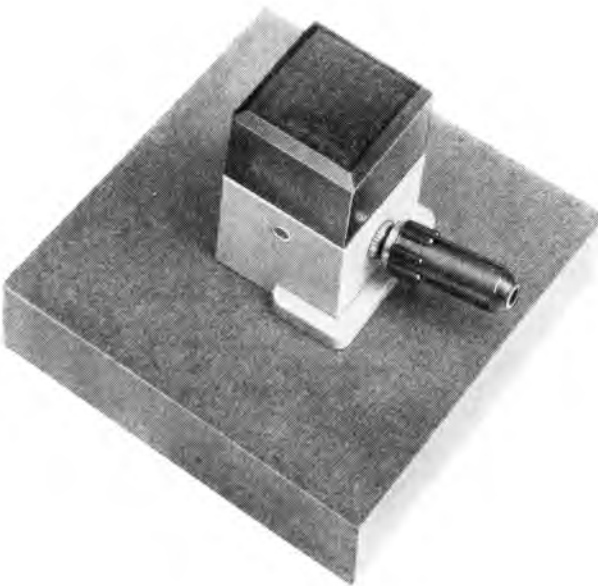
folyó napelemgyártás során az előírt követelményeknek meg nem felelő elemek felhasználásával előírt követelményű fotovillamos érzékelőket állítunk elő.

Mint ismeretes, a fotovillamos érzékelő rövidzárási árama a megvilágítással arányos. Minősítéskor és felhasználáskor ahhoz, hogy a fotovillamos érzékelő a megvilágítással arányos feszültséget szolgáltatson, a terhelőellenállás rezisztenciáját úgy kell megválasztani, hogy az az elem belső rezisztenciájánál lényegesen kisebb legyen. Érzékelő esetében a legfontosabb követelmény úgy fogalmazható meg, hogy a kimeneti kapcsai között mérhető feszültség egy meghatározott megvilágítási szint, ill. terhelő-ellenállás esetén egy U_{\min} alsó és egy U_{\max} felső értékkel rendelkező feszültségtartományon belül legyen. Érzékelőnek a napelem előállításánál azok az elemek felelnek meg, amelyeknek adott felületű egysége által egy meghatározott megvilágítási szintnél, rögzített értékű terhelő-ellenálláson létrehozott feszültsége az érzékelőre meghatározott feszültségtartomány U_{\min} alsó értékénél nagyobb.

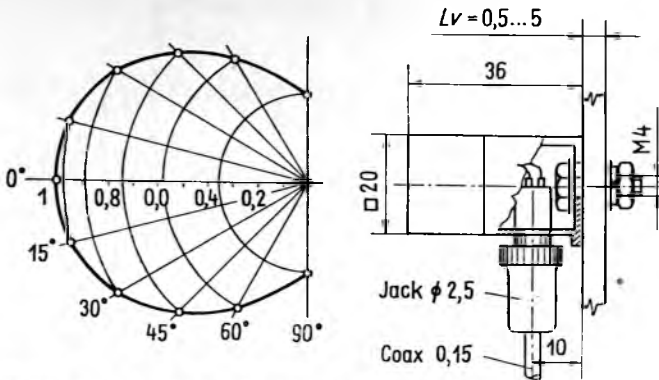
Azok a napelemek, amelyeknek adott felületű egysége által az előbbi feltételek mellett mért feszültsége az érzékelőre meghatározott feszültségtartományon belül van, maszkolás nélkül használhatók fotovillamos érzékelőként. Azok a napelemek, amelyeknek adott felületű egysége által az előbbi feltételekkel azonos körülmények között mért feszültsége a meghatározott feszültségtartomány U_{\max} felső értékénél nagyobb feszültséget szolgáltatnak, fényt át nem eresztő maszk alkalmazásával a fotovillamos érzékelőre meghatározott feszültségtartományba kerülnek.

F felületű napelem érzékelési felülete maszkolással F' aktív felületre csökken. Az $F-F'$ maszkfelület nagysága meghatározható az U_0 maszkolás nélkül mért feszültség, valamint az érzékelőre előírt U_{\min} alsó és U_{\max} felső feszültségértékből, amelyre a teljesülnie kell:

$$\frac{U_{\min}}{U_0} \cong \frac{F'}{F} \cong \frac{U_{\max}}{U_0}.$$



16-12. ábra. Világításérzékelő elem



16-13. ábra. Világításérzékelő iránykarakterisztikája



16-14. ábra. Ívérzékelő elem

Ily módon készült világításérzékelő látható a 16-12. ábrán.

Érzékelőfej mérete: 20×20×15 mm.

Koaxiális csatlakozó típusa

(középső pólus negatív

polaritású):

Érzékenység 50 lux:

5000 lux:

Jack Ø 2,5.

min 20 mV,

min 350 mV,

max 500 mV.

A megvilágítás 100 W-os wolframszál izzóval homlokfelületre merőlegesen értendő. A kimeneti feszültség 1 kΩ-os lezáró-ellenálláson 25 °C-on mért. A felfogási módot és iránykarakterisztikát a 16-13. ábrán láthatjuk.

Működési hőmérséklet-tartomány -20 °C...+60 °C,

páratartalom: 100%-ig,

szerelési pozíció: tetszőleges.

Az így készült fotovillamos érzékelő előnyösen alkalmazható erősáramú berendezésekben keletkező villamos ív érzékelésére és megfelelő elektronikus berendezés csatlakoztatásával zárlatvédelemre. Az e célra készült érzékelőt láthatjuk a 16-14. ábrán.

Az érzékelő külső mérete:	20×20×15 mm.
A kábelcsatlakozás hossza:	6 m
A koaxiális csatlakozó típusa (középső pólus negatív polaritású):	BNC-50-3-013.
Érzékenység 25 000 lux:	70 mV±10%,
50 000 lux:	90 mV.
Működési hőmérséklet-tartomány	0...+85 °C.

A megvilágítás 1000 W-os jódlámpával homlokfelületre merőlegesen értendő. A kimeneti feszültség a kábelvégen 15 Ω-os lezáró-ellenálláson mért.

Irodalom

- [1] *Molnár I. – Horváth P. – Jedlovszky P.-né*: Szilícium bázisú napelemek és tulajdonságaik. VKI Közlemények 5. (1974), 352...364. old.
- [2] *Böhönyey F. – Pálffy M. – Palotai G.*: A napenergia komplex hasznosítása. VKI Közlemények 6. (1977), 157...169. old.
- [3] *F. C. Treble*: Performance rating of photovoltaic solar generators for terrestrial applications. Int. Conf. on Solar Electricity, Toulouse, March, 1976.
- [4] ORIEL Solar simulators. Oriel Techn. Inf. 1979.
- [5] Tungsram gyártmányismertető. 1980.
- [6] *Mozsáry G.*: Mikroprocesszoros napelemmérő. VKI Alkotó Ifjúság pályázat, 1981.
- [7] *H. R. Dijkstra – C. Franx*: Solar panels for terrestrial applications. MBLE Tech. Inf. 052 (Philips), Bruxelles, 1978.
- [8] *C. E. Backus*: Solar Cells. IEEE Press, New York, 1976.
- [9] Solar electric generator systems. Principles of operation and design concepts. Solar Power Corporation Techn. Inf., 1979.
- [10] Solar Electric Systems. Lucas Bp. Techn. Inf., 1981.

17.

Kombinált plazma-indukciós acélolvasztás

BÓDAY OTTÓ

ÖSSZEFOGLALÁS

A plazmatechnika alkalmazásának előnyei indukciós acélolvasztó kemencék esetén. A kombinált plazma-indukciós acélolvasztó berendezéssel szemben támasztott követelmények, a berendezés felépítése, telepítése, műszaki adatai.

Az üzemi körülmények között végrehajtott olvasztási kísérletek ismertetése (a technológia kialakítása, anyagminőségek, olvasztási próbák stb.). A kombinált plazma-indukciós berendezés alkalmazásával összefüggő üzemeltetési tapasztalatok. A kísérleti eredmények értékelése. A továbbfejlesztés lehetőségei.

КОМБИНИРОВАННОЕ ПЛАЗМО-ИНДУКЦИОННОЕ РАСПЛАВЛЕНИЕ СТАЛИ

О. Бодау

Резюме

Преимущества применения плазменной техники в индукционных печах для расплавления стали. Требования комбинированной плазмо-индукционной установки для расплавления стали; построение, расположение, технические данные установки.

Описание опытов расплавления в заводских условиях (разработка технологии, качества материалов, пробы расплавления и т. д.). Рабочие опыты, связанные с применением комбинированной плазмо-индукционной установки. Оценка экспериментальных результатов. Возможности дальнейшего совершенствования.

KOMBINIERTE PLASMA-INDUKTION-SSTAHLSCHMELZUNG

О. BÓDAY

Zusammenfassung

Vorteile der Anwendung der Plasmatechnik bei Induktions-Stahlschmelzöfen. Die gegenüber der kombinierten Plasma-Induktions-Stahlschmelzeinrichtung gestellten Anforderungen, Aufbau der Einrichtung, Installation, technische Daten.

Erörterung der unter Betriebsbedingungen durchgeführten Schmelzversuche (Gestaltung der Technologie, Materialqualitäten, Schmelzproben etc.). Betriebserfahrungen im Zusammenhang mit der Anwendung der kombinierten Plasma-Induktions-Einrichtung. Auswertung der Versuchsergebnisse. Möglichkeiten der Weiterentwicklung.

Summary

Advantages of adopting plasma technology to induction steel melting furnaces. Requirements to be met by combined plasma inductance steel-melting equipments design details, technical data of equipments.

Description of melting experiments under industrial conditions (details of technology, material qualities, trial meltings etc.). Operational experiences associated with the use of combined plasma-inductance equipment. Evaluation of experimental results. Potentials of further improvements.

1. Bevezetés

A fejlett kohászati iparral rendelkező országokban kísérletek folynak olyan korszerű kohászati berendezések és technológiák kialakítására, amelyek a gép- és számos egyéb ipar számára a minőségi igényeket kielégítő, közepesen és erősen ötvözött acélok gyártását teszik lehetővé, a jelenlegi módszerekhez viszonyítva kisebb fajlagos energiaráfordítás mellett. A plazmatechnika alkalmazásával ezen igények kielégíthetők. A plazmatechnika kohászati alkalmazásáról a VKI Közlemények 8. kötetében adtunk tájékoztatást. Ebben a cikkben a „Plazmakohászati berendezések ipari alkalmazása” c., OMFB–KGYV finanszírozású kutatási munka keretében az indukciós kemencék intenzifikálásával kapcsolatos kísérleti eredményeinkről számolunk be.

2. A plazma-indukciós acélgyártás előnye

Az indukciós kemencék termelékenységének növelése vagy a kemence olvasztótere térfogatának növelésével, vagy olyan kombinált hevítési móddal oldható meg, amely a szilárd betét hevítése és beolvasztása idején a lehető legnagyobb teljesítmény bevitelét biztosítja.

Kombinált plazma-indukciós berendezésben az oldalfalon át létrejövő induktív energiaátadás mellett a kemence felső részén plazma segítségével történik a többlet energia közlése (az induktív és a plazmateljesítmény aránya 2: 1).

Az indukciós hevítés hatásossága szempontjából döntő paraméter az örvényáramok eloszlását befolyásoló behatolási mélység, amelyet a gyakorlat számára kielégítő pontossággal a következő képlettel lehet meghatározni:

$$\delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}},$$

ahol δ a behatolási mélység, cm;

ρ a betétanyag fajlagos ellenállása, Ω cm;

μ_r a betétanyag relatív permeabilitása;

f a gerjesztő indukciós rendszer frekvenciája, Hz.

A teljes beolvasztási periódusban a fajlagos ellenállás nemlineárisan nő, a relatív permeabilitás pedig nemlineárisan csökken a betétanyag hőmérsékletének függvényében. A járulékos plazmahevítési eljárással elérhető, hogy az indukciós hőátadás miatt a betétanyagban kialakuló nagy hőmérséklet-különbségű (kb 400...600 °C) zónák viszonylag rövid idő alatt megszűnnek. A homogén, magasabb hőmérsékletű anyagnál az induktív energiabevitel is jobb hatásfokúvá válik. A kombinált hevítés további elő-

nye, hogy a betétanyagon létrejövő plazmatalp a kialakulás pillanatától olvasztja a betétanyagot, ami gyors „tócsaképződéshez” vezet. Így elhanyagolható a jó hatásfokú (de rosszabb kihozatalú) üzemeltetéshez szükséges megoldás, amely szerint általában nem hideg betétből indulnak az indukciós olvasztásnál, hanem az olvasztótégely hasznos térfogatának 1/2...2/3 részben olvadt fém (tócsát) hagynak vissza. Az előbbieken leírt elvi megfontolások alapján, a nemzetközi szakirodalom szerint plazma–indukciós hevítéssel 30% villamosenergia-megtakarítás és 20...30%-kal rövidebb olvasztási idő érhető el az ötvözött acélok gyártásában.

3. A berendezéssel szemben támasztott követelmények

A kombinált plazma–indukciós kemence kialakításánál a következő legfontosabb követelmények teljesítését tűztük ki célul:

- jó hatásfokú energiabevitel az indukciós és plazmarendszer egyidejű működtetésével;
- az üzembiztos működtetés és ellenőrzés megvalósítása (gyakori ívgyújtás – leállás, ívhosszváltoztatás lehetősége, a szerkezeti elemek hatásos hűtése és hőszigetelés biztosítása a tégelyen belül kialakuló termikus igénybevétel elhárítására stb.);
- környezetvédelmi és biztonságtechnikai követelmények kielégítése (alacsony zajszint, túlfeszültség, túláram, túlterhelés elleni védelem, hűtővíz és gázellátás védelmei stb.).

4. A plazma–indukciós berendezés ismertetése

Az Öntődei Vállalat KÖVAC gyárában egy 0,5 t folyékony acél előállítására alkalmas, $\varnothing 350 \times 800$ mm minimális tégelyméretű, 300 kW teljesítményű, középfrekvenciás, vasmag nélküli indukciós kemence állt rendelkezésre. Az indukciós tekercset egy 365 kW teljesítményű, 1470 1/min fordulatszámú motorgenerátor gépcsoport táplálta. Az automatikusan vagy vizuális megfigyelés alapján kézzel vezérelhető meddőteljesítmény-kompenzálást fokozatokban kapcsolható kondenzátortelep biztosítja.

A VKI által tervezett és elkészített plazmagenerátorból, nagy teljesítményű tápegységből és segédberendezésekből álló plazmatechnológiai rendszer az olvasztási technológiáknál szokásos külsőíves üzemmódban működött. A plazmagenerátort áramstabilizált tirisztoros tápegység látta el villamos energiával. A tápegység negatív pólusa egy simító-fojtó tekercsen keresztül a plazmagenerátor katódjához, pozitív kapcsa pedig a kemencetégelybe helyezett elektródhoz csatlakozott.

A munkagáz- (Ar- és N₂-)ellátás céljára kétkomponensű gázkeveréket szolgáltatató gáztápegységet építettünk be szabályozó- és ellenőrző műszerekkel, amely egyben a gázkimaradás-védelem feladatát is ellátta. A plazmagenerátor hűtővízellátását egy autonóm hűtővíztartályról vagy hálózatról táplált többfokozatú szivattyú biztosította, hőmérséklet- és nyomásszabályozó automatikával, ill. védelemmel kiegészítve. A helyes működési sorrendet és reteszelési feltételeket egy vezérlőegység hangolta össze. A plazmagenerátorral végzett olvasztási kísérletek idején a kemencetestet kaowool-szigetelésű lemezfedél zárta le. Az olvasztások idején a plazmagenerátort (a távműködtetés kezelőszerveit magába foglaló mozgatható vezérlőszekrényvel) a kemencék pódiumán kialakított, elfordítható kiviteli állványon rögzítettük, amely a plazmagenerátor emelését és süllyesztését is biztosította.

A telepített plazmatechnológiai berendezés fő műszaki paraméterei:

Íváram:	200...500 A.
Ívfeszültség:	100...360 V.
Ar + N ₂ mennyisége:	3...5 Nm ³ /h.
Hűtővíz:	1000 l/h.

A kezelő által változtatható plazmajellemzők: íváram, ívfeszültség, a munkagáz mennyisége.

5. Az olvasztási kísérletek ismertetése

A kombinált plazma – indukciós acélolvasztás technológiájára vonatkozóan nem volt sem irodalmi ismeretünk, sem személyes tapasztalatunk. A kísérleti olvasztások elején ezért a legfontosabb feladat a legkedvezőbb technológiai menetrend meghatározása volt. E szerint a betétanyag 60...70%-át tettük be első mennyiségként a kemencébe. Rövid idejű melegítés (plazma + induktor) után a betétanyag az olvadás miatt süllyedt, ezt a plazmagenerátorral követtük. Ezután a betét igazítása és ráakás következett kikapcsolt energiabetápláló rendszerek mellett; majd ismét olvasztási periódus következett. Egy-egy ilyen periódus 5...7 percig tartott.

A betétanyag minőségétől és a darabos betét méretétől függően a teljes olvasztási idő kb. 40%-áig végzett kombinált hevítés következtében a betétanyag 80...85%-a már benn volt a kemencében, és kb. 70...75%-a már olvadákfázisban volt. Ezt követően a már kevés anyag ráakása és tisztán indukciós hevítés után az anyag az első gyors elemző laborpróba levételéhez megfelelő állapotba került. Az első laborpróba eredménye szerint a szabványos acélösszetétel beállítása (karbonmennyiség, ötvözők) után rövid idejű túlhevítés, majd a második próba levétele következett.

A plazma – indukciós rendszer által átadott energia mennyiségének ellenőrzésével kapcsolatos méréseket a plazmaleállások, betétigazítások, ráakás, 1. próba, 2. próba időpontjában végeztük. Minden esetben arra törekedtünk, hogy a mért, felhasznált energiamentiség az üzemvitel teljességét tükrözze a betét berakásától a csapolásig eltelt időben. Az olvasztási kísérletsorozatban 55 plazma – indukciós és összehasonlításként 30 indukciós olvasztást végeztünk. Tizenegy különböző, szabványos összetételű anyagminőséget olvasztottunk, amelyek négy fő csoportba sorolhatók: szénacélok, ötvözött acélok, öntöttvas, mágneses anyag. A betétanyagok minősége, alakja és mérete igen különböző volt (kb. 10 különböző féle tápfej, ill. felöntés, kovácsolt tömb, lemez, cső, rudak stb.).

6. Üzemeltetési tapasztalatok

Az Öntödei Vállalat KÖVAC gyárában végrehajtott olvasztási kísérletsorozat tervezése és előkészítése során elsődleges követelménynek tekintettük, hogy a vizsgálatot szigorúan üzemi körülmények között hajtsuk végre. Ezzel vállaltuk, hogy a várható eredmények elmaradnak a számítással vagy laboratóriumi körülmények között végrehajtott kísérletek eredményeitől. Viszont garanciát nyújtanak abban a vonatkozásban, hogy a kapott eredmények hasonló vagy azonos feltételek mellett más üzemekben is reprodukálhatók.

A későbbiekben ismertetendő számszerűsíthető eredményeken túl a következő általános üzemeltetési tapasztalatokat rögzíthetjük:

- A plazma – indukciós olvasztás alkalmazása megnöveli az adott kemence termelékenységét. Mivel azonban az olvasztási művelet egy technológiai sor egyik

eleme, feltétlenül szükséges a megelőző és követő technológiai lépések (anyag-előkészítés, formatér, darukapacitás stb.) illesztése e nagyobb termelékenységhez.

- A betétanyag megfelelő darabolására és előkészítésére különös gondot kell fordítani. A tégely felső síkján túlnyúló rudak, nagy méretű lemez hulladék rossz hatásfokú energiaátadáshoz vagy a betét fennakadásához vezet.
- A plazma és indukciós berendezés optimális működési paramétereit nagy fokú automatizálással kell megoldani.
- A megnövekedett termelékenység miatt a dolgozók anyagi érdekeltségét biztosítani kell.

7. A kísérleti eredmények értékelése

A végrehajtott 55 plazma–indukciós olvasztás során a plazmaberendezés közel 30 h-t működött meghibásodás, ill. üzembizalom nélkül.

A plazma sugárzó hője által is igénybe vett kemence bélése nem károsodott jobban, mint a tisztán indukciós hevítésű kemence bélése. Az összehasonlító olvasztások adataiból minden esetben két fő jellemző adatot számítottunk. Az olvasztási idő átlagosan 12...15%-kal csökkent az indukciós hevítéshez képest. Ez a megtakarítás kb. 6–8 olvasztásonként jelent egy többlet csapolást egyműszakos üzemben. Ha figyelembe vesszük, hogy a plazmahevítés csak a betét megolvasztásáig, az összes olvasztási idő kb. 40%-áig tart, egy plazmaberendezéssel két, párhuzamosan működő azonos kemencét is el lehet látni. Egy ilyen rendszerű olvasztóberendezéssel (2 kemence+1 plazmaberendezés) 600 t többlet acéltermék állítható elő.

A fajlagos energiamegtakarítás átlagos értéke ötvözött acélnál nagyobb volt, mint szénacélok esetében, jóllehet több mérés során azonosan 18...20%-os megtakarítást értünk el mindkét anyagféleség esetében. Az olvasztási kísérletek kb. 46%-ánál 490...550 kWh/t, kb. 28%-ánál 550...600 kWh/t, kb. 15%-ánál 490 kWh/t-nál kisebb és kb. 10%-ánál 600 kWh/t-nál nagyobb fajlagos olvasztási energiafelhasználást mértünk.

Az eredményeket összevetve az elméletileg számítható értékekkel, valamint az irodalomban megtalálható szovjet mérési adatokkal megállapítható, hogy a technológia finomításával és üzemszervezési megoldásokkal a fajlagos energiafelhasználás tovább csökkenthető.

8. A továbbfejlesztés lehetőségei

Az üzemi kísérletek, valamint az ipari érdeklődés alapján a kísérleteket 1,5 t-s ipari frekvenciás indukciós kemencén célszerű folytatni. A plazmaberendezés kifejlesztéséhez szükséges szellemi kapacitás intézetünkben rendelkezésre áll. A kísérleteket az Ö. V. Soproni Vasöntődjében lehet végrehajtani.

9. Köszönetnyilvánítás

Befejezésül köszönetünket nyilvánítjuk a kísérletek sikeres végrehajtásában részt vevő Öntödei Vállalat, a Kőbányai Acélöntöde, a Kohászati Gyárépítő Vállalat vezetőinek, műszaki és fizikai dolgozóinak áldozatkész segítő munkájukért.

18.

Ipari hulladékok feldolgozási lehetőségei plazmatechnológiával

BÓDAY OTTÓ – DR. KRAJCSOVICS FERENC – PÓCSY FERENC

ÖSSZEFOGLALÁS

Megsemmisítendő és másodlagos nyersanyagforrásként kezelhető ipari hulladékok. Plazmatechnológiai lehetőségek az ipari hulladékok feldolgozásában. Keményfém-hulladékok feldolgozása, a kísérleti plazmaberendezés ismertetése, az elért eredmények értéklése. Eljárások és módszerek vegyipari hulladékok megsemmisítésére.

ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

О. Бодай—Др. Ф. Крайчович—Ф. Почы

Резюме

Промышленные отходы, принадлежащие уничтожению и применимые в качестве вторичных материальных ресурсов. Возможности плазменной технологии в переработке промышленных отходов. Переработка твердых металлических отходов, описание экспериментальной плазменной установки, оценка достигнутых результатов. Способы и методы уничтожения отходов химической промышленности.

VERARBEITUNGSMÖGLICHKEITEN DER INDUSTRIELLEN ABFÄLLE UNTER ANWENDUNG DER PLASMATECHNOLOGIE

O. BÓDAY – DR. F. KRAJCSOVICS – F. PÓCSY

Zusammenfassung

Zu vernichtende und als sekundäre Rohstoffquelle zu betrachtende industrielle Abfälle. Plazmatechnologische Möglichkeiten bei der Verarbeitung der industriellen Abfälle. Verarbeitung von Hartmetallabfällen, Bekanntmachung der Versuchsplasmaeinrichtung, Verwertung der erreichten Ergebnisse. Verfahren und Methoden zur Vernichtung von Abfällen der chemischen Industrie.

Summary

Industrial wastes to be obliterated that can be treated as secondary sources of raw materials. Potentials of plasma technology in the processing of industrial wastes. Processing of hard metal scraps, description of an experimental plasma equipment, evaluation of results obtained. Procedures and methods for obliterating wastes of chemical industry.

1. Bevezetés

A korszerű ipari berendezésekben, ill. technológiai folyamatokban mind gyakrabban alkalmaznak drága alapanyagokat kisebb-nagyobb mennyiségben. Ezen anyagok visszanyerése a technológiai folyamat végén vagy a berendezés élettartamának végén elsőrendű népgazdasági feladat. Ugyancsak számottevő érdek fűződik ahhoz, hogy az alapanyag-előállítás melléktermékeit, pl. az ércdúsítók „meddőjét” másodlagos nyersanyagforrásként kezeljük, azokból az értékes anyagokat kivonjuk.

Napjaink nem elhanyagolható feladata, hogy a vegyi és mérgező hulladékokat, amelyek a bioszférát mindjobban szennyezik, megbízható módon megsemmisítsük. Természetesen e tevékenység során is a hasznosítható anyagok és a kötött energia visszanyerésének lehetőségét ki kell használni.

A másodlagos nyersanyagforrásként figyelembe vehető hulladékok feldolgozási technológiájának megítélésénél elsősorban a gazdasági, gazdaságossági és kereskedelmi szempontokat kell vizsgálni. A vegyi és mérgező hulladékok esetében a tökéletes és biztonságos megsemmisítés a döntő, a gazdaságossági kérdések másodlagosak.

A hulladékok feldolgozására vagy megsemmisítésére számos fizikai, ill. kémiai elven felépülő eljárás ismeretes (pl. hidrometallurgia, oxidáció, redukció stb.). A nemzetközi szakirodalomban mind több olyan publikáció olvasható, amelyek az újabb és újabb technológiákra vonatkozó kutatási és üzemeltetési eredményeket ismertetik.

2. Plazmatechnológiai lehetőségek

Az ipari hulladékok feldolgozásának egy új, nagyon ígéretes lehetősége a plazmatechnológia alkalmazása. A feldolgozási technológiák során az alacsony hőmérsékletű plazmának azt a tulajdonságát használjuk ki, hogy segítségével egy meghatározott térrészben nagy energiasűrűség hozható létre.

A plazmatechnológiai hulladékfeldolgozás *előnyei* a teljesség igénye nélkül a következők:

- Közel 100%-os átalakítási hatásfok érhető el;
- Bármilyen magas olvadáspontú, ill. bármilyen nehezen „éghető” anyag átalakítható, ill. megsemmisíthető vele.
- Szénhidrogén alapú tüzelőanyagok helyett kis fűtőértékű szénből előállított villamos energiát használ fel a reakciótér hevítésére;
- Kis helyigény, ami ipari berendezések létrehozása esetén az épület és szakipari munkák költségeit (beruházás) csökkenti;

- Kis tömege miatt könnyen leállítható és újraindítható;
- Semmiféle különleges segédanyagot (pl. katalizátor) nem igényel;
- Energia-visszanyerésre van lehetőség.

Hátrányként kell megemlíteni:

- A technológiához szükséges nagy hőmérsékletű reakciótér különleges szerkezeti anyagok alkalmazását igényli;
- A plazmaberendezések viszonylag drágák.

A 4. Főosztályon néhány éve foglalkozunk az ipari hulladékok plazmatechnológiai feldolgozási lehetőségeinek kutatásával. A következőkben két kiragadott példán részletesebben ismertetjük elért eredményeinket.

3. Keményfémhulladékok feldolgozása

A keményfémhulladékok plazmatechnikával történő hasznosításának előkísérleteit a Vasipari Kutató Intézet munkatársaival együttműködve a KGM megbízásából, a kísérleti berendezés és technológia kidolgozását az A/13 „Anyagtudományi és anyagtechnológiai kutatások” c. OKKFT program 2. sz. alprogramjának keretében végeztük. A kutatási–fejlesztési munka során az igényes műszaki és gazdasági követelmények megtartása mellett igyekeztünk olyan berendezést és eljárást megvalósítani, amely a plazmatechnika újszerű lehetőségeivel rendelkező, minimális élőmunkát igénylő korszerű technológiai megoldást biztosít.

Az eljárás lényege az, hogy a keményfémhulladékokat rövid ideig igen nagy hőmérsékletű behatásnak tesszük ki, aminek következtében a keményfémleplakák könnyen poríthatóvá válnak.

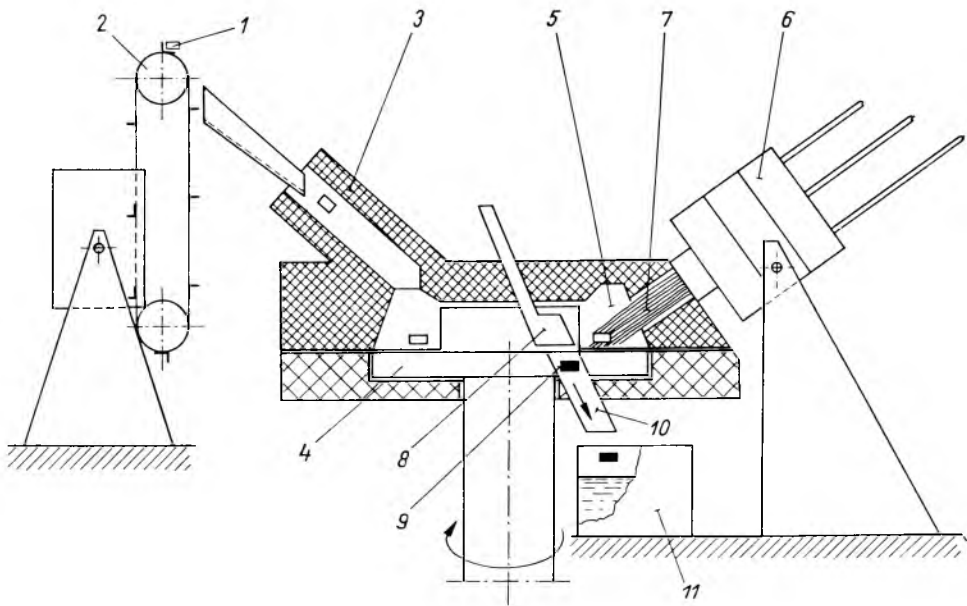
A keményfémhulladékok legismertebb visszanyerési eljárásaihoz viszonyítva – mint pl. a „coldstream” eljárás vagy a cinkes desztillációs módszer – a plazmatechnikai megoldás egyszerűbb berendezéseket igényel, gyorsabb és jelentősen gazdaságosabb feldolgozást biztosít.

Mint ismeretes, a keményfém szövetszerkezeti felépítése olyan, hogy a W, Ti, Ta, Nb stb. karbidokat Co kötőanyagfázis veszi körül. Ez a szövetszerkezet rendkívül kemény, kopásálló szerszámok előállítását teszi lehetővé, amelyek közönséges hőmérsékleten nehezen törhetőek és gyakorlatilag nem poríthatók.

A keményfémhulladékok újrafelhasználásához megfelelő plazmaberendezés, célszerűen kialakított reaktor és pontosan megválasztott paraméterekkel rendelkező technológia szükséges.

A kísérleti munka első lépéseként több elvi lehetőséget megvizsgálva eldöntöttük, hogy a technológiát folyamatos üzemben, forgó körasztalos megoldással valósítjuk meg. A kutatási munka és az előkísérletek programtervezésében – a plazmatechnológiai megoldások hagyományaitól eltérően – meghatározó szerepe volt annak, hogy plazmahőmérsékletű térben egyes szerkezeti elemek folyamatos mozgását kellett biztosítani. Ez az igény számos eddig ismert megoldás alkalmazását nem tette lehetővé és korlátozta a számba jöhető szerkezeti anyagok számát. Ugyanakkor a reaktoralkatrészek, szerkezeti elemek védelmét úgy kellett megoldani, hogy élettartamuk (csereidejük) megfelelően a gazdaságosság szempontjainak. Ennek a megoldásnak az előnye elsősorban az, hogy lehetővé teszi a különféle alakú, méretű és súlyú keményfémhulladékok plazmakezelését, igen kevés élőmunkát igényel, és korszerű, vezérlőasztalról irányítható technológiai megoldást kínál.

A plazmakezelés egyszerűsített folyamata a 18-1. ábrán látható. Az 1 keményfémhulladékokat egy erre a célra tervezett 2 adagolószerkezet ejti be a 3 adagolósőbe, amely egy teljesen zárt rendszerben változtatható sebességgel mozgó 4 körasztal



18-1. ábra. A plazmareaktor működési elve

1 keményfém-hulladék; 2 adagolószerszemet; 3 adagolócső; 4 asztal; 5 hőkezelő tér; 6 plazmagenerátor; 7 plazmaláng; 8 leszedőegység; 9 izzó lapkák; 10 leszedőakna; 11 szedőedény

fölkött csatlakozik a kör alakú 5 adagoló-, ill. hőkezelő térhez. A lapkák folyamatos előrehaladással érkeznek a 6 plazmagenerátor nagy hőmérsékletű 7 lángja alá, majd a körálgutat egy ferdén elhelyezett 8 leszedőegység segítségével hagyják el. A 9 izzó lapkák a leszedőegység terelőhatásának következtében lecsúsznak a körasztalról, és a 10 aknán keresztül hullanak a hideg vízzel feltöltött 11 szedőedénybe. A reaktor nagy hőmérsékletű tereit kialakító szerkezeti elemeket grafitból készítették el.

A reaktor tervezését megelőző előkísérletek során számos kérdésre kellett megtalálnunk a megoldást:

- Biztosítani kellett a forgó grafit hőszigetelését, a gázzárást a szerkezeti elemek oxidációjának elkerülése érdekében, valamint a forgómozgás egyenletességét és folyamatosságát az üzemelés hőmérsékletén.
- A tartó- és forgószerkezet hővédelmét, hogy a magas hőmérséklet okozta deformálódás elkerülhető legyen.
- A hőkezelőcsatorna kialakításakor figyelembe kellett venni az adagolási, elviteli szempontokat, valamint a plazmahő hasznosítását.
- Az adagolócsatorna kialakításával biztosítani kellett, hogy a hulladékklapka a körasztal megfelelő részére hulljon, amelyet a plazmaláng tengelye határoz meg.
- A plazmagenerátor csatlakozási helyén biztosítani kellett a generátor meghatározott pozícióját, a generátor fűvókarendszerének hővédelmét és a jó gázzárást.
- A hőkezelt lapkák eltávolításának módját úgy kellett megválasztani, hogy a leszedőszerszemet folyamatosan tudja továbbítani az aknához az anyagot, és torlódás, összetapadás, ill. a lapkák „túlkezelése” elkerülhető legyen.
- Meg kellett oldani a leszedőszerszemet hővédelmét, ill. mérsékelni kellett a nagy hőmérsékletű zónákban elhelyezett, grafit csatlakozóelemek elhasználódását.

- Figyelembe kellett venni a tervezés során azt is, hogy a gyorsabban elhasználódó elemek elkészítését és cseréjét egyszerűen lehessen megoldani.
- Biztosítani kellett végül – kémlelőnyílások elhelyezésével – az üzemelés alatti vizuális megfigyelés lehetőségét is.

A technológia folyamatosságának biztosításához szükséges elsőrendű feltétel a szerkezeti elemek hővédelme. Ezeket az elemeket négyféle módon védhetjük meg az oxidációtól, ill. a deformálódástól:

- hőszigetelő anyagok alkalmazásával;
- vízhűtéssel;
- plazmaszórt bevonatokkal és
- nitrogéngáz-túnyomással.

A rendszer egyik legkényesebb pontja a forgó grafitasztalnak a forgótengelyhez való csatlakozása. Itt a grafitasztal és a forgótengely közötti átmenetet biztosító grafittömböt igen nagy hőhatás éri. Ezt a forgó és levegővel érintkező felületet plazmaszórással olyan réteggel vontuk be, amely a grafit oxidációját megakadályozza. A reaktorkonstrukció végső megoldásánál a forgótengely– grafitasztal csatlakozási helyén hűtött csapágymegoldást alkalmazunk. A grafitelemek oxidációjának megakadályozása érdekében a berendezés üzemeltetése után állandó N_2 -áramlást biztosítunk, amíg a hőmérséklet az oxidációs érték alá nem kerül. Az üzemelés során az inert atmoszféra túnyomását a generátor nitrogén munkagáza biztosítja.

Az adagolónyílás a körcsatornában közvetlenül a plazmaláng csatlakozási pontja előtt helyezkedik el. A grafitasztal forgása és a plazmagáz áramlása egyirányú. Az adagolónyílás kiképzése olyan, hogy a beejtési ponton az anyag csak a forgómozgással azonos irányban pattanhat el. Az adagolónyílás másik oldala zárt.

A hőkezelt hulladékklapkák folyamatos kivezetését úgy oldjuk meg, hogy az érkező hulladékklapkának az asztalon való elhelyezkedését irányítjuk, a terelőrudnál pedig biztosítjuk a növekvő áthaladási keresztmetszetet az akna kezdeti pontjáig.

A további célszerűsítési szempontok közül elsősorban a plazmaláng irányának, ill. távolságának meghatározását emeljük ki. A jelenlegi megoldás szerint a plazmaláng kb. 30° -os szögben érkezik a forgóasztal fölé, és a középponti iránytól is kb. 30° -kal tér el. Így a plazmaláng hatása a forgóasztal lapjára „leterített” minden hulladék lapkát közvetlenül ér.

Az intenzívebb plazmakezelés az adagolás sebességének fokozását, ill. a termelékenység növelését jelenti. A kísérletek során azonban optimumot kell megállapítani a plazmaláng közelségéből adódó fokozott hőkorrozio következménye, valamint a termelés fokozásának megvalósítása között.

A jelenleg üzemelő kísérleti berendezésünk tapasztalatai alapján megépítésre, ill. telepítésre kerülő üzemi berendezést 50 kW villamos teljesítményű, nitrogén munkagázzal működő plazmagenerátorral üzemeltetjük. A hulladékklapkák adagolását és a hőkezelt termékek elszállítását gépi úton valósítjuk meg. A technológiát vezérlő-asztalon elhelyezett szerelvényekkel irányítjuk. A hőkezelt lapkák porítás után alapanyagokként kerülnek felhasználásra különböző alkalmazási területen. A keményfémhulladékok újrahasznosításának gazdaságos megoldása – a jelentős importmegtakarítást is figyelembe véve – lehetővé teszi, hogy néhány alkalmazási területen helyettesítsük a hagyományosan használt anyagokat. Az alkalmazási területek közül megemlíthető a felrakóhegesztés, plazmaszórással, ferro-wolframgyártás és a keményfém-szerszámok alapanyagaként történő felhasználás.

A felrakóhegesztési vizsgálatok szerint a plazmatermikus kezelés után 20...100 μm -re őrölt keményfémhulladék-por jól helyettesítheti a felrakóhegesztésnél használt porbeles elektródákban a FeW-por. A FeW-por keményfémhulladék-porral való helyettesítése 10...15%-kal növeli a felrakott réteg keménységét és ezáltal kopás-

állóságát, ill. élettartamát is. A helyettesítés több, mint 30%-os önköltségcsökkenést eredményez.

A hőkezelt keményfémhulladék-porok alkalmasak plazmaszórásra is. A frakcionálással nyert WC-Co porból készített bevonatok kopásszilárdsága egyenértékű a METCO porból készült bevonatokéval.

A keményfémhulladék ferrovolframmá való átalakítására kis laboratóriumi plazmareaktorban kísérleteket végeztünk. A kis minták elemzése alapján megállapítható volt, hogy a termék gyorsacélok gyártásához kiválóan alkalmazható. Az előkísérletek során szerzett tapasztalatok egyértelműen utaltak arra, hogy ha a betétanyagként elhelyezett alapanyagokban a keményfémhulladékot por formában alkalmazzuk, a termék rövidebb idő alatt – kevesebb energiárfordítással – készül el és megbízhatóbb a homogenitása.

A plazmakezelt hulladékporoknak újból keményfémszerszámmá történő feldolgozásához még további vizsgálatok és kísérleti próbaüzemeltetések szükségesek. Megfelelő, bizonyító erejű adatok esetén ezen a területen is lehetőség lesz a keményfémhulladékból nyert porok értékesítésére.

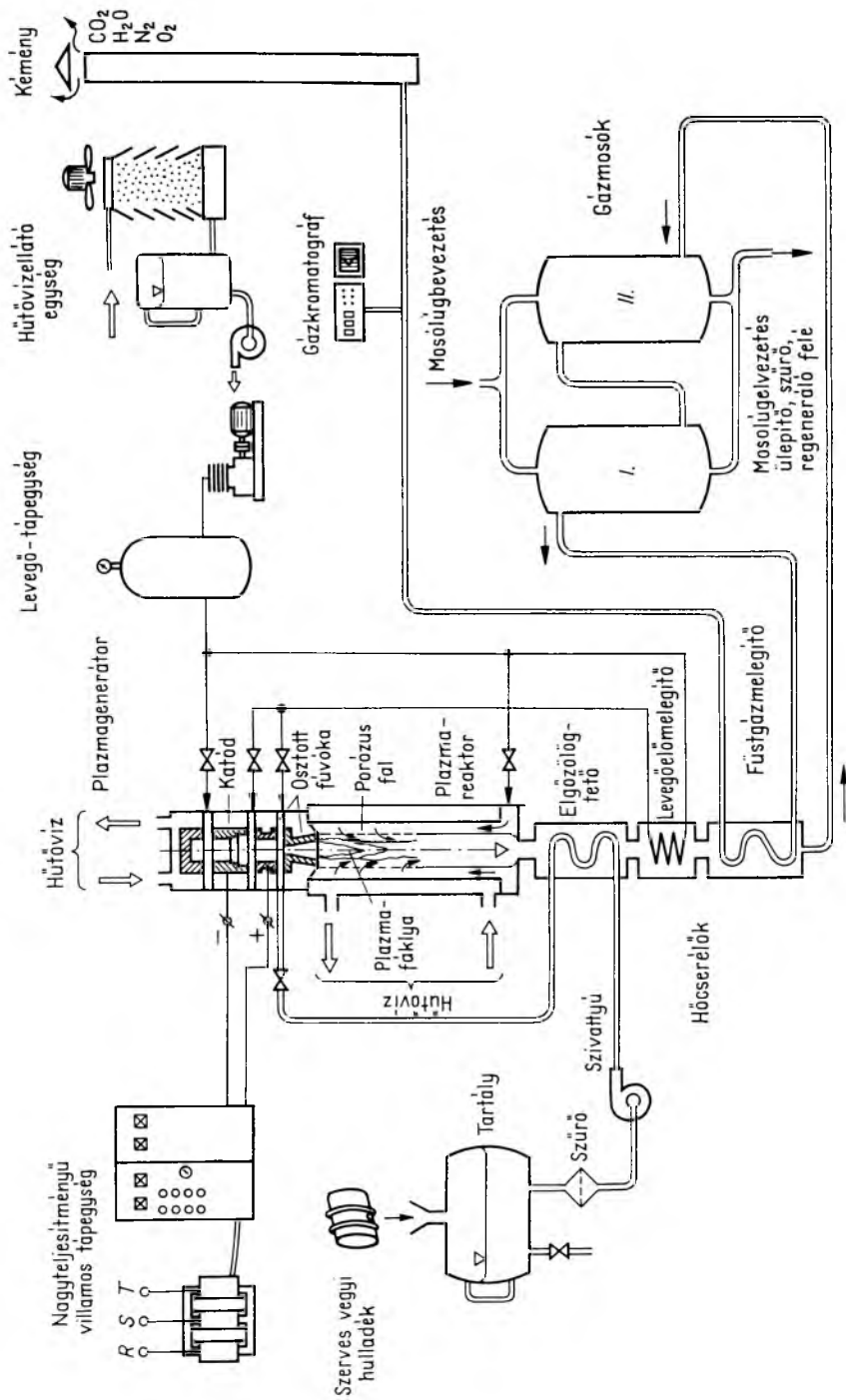
4. Vegyipari hulladékok megsemmisítésének eszközei és technológiája

A plazmatechnikára alapozott hulladék-megsemmisítő berendezés „lelke” az az egység, amelyben létrejön a hulladékok termikus bontása és oxidációja. Erre a plazmagenerátor és a hozzá kapcsolt plazmareaktor szolgál. A teljes berendezés természetesen még számos részegységet tartalmaz, amelyek a következő feladatokat látják el:

- A hulladékanyagok és az oxidálóközeg előkészítése és bevezetése a plazmagenerátorba, ill. a reaktorba (tárolás, szűrés, szivattyúzás, előmelegítés stb.).
- A plazmagenerátorból távozó termékek kezelése a légkörbe való kibocsátás, kémiai megkötés vagy további felhasználás céljából (hőcserélő, gázmosó, előmelegítő stb.).
- A plazmagenerátor és a reaktor üzemeltetésének és vezérlésének ellátása (vilamos, hűtővíz- és gázellátó-egységek, automatikák).

A 18-2. ábrán egy olyan berendezés tömbvázlatát mutatjuk be, amely elgőzölögtethető folyékony szerves vegyi hulladékok (pl. klórozott aromás vegyületek) megsemmisítésére szolgál. A hulladékanyag sorsa követhető a tartályból a kéményig, ill. a gázmosó elfolyócsonkjáig. A koaxiális, rézelektrodos, villamos ívű plazmagenerátor levegő munkagázzal működik. Az elgőzölögtetett szerves anyagokat a generátor osztott fúvókáján vezetjük be. A fúvókából plazma állapotban lép ki a reakcióelegy, amely a levegőből és a vegyi hulladékból képződik. Az oxidáció a speciális hőlökésálló kerámiából kialakított plazmareaktorban játszódik le, amelynek fala a legnagyobb termikus igénybevételnek kitett részen gázáteresztő. Ezen a szakaszon pótlevegő juttatható be a reaktorba, amely a védelmi funkció mellett az oxigénfelesleg biztosításához is hozzájárul.

A rendszer a fajlagos energiafelhasználás csökkentése érdekében hőcserélőket is tartalmaz. A környezetre ártalmatlan véggázok füstgáz-előmelegítőt át jutnak a kéménybe. A környezet biztonsága érdekében célszerű folyamatosan regisztrálni (pl. gázkromatográffal) az eltávozó semleges és káros végtermékek koncentrációját. A mért értékek – esetleg mikroszámítógép alkalmazásával – felhasználhatók az optimális működési paraméterek beállításához.



18-2. ábra. Vegyhulladék-megsemmisítő berendezés vázlata

A szóban forgó eljárás alkalmazására elsősorban gázdinamikai (örvénystabilitás) vagy gázdinamikai és mágneses ívstabilizációval működő koaxiális plazmagenerátorok (plazmotronok) jöhetnek számításba egyenáramú táplálással.

Fejlesztési tapasztalataink szerint e plazmagenerátorok általánosan alkalmazott rézelektrodjai nemcsak inert vagy nemesgáz atmoszférában, hanem szénhidrogénekben, vízgőzben is kielégítő élettartamúak (max 100 h). A tipikus plazmahőmérséklet: 2000...5000 °C (átlagérték). A hulladékmegsemmisítő berendezések számára a feldolgozandó anyagmennyiségtől függően 200 kW...1 MW teljesítményű egységek kifejlesztése látszik célszerűnek.

A plazmagenerátor és reaktor szerkezetét alapvetően befolyásolja, hogy a hulladék milyen formában kerül a rendszerbe. Elvileg a következő alternatívák lehetségesek:

- a hulladékanyagot a plazmagenerátorból kilépő plazmasugárba vezetjük;
- a hulladékanyag a plazmagenerátor osztott fűvókájában keveredik a plazmasugárba;
- maga a hulladékanyag (esetleg levegővel vagy oxigénnel keverve) a plazmaképző közeg (a keverék az elektródok között lép be a generátorba).

Energetikai szempontból a harmadik üzemmód látszik legelőnyösebbnek (a villamos kisülés a reakciókeverékben jön létre), azonban ez támasztja a legnagyobb követelményeket az elektródok anyagával szemben.

19.

Ni-tartalmú Ag érintkezőanyagok előállítása robbantásos portömörítéssel

SZALAY ANDRÁS—PUSKÁS JÓZSEF

ÖSSZEFOGLALÁS

A VKI-ban kidolgozott robbantásos portömörítési technológia többkomponenses érintkezőanyagok előállítására alkalmas.

A kívánt villamos és mechanikai paramétereket különféle anyagú fém- és nemfém porok megfelelő arányú keverésével biztosítják. Ezen porkeverék 90...99%-os sűrűségűre történő tömörítésével, majd a tömör előgyártmány képlékeny alakításával állítják elő a kívánt méretű, huzal formájú érintkezőanyagot. A tömörítést „izodinamikus” robbantásos technológiával, a kész méretre alakítást melegsajtóval és húzással oldják meg.

A cikk az AgNi 10 érintkezőanyag készítése kapcsán ismerteti az eljárást, valamint tárgyalja annak további alkalmazási lehetőségeit.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СЕРЕБРЯНЫХ КОНТАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ НИКЕЛ МЕТОДОМ ВЗРЫВНОГО УПЛОТНЕНИЯ ПОРОШКА

A. Салаи—И. Пушкаш

Резюме

Технология взрывного уплотнения порошка, разработанная в VKI, применима для изготовления многокомпонентных контактных материалов.

Необходимые электрические и механические параметры обеспечиваются перемешиванием металлических и неметаллических порошков соответственного отношения. Уплотнением этой порошковой смеси до плотности 90...99% и пластическим оформлением этого плотного исходного продукта изготавливаются контактные материалы проволоочной формы в необходимых размерах. Уплотнение выполняется „изодинамической” взрывной технологией, а оформление в окончательных размерах решено горячей прессовкой и растяжением.

В статье излагается способ в примере изготовления контактного материала AgNi 10, а также указываются возможности его дальнейшего применения.

HERSTELLUNG VON NI-HALTIGEN AG-KONTAKTWERKSTOFFEN MIT HILFE VON PULVERSINTERN DURCH EXPLOSIONSVRFahren

A. SZALAY—J. PUSKÁS

Zusammenfassung

Die im VKI ausgearbeitete Sprengsinter-Technologie ist zur Herstellung von Mehrkomponenten-Kontaktwerkstoffen geeignet.

Die gewünschten elektrischen und mechanischen Parameter werden durch Mischen

von Metall- und Nichtmetallpulvern in geeignetem Verhältnis gewährleistet. Der gewünschte drahtförmige Kontaktwerkstoff mit den geforderten Abmessungen wird durch Sintern dieser Pulvermischung auf eine Dichte von 90–99%, und eine nachfolgende plastische Formung des kompakteren Vorproduktes erzeugt. Das Sintern wird durch eine „isodynamische“ Sprengtechnologie, die Formung auf das Fertigmass durch Warmpressen und Ziehen realisiert.

In dem Artikel wird dieses Verfahren in Verbindung mit der Herstellung des AgNi-10-Kontaktwerkstoffes erörtert. Auch weitere Anwendungsmöglichkeiten werden diskutiert.

SINTERIZING COMPRESSION BY EXPLOSION OF NI-CONTAINING AG CONTACT MATERIALS

BY A. SZALAY – J. PUSKÁS

Summary

The technology of sinterizing by developed at VKI, can be adopted for the production of multi-component contact materials.

The desired electric and mechanical parameters are ensured through blending with adequate ratios of various metal and non-metal powders. The powder blend is compressed to a density of 90 to 99 per cent, and the wire-form contact material of the desired size is produced by plastic moulding of the compressed pre-product. The compression is effected by “iso-dynamic” explosion technology; shaping to the finished size is accomplished by hot pressing and drawing.

The paper describes the procedure in connection with preparing the contact material of AgNi, and discusses its further potential applications.

1. Bevezetés

„Az elektrotechnika további fejlődése összefügg mind a már meglévő porkohászati anyagok gyártásának növelésével, mind pedig új anyagok megjelenésével.”

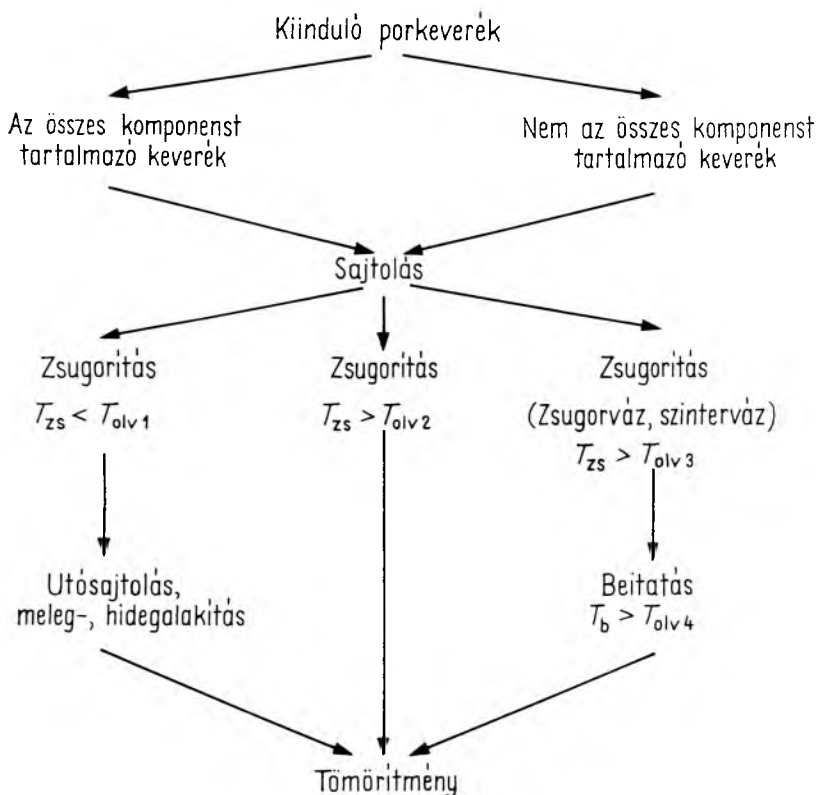
(M. J. Balsin, 1947.)

A csaknem négy évtizedes előrejelzés megalapozottságát az idő igazolta. A porkohászati úton gyártott érintkezőanyagok ma az erősáramú elektrotechnika legfontosabb érintkezőanyagai. Fejlesztésük terén általános irányzat, hogy az elérni kívánt műszaki-gazdasági paramétereket két- vagy többalkotós anyagok létrehozásával biztosítják. Ezen anyagok (Ag – C, Ag – W, Ag – CdO, Ag – Cd – ZnO stb.) előállítása porkohászati úton történik. A hagyományos kohászati eljárások ez esetben nem alkalmazhatók, részben azért, mert túl nagy a komponensek olvadáspontjainak különbsége, részben azért, mert a folyékony állapotú komponensek egyáltalán nem vagy csak korlátozott mértékben oldódnak egymásban.

Kitűzött célunk 90% Ag- és 10% Ni-tartalmú érintkezőanyag előállítása volt. Miután ezen komponensek is korlátozottan oldódnak egymásban – ötvözzéssel legfeljebb 0,1% Ni-tartalmú AgNi anyag készíthető – természetes, hogy a megoldást mi is porkohászati úton kerestük.

A porkohászat alapfeladata: a por alakú anyagrészecskék közötti érintkezés megnövelése. Ez két úton érhető el: a részecskék külső erők által történő deformálásával (sajtolás), vagy az atomok érintkezőfelületén való összezsugorításával, ami nagy hőmérsékleten az atomok megnövelt mozgékonyasága révén megy végbe (zsugorítás vagy szinterelés). Az ismert porkohászati technológiák a fenti két eljárás különféle kombinációi, amelyeket a 19-1. ábra szerint foglalhatunk össze.

A hagyományos porkohászati technológiák berendezés- és energiaigényes eljárások. A porok sajtolását (0,5...8) · 10⁸ Pa fajlagos nyomással, 50...10 000 t-s pré-



19-1. ábra. A porkohászati eljárások összefoglalása

T_{zs} a zsugorítás hőmérséklete; T_{olv1} a komponensek olvadáspontja;

T_{olv2} az adalékkomponens olvadáspontja;

T_{olv3} a zsugorváz-készítés adalékanyagának olvadáspontja;

T_b a beitatás hőmérséklete;

T_{olv4} a beitatandó komponens olvadáspontja

seken végzik, a hőkezelési műveletekhez nagy kapacitású, 500...2 000 °C hőmérséklet-tartományban működő védőgázos kemencéket alkalmaznak. E technológiák fajlagos villamosenergia-igénye kb. 2 000 kWh/t [1], [2]. Az adatok ismeretében egyértelmű, hogy egy ilyen eljárás bevezetése csak nagytömegű gyártás esetén gazdaságos.

Az AgNi összetételű érintkezőanyagok iránti hazai igény viszont csak néhány 1 000 kg/év [10]. E mennyiség akkor sem nő számottevően, ha hozzászámítjuk a többi AgNi-től eltérő összetételű porkohászati fémkompozíció (AgCdO, AgC stb.).

Annak a technológiának, amelyet az AgNi összetételű érintkezőanyagok gyártására tervezünk, a következő jellemzőkkel kell tehát rendelkeznie:

- az adott 500...5 000 kg/év mennyiséghez legalább olyan gazdaságos legyen, mint a nagyüzemi eljárások;
- gyakori és gyors átállásra legyen alkalmas;
- viszonylag kis beruházással legyen megvalósítható.

E jellemzők egyébként pontosan a „közbülső technológiáknak” nevezett – és az autógyártást kivéve világszerte tért hódító – eljárások ismérvei [9].

2. A robbantásos portömörítés elve

2.1. A portömörítés elve

Impulzusszerű vagy statikus nyomás alkalmazásával a legkülönbözőbb anyagú porok, ill. porkeverékek az adott anyag névleges sűrűségének 95...100%-ára tömöríthetők. A por, ill. porkeverék tömörödése három fokozatban megy végbe (19-2. ábra).

2.1.1. Átmeneti rendeződés

Ebben a fokozatban a porszemcsék egymáson áramlanak. A tömörödés mértéke a szemcsék közötti súrlódás feltételeitől (felületi szennyeződések, oxidok, elnyelt gázok stb.), a szemcseméretnek eloszlásától és a szemcsék alakjától függ.

2.1.2. Képlékeny alakítás

Amikor a tömörítő nyomás eléri azt az értéket, amelynél a porszemcsék áramlása megszűnik és helyükön rögzítetté válnak, a további nyomás hatására szemcsék képlékenyen alakulnak és kitöltik a tömörítvény hézagjait. Ebben a fokozatban jön létre a szemcsék közötti kötés, amelynek eredményeképpen a por összefüggő testté alakul.

A kötés a következő alapvető mechanizmusok következtében jön létre:

- hideghegedés (a felületi szennyeződések széttörnek);
- mechanikus reteszeldés (a porszemcsék felületei egymásba illeszkednek);
- tapadó kötés (amikor erősen viszkózus mátrix foglalja be a ridegebb szemcséket, pl. Ag – W esetében).

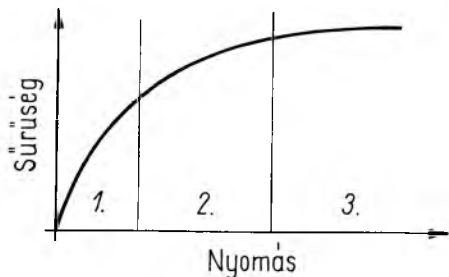
2.1.3. Hidegalakítás

Ebben a szakaszban fokozódik a szemcsék alakváltozása, az alakváltozásból eredő keményedése, sőt egyes szemcsék szét is töredeznek. A relatív elmozdulás kicsi, a deformálódás és roncsolódás ellenben nagy mértékű.

A tömörítő eljárásokat az alakítás sebessége alapján osztályozva statikus és dinamikus eljárásokat különböztetünk meg. A robbantásos portömörítés a dinamikus tömörítések közé tartozik.

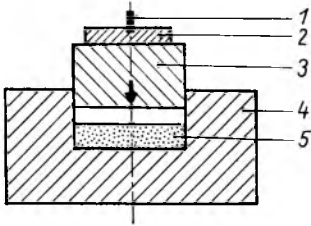
2.2. Dinamikus tömörítő eljárások

Ezen eljárások a porokat, ill. porkeverékeket nagy energiatartalmú nyomásimpulzussal tömörítik. Ezen nyomásimpulzust robbanóanyag alkalmazásával állítják elő. A dinamikus eljárásokat – a tömörítő nyomás hatásának iránya szerint osztályozva – két fő csoportba soroljuk.

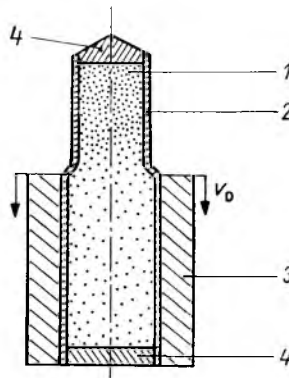


19-2. ábra. A portömörítés fokozatai

1 átmeneti rendeződés; 2 képlékeny alakítás; 3 hidegalakítás



19-3. ábra. Az egyirányú dinamikus tömörítés elve
 1 villamos gyutacs; 2 robbanóanyag;
 3 bélyeg; 4 súllyeszték;
 5 tömörítendő por



19-4. ábra. Az izodinamikus tömörítés elve
 1 tömörítendő por; 2 portartály;
 3 robbanóanyag;
 4 a portartály lezárása

2.2.1. Egyirányú dinamikus tömörítések

Az eljárás elvét a 19-3. ábra szemlélteti. A tömörítendő port súllyesztékbe helyezük és bélyeggel megnyomjuk. A bélyeget mozgató nyomásimpulzust robbanóanyaggal hozzuk létre. A robbanóanyag detonációjakor létrejövő nyomáshullám közvetve vagy közvetlenül hat a bélyegre.

2.2.2. Izodinamikus tömörítések

Az eljárás elvét a 19-4. ábra szemlélteti: a nyomásimpulzus a hengeres tartályban elhelyezett por teljes külső felületére hat. A tartályt robbanóanyaggal vesszük körül, és ennek iniciálásával $10^8 \dots 10^{11}$ Pa csúcsnyomású nyomáshullámot hozunk létre. Ez a nyomáshullám v_D detonációs sebességgel haladó „húzógyűrűként” mozog a henger tengelyével párhuzamosan. Ez a húzógyűrű a hengeres tartály anyagát képlékenyen alakítva azt beszűkíti, ezáltal a benne levő port tömöríti. A v_D detonációs sebesség értéke robbanóanyagtól függően: 2000...7000 m/s.

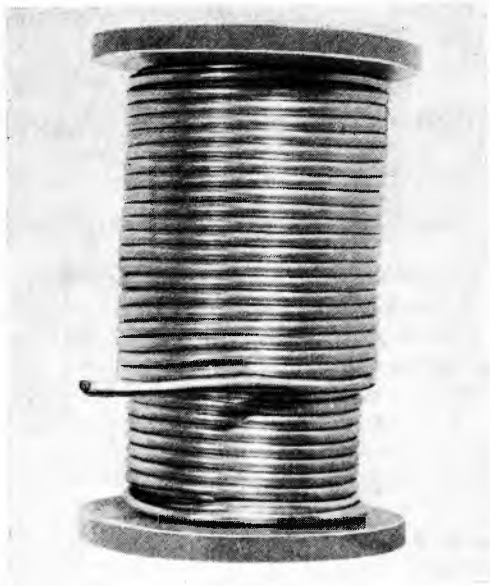
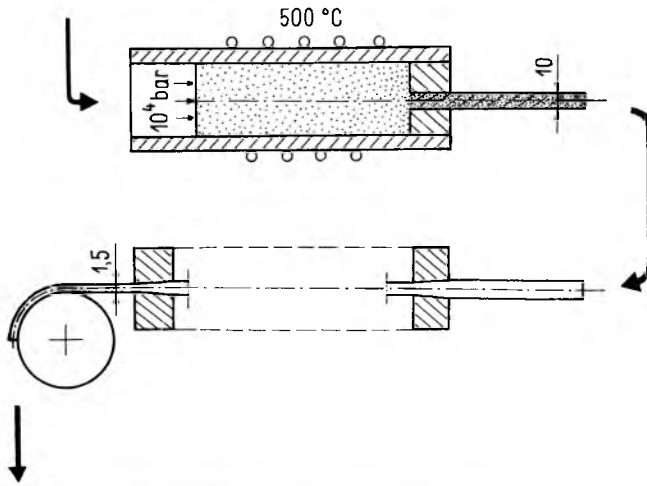
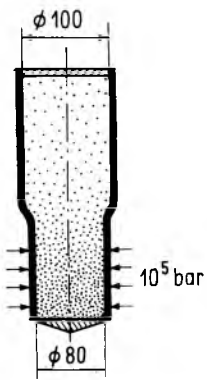
3. Ag—Ni 10 érintkezőanyag előállítása robbantásos portömörítéssel

A porkeverékek robbantásos tömörítésére alapozott technológiát AgNi összetételű érintkezőanyagok előállítására dolgoztuk ki.

Az erősáramú ipar számos területén alkalmazzák a 10...40% közötti Ni-tartalmú Ag alapú érintkezőanyagokat. Ezen anyagok előnye a színezüst érintkezőkkel szemben a nagyobb keménység, a kopás- és ívállóság, a csökkent hegedési hajlam és a csekély anyagvándorlás. Miután ötvözéssel legfeljebb 0,1% Ni-tartalmú AgNi kompozíció gyártható, a nagyobb Ni-tartalmú anyagokat porkeverékek feldolgozásával állítják elő. Az általunk kidolgozott technológia a következő fő lépésekből áll:

3.1. A porkeverékek előkészítése

A keveréket alkotó porok megválasztásakor fontos szempont, hogy a szemcseméret minél kisebb legyen (az egyenletesen diszpergált szerkezet kialakítása érdekében),



19.5. ábra. A porkeverék huzallá alakításának megoldása

továbbá, hogy a szemcsék lehetőség szerint ne gömb alakúak, hanem amorf formájúak legyenek (ez előnyös ugyanis a szemcsék egymásba reteszlődésénél).

Az alkalmazott alapanyagok: Ag 9999 por < 10 μ és Ni-por < 20 μ .

A 90% Ag- és 10% Ni-por homogén keverékéből „öntartó” szerkezetű – 35...40% tömörségű – préstesteket készítettünk hidraulikus présre szerelt szerszámban. A préstesteket cső alakú fémtartályba helyezük, hidrogénnel redukáljuk, 10 Pa nyomásra vákuumozzuk, majd a fémtartályt vákuumtömören lezárjuk. Az ily módon előkészített porkeverék készen áll a robbantásos tömörítésre.

3.2. Robbantásos tömörítés

A tartályt egyenletes vastagságú robbanóanyag-réteggel vesszük körül. A robbanóanyag mennyiségét a tömörítéshez szükséges energia szabja meg. A robbanóanyagok fajlagos energiataralma pontosan meghatározott érték (az általunk használt Paxité 4,1 kJ/g), így a felszabadítani kívánt energia nagyságát tömegméréssel állítjuk be.

A technológiai tervezéshez a jól kezelhető Q fajlagos tömeg fogalmát vezettük be, amelyet a következőképpen definiálunk:

$$Q = \frac{\text{az alkalmazott robbanóanyag tömege}}{\text{a tömörítendő porkeverékek tömege} + \text{a por tartály tömege}}$$

AgNi porkeverékek tömörítésénél $Q = 0,5..0,7$. A robbanást villamos gyutacs-csal iniciáljuk. A detonáció nyomáshulláma a tartályt sugárirányban összenyomja, ezáltal a bezárt Ag–Ni porkeveréket a névleges sűrűség 94...96%-ára tömöríti. Az egy művelettel tömörítendő porkeverék mennyisége célszerűen 10...50 kg.

3.3. Készrealakítás

A tartály anyagának eltávolítása után – amelyet forgácsolással vagy vegyi maratással végzünk – homogén szerkezetű AgNi rudat nyerünk. E rúd további megmunkálása az előállítani kívánt érintkezőanyag formájától függően történhet forgácsolással, sajtolással vagy hengerléssel.

Célunk \varnothing 1,5 mm-es huzal formájú anyag előállítása volt, ezért a robbantással készített tömörítmény 80 mm-es átmérőjét hidraulikus présen végzett meleg rúd-sajtolással 10 mm-re csökkentettük, majd ezt követően hagyományos huzalredukáló soron állítottuk elő a kívánt végső méretet.

A porkeverék huzallá alakításának előbb ismertetett folyamatát a 19-5. ábrán foglaltuk össze.

5. Összefoglalás

A robbantásos portömörítéssel és az azt követő megmunkálással készített AgNi 10 érintkezőhuzalok főbb fizikai paramétereit a 19-1. táblázatban adtuk meg, összehasonlítva a DODUCO és a DEGUSSA cég hasonló gyártmányainak adataival [12], [13]:

Az eljárást AgNi összetételű érintkezőanyagok gyártása céljából fejlesztettük ki, alkalmazási lehetőségei azonban korántsem korlátozódnak erre az egy anyagfajtára. A robbantásos portömörítés elvére alapozott technológia a többi porkohászati érintkezőanyag (Ag–CdO, Ag–C, Ag–W, Ag–WC, Cu–W stb.) előállítására is alkalmazható, és várhatóan az AgNi anyaghoz hasonlóan kedvező műszaki–gazdasági eredményeket nyújt.

AgNi 10 érintkezőanyagok főbb fizikai paramétereit

Gyártó	Ni-tartalom, %	Sűrűség g/cm ³	Villamos vezető-képesség, m/Ω·mm ²	Kemény-ség (HV10), kp/mm ²
DODUCO „Sinidur 10”	10	10,2	50	50, 80, 95, 110
DEGUSSA „Sintram”	10	10,3	54	50, 90
VKI	10	10,3	52	55, 90

Irodalom

- [1] *dr. Nagy E.—dr. Barna Gy.*: Bevezetés a porkohászatba. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- [2] *dr. Prohászka J.*: Anyagtechnológia. BME jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.
- [3] *M. J. Balsin*: Porkohászat. NIM Könyvkiadó Váll., 1951.
- [4] *Solymárné dr. Gábor M.*: Az érintkezőanyag-kutatás irányzatai. Elektrotechnika, 1982. 4.
- [5] *A. Burkhardt*: Stand der Technik von Hochgeschwindigkeitsverfahren der Werkstoffbearbeitung. WT Zeitschrift für industrielle Fertigung, 1976.
- [6] *D. Dew-Hughes*: Formation of superconducting Nb₃Si by explosive compression. J. Appl. Phys. 5., 1979.
- [7] Gesinterte Kontaktwerkstoffe. Herstellung und Anwendung. DODUCO Information 1.35. Heft 20., 1973.
- [8] *S. Clyens—W. Johnson*: The dynamic compaction of powdered materials. Materials Science and Engineering 30., 1977.
- [9] A gépgyártástechnológia fejlődési irányainak prognóza 2000-ig. OMFB tanulmány, 1980.
- [10] *dr. Simándi P.*: Erősáramú villamos érintkezők hazai alkalmazása. Tanulmánytervezet, 1976.
- [11] *dr. E. Tuschy*: Strangpressen — neue Verfahren. METALL 1982. 3.
- [12] Silber-Nickel (Ag/Ni) „Sintram”. DEGUSSA adatlap.
- [13] Gesinterte Silber-Nickel Kontaktwerkstoffe „SINIDUR”. DODUCO adatlap.
- [14] *Pélyi B.—Szabó B.*: Villamosipari anyagismeret. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.

20.

Műanyag-fröccsöntési technológiák fejlesztése programozott vezérlésű gépekkel

*TALPAI JÓZSEF—DR. BARDÓCZ LÁSZLÓ—
DR. FAZEKÁS GÁBOR NÉ—DR. SZABADOS TAMÁS (KONTAKTA)*

ÖSSZEFOGLALÁS

A műszaki műanyagok választékának bővülése lehetővé teszi, hogy a műanyagokat célszerűen és hatékonyan használjuk fel. A célszerű műanyag-felhasználás permanens technológiai fejlesztést és magas szintű alkalmazástechnológiát igényel.

A cikk áttekintést ad a fröccsöntési technológiák fejlődéséről és fejlesztésének irányáról. A korszerű fröccsöntőgépek gyorsabban fejlődtek, mint a technológiák.

A Kontaktával közös kísérleteink arra irányulnak, hogy programozott vezérlésű fröccsöntőgép alkalmazásával korrelációt keressünk a feldolgozási technológia és a terméket jellemző minőségi paraméterek között.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕССОВКИ ПЛАСТМАССЫ НА МАШИНАХ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Й. Та.таи—Др. Л. Бардоц—Др. Г-не Фазекаш—Др. А-не Келемен (МЫКИ)—
Др. Т. Сабадос (КОНТАКТА)*

Резюме

Увеличение разновидностей технических пластмасс позволяет применять пластмассы эффективно и целенаправленно. Целенаправленное применение пластмассы требует непрерывного совершенствования технологий и квалифицированной технологии применения.

Статья дает обзор о совершенствовании и направлениях развития технологий прессовки. Современные пресс-машины развивались быстрее, чем технологии. Совместно проведенные эксперименты с фирмой Контакта были направлены на поиск корреляции между обрабатываемой технологией и параметрами, характеризующими качества изделий — с применением пресс-машины с программным управлением.

ENTWICKLUNG VON KUNSTSTOFF-SPRITZGIESSTECHNOLOGIEN MIT HILFE VON PROGRAMMGESTEUERTEN MASCHINEN

*J. TALPAI—DR. L. BARDÓCZ—FRAU DR. G. FAZEKÁS—
FRAU DR. A. KELEMEN (MÜKI)—DR. T. SZABADOS (KONTAKTA)*

Zusammenfassung

Die Erweiterung des Sortiments der technischen Kunststoffe ermöglicht eine zweckmäßige und effektive Verwendung der Kunststoffe. Die zweckmäßige Kunststoffverwendung bedarf einer ständigen technologischen Entwicklung und einer hochentwickelten Anwendungstechnologie.

In dem Artikel wird eine Übersicht der Entwicklungsgeschichte und der Entwicklungstendenzen der Spritzgiesstechnologien gegeben. Die Entwicklung der modernen Spritzgiesmaschinen war schneller als die der Technologien. Die mit der Firma KONTAKTA gemeinsam durchgeführten Versuche hatten das Ziel gehabt, durch den Einsatz einer programmgesteuerten Spritzgiesmaschine eine Korrelation zwischen der Verarbeitungstechnologie und der für das Produkt charakteristischen Qualitätsparameter herauszufinden.

IMPROVEMENT OF PLASTIC INJECTION-MOULDING TECHNOLOGIES WITH PROGRAM-CONTROLLED MACHINERY

BY J. TALPAI—DR. L. BARDÓCZ—MRS. DR. G. FAZEKAS—
MRS. DR. A. KELEMEN (MŰKI)—DR. T. SZABADOS (KONTAKTA)

Summary

The broadening assortment of plastics engineering enables plastics to be used in an efficient and practicable way. This, however, demands a permanent technological development and high standards of application technologies.

The paper gives a review of the progress and development trends of injection-moulding technologies. The up-to-date injection moulding machines have been progressing more rapidly than the technologies.

Our experiments, carried out in co-operation with KONTAKTA, have been aimed at finding correlation between processing technology and qualitative properties characteristic of the products; in this work, a program-controlled injection-moulding has been employed.

1. Bevezetés

Az elmúlt évtizedben a műanyagalapanyag-gyártás mint a vegyipar egyik ága dinamikusan és sokoldalúan fejlődött tovább. Ennek eredménye az ún. engineering plastics, vagyis magyar szaknyelven a műszaki műanyagok megjelenése és széles körű elterjedése. Ezt a megjelölést azokra a — főleg hőre lágyuló — műanyagokra alkalmazzák, amelyek a nagy tömegben gyártott műanyagokhoz képest (PVC, PE, PP, PS) hőállóbbak, jobbák a mechanikai tulajdonságaik, nagyobb méretpontosságú és stabilitású alkatrészek előállítására alkalmasak.

A műanyagok választékának bővülése, minőségük javulása megteremtette a további lehetőségét annak a változásnak, amely a szerkezeti anyagok felhasználásában jelentkezett, és a műanyagok térhódításával jellemezhető. Az előrejelzések azt mutatják, hogy ez a tendencia világszerte tovább erősödik, Magyarország számára pedig parancsoló szükségszerűséggé válik a szerkezeti anyag-struktúra megváltoztatása, a műanyagfelhasználás bővítése.

A műanyagok növekvő felhasználása csak akkor hozza meg a kívánt műszaki és gazdasági eredményt, ha az célszerűen és hatékonyan történik. Ez a követelmény egyrészt magas szintű alkalmazástechnikai tevékenységet, másrészt a feldolgozótechnológia fejlesztését teszi szükségessé.

A technológia és a technikai eszközök fejlesztése hazánkban a VI. ötéves tervben különösen jelentős, a gazdasági szükségszerűség következtében ugyanis a műanyagok alkalmazásában a mennyiségi növekedés mellett jelentősen növekednie kell a műszakilag igényesebb termékek részarányának. A mennyiségi növekedéshez többlet munkaerő valószínűleg nem használható fel. A megoldás olyan technológiai berendezések alkalmazása, amelyek irányítása számítógéppel történik. A hazai műanyagfeldolgozó iparban ezen a területen lemaradás mutatkozik a fejlett műanyagiparral rendelkező országokhoz képest, noha a külföldi tapasztalatok alapján már több

helyen tervezik a számítógéppel irányított műanyagfeldolgozó berendezések beszerzését. A termelékeny, megbízható és reprodukálható gyártási eljárás sok esetben megköveteli a termelékeny minőségellenőrzést is. A termék minősége mint információ ugyanis módot ad a folyamatba való gyors beavatkozásra.

A folyamatirányított fröccsöntési technológia alkalmazása esetén külföldi szakirodalmi adatok alapján a következő költségmegtakarítás érhető el:

- a ciklusidő 25...35%-kal csökken;
- a technológiai beállítási idő 50...75%-kal csökken;
- az anyagmegtakarítás 1...8%.

A műanyagfeldolgozás – elsősorban a fröccsöntés – számítógépes folyamatirányításának egy-egy részproblémájával világszerte számos kutatóhely foglalkozik. A hazai kutatások is megindultak (GAMF, MÜKI), és arra irányulnak, hogy a fröccsöntés számítógépes folyamatirányításához az alapadatokat kimérjék, azaz a fröccsöntési paraméterek (bemeneti paraméterek és termékjellemzők) kölcsönhatását vizsgálják.

A KONTAKTA Alkatrészgyár – felismerve a változások szükségességét – Intézetünkkel együttműködve végzi műanyagfeldolgozás további korszerűsítését.

2. A fröccsöntési technológiák és berendezések fejlődése

A műanyagok jelentős hányadát fröccsöntő eljárással dolgozzák fel. Igen nagy a termékféleségek száma is. Az utóbbi időben nőtt az igény a méretpontos, méretstabil, megfelelő szilárdságú és reprodukálható, fröccsöntött műanyag alkatrészre. Érthető, hogy a fröccsöntési technológia jelentősen fejlődött, és ez a fejlődés ma is tart [1], [2], [3], [4], [5], [6].

A kezdeti szakaszban dugattyús gépeket alkalmaztak, a hajtás mechanikus vagy hidraulikus volt, a működtetés pedig kézi, később automatikus. A legszűkebb keresztmetszetet az anyag felmelegítési – plasztikálási – szakasza jelentette, bár a felmelegítés sebességén és a homogenitás minőségén különböző torpedókkal javítottak. Döntő változást hozott a csigadugattyú kifejlesztése, amely lehetővé tette a gyors hőbevezetést, továbbá azt, hogy összetételében és hőmérsékletét tekintve is homogén ömledéket nyerjenek. A homogén ömledék minőségileg újat jelentett, biztosította a jobb használati tulajdonságú termékek előállítását.

A csigadugattyús gépek hamarosan általánossá váltak, és módosításuk ezután az automatizáltság mértékére és megbízhatóságára, a gépek működési sebességének növelésére irányult. Ezzel párhuzamosan folyt a fröccsöntéshez használt szerszámok fejlesztése. Az alakadó szerszámok szerepe azért kiemelt jelentőségű, mert a műanyag abban végbemenő állapotváltozása részben a termék minőségét, részben a gyártási időt lényegesen befolyásolja. A fejlesztés első szakaszában fontos célkitűzés volt a darab automatikus eltávolítása a szerszámüregből. Későbbi törekvés az volt, hogy sorja és beömlési csomak nélkül lehessen eltávolítani a munkadarabot.

A fröccsöntőgépek további minőségi fejlődése játszódik le napjainkban. A mikroelektronika és a számítástechnika több lépcsőben és nagy ütemben hatolt be a műanyagfeldolgozás területére, forradalmasítva mind a feldolgozógépek gyártását, mind a termelés és a folyamatok irányítását.

Az első fejlesztések arra irányultak, hogy a hagyományosnak mondható fröccsöntőgép működésének egy-egy részterületét tegyék korszerűbbé. A 60-as évek végétől olyan fröccsöntőgépek kerültek piacra, amelyeknél a befröccsöntési nyomást, ill. utónyomást 2–5 lépcsőben idő- vagy útfüggően lehetett beállítani. Ugyancsak többlépcsős volt a torlónyomás és a csigafordulat értéke is. Ezek a gépek javították

a reprodukálhatóságot, de a növekvő igényeknek nem feleltek meg, ezért a gyártók a következő fokozatként megjelölhető *programozott vezérlést* fejlesztették ki. Ezek a berendezések a következők szerint jellemezhetők (a teljesség igénye nélkül):

- a befroccsöntési sebesség több fokozatban változtatható az út, idő, hidraulika-nyomás vagy a szerszám belső nyomása függvényében, és független lehet a csiga előtti térben kialakult nyomástól;
- az utónyomás – a szerszámot kitöltő nyomástól függetlenül – általában több lépcsőben valósítható meg;
- a sebességprogramról a szerszám belső nyomásának függvényében utónyomás-programra tudnak kapcsolni;
- a csiga fordulatszáma állandó, de több fokozatban vezérelhető.

Az elektronikus és a hidraulikus elemek mai fejlettségi szintjét tekintve nagyon valószerű, hogy mind az elektronikus irányító- és szabályozórendszer, mind a hidraulikus vezérlő- és végrehajtó rendszer a közeljövőben is továbbfejlődik és egyben egyszerűsödik.

Az ide vonatkozó szakirodalomból [6] megállapítható, hogy a fröccsöntési technológia fejlődési üteme jelentősen elmarad a fröccsöntőgépek fejlődési ütemétől. Ugyanez mondható el a fröccsöntőszerszámok elégtelen tervezési színvonaláról is. A szakemberek módszertani kérdéseket is felvetnek, pl. azt, hogy a fröccsöntés melyik paraméterét kell mérni, ill. melyiket kell jelként felhasználni a folyamatba történő beavatkozásra. A másik problematikus pont annak eldöntése, hogy a termék állandó minőségét hogyan lehet biztosítani.

Három fő kutatási irányítható meg:

Az egyik irányzat megfelelőnek tartja a gyártott termékek minőségi osztályozását (megfelel, nem felel meg) pl. méret szerint. Erre elsősorban a nagyobb tűrés-mezővel rendelkező termékeknél van lehetőség.

A másik elképzelés szerint a fröccsöntésnél egy előzetes kísérlettel optimalizálnák a paramétereket és a gyártást e paraméterek alapján végeznék. Ez a megoldás sok problémát rejt magában. Feltételezi pl., hogy az alapanyagok minőségében csak olyan minimális az ingadozás, amely még nem gyakorol észrevehető hatást a termék minőségére. Feltételezi továbbá azt is, hogy a gép állapotában hosszú ideig nem következik be lényeges változás (pl. kopás).

A harmadik irányzat szerint optimalizálni kell a gyártás technológiai paramétereit, és a zavaró tényezők hatását ismétlődő beavatkozással kell kompenzálni. Ez az elgondolás bonyolult és költséges termelőberendezést igényel, mert feltételezi a nagyfokú automatizáltságot, a kis érték tartományon belüli szabályozhatóságot. Ezek a kritériumok teszik szükségessé a speciális, tartós érzékelőkön, jeladókon, beavatkozó szervoberendezéseken kívül a *számítógépes folyamatirányítást*. Ezek a berendezések teszik lehetővé az anyag minőségében jelentkező változásokra való gyors reagálást, a hatások kompenzálását, egyéb zavaró hatások kiküszöbölését, a megfelelő reprodukálási fok biztosítását.

Ezeknek a kérdéseknek a tisztázása mellett a fröccsöntési technológia fejlesztése nemcsak szükséges, de lehetséges is. A kedvező lehetőségeket a technikai eszközök fejlettségén kívül számos tényező, ill. eddig elért eredmény biztosítja, ezek közül a legfontosabbakat említjük meg:

- a) A feldolgozandó alapanyagok minősége javult, választékuk bővült. Szaporodtak az ismeretek az állapotváltozás folyamatáról, az állapotjelzők kapcsolatáról, és javult az alapanyagot jellemző termikus és reológiai mérőszámok meghatározási metodikája, pontossága.

- b) A feldolgozási jellemzők és a terméket jellemző minőségi paraméterek közötti korreláció folyamatirányított rendszereknél nélkülözhetetlen. Ezek ma már számos helyen sok mérés eredményeként rendelkezésre állnak.
- c) Felismerték a pVT diagramok fontos szerepét a folyamatirányításban mint a szerszámban lefolyó lehetséges állapotváltozások alapösszefüggését.
- d) Fontos volt az a megállapítás, hogy a folyamat korrekciójához és a beavatkozáshoz szükséges jeleket a szerszámban lefolyó változásokból és a termék jellemző adataiból kell meghatározni.

Ezeknek az ismereteknek a birtokában, a technika jelenlegi fejlettségi szintjén lehetőség van arra, hogy a közeljövőben a fröccsöntés technológiai paramétereit megközelítő pontossággal az összefüggések alapján határozzák meg, ezáltal a technológia tervezése megbízhatóbbá és hatékonyabbá válik.

3. A DS 2000 folyamatirányító rendszer

A Kontakta Alkatrészgyár megbízásából ki kellett választanunk egy olyan korszerű folyamatirányító rendszerrel felszerelt fröccsöntőgéptípust, amellyel az igényesebb műanyag alkatrészek az eddiginél egyenletesebb minőségben fröccsönthetők. A kiválasztáskor természetesen nem lehettünk maximalisták; nem a legfejlettebb, hanem az adott termékcsaládnak megfelelő leggazdaságosabb típust kellett megvásárolnunk. Lemondtunk pl. a pVT diagramok adatait felhasználó CPI 40 típusú folyamatirányító rendszerrel ellátott Klöckner Ferromatik fröccsöntőgépekről. Előtanulmányaink alapján a Battenfeld cég DS 2000 rendszerével felszerelt BSKM 100/46-S típusú fröccsöntőgépek mellett döntöttünk.

A fröccsöntőgépet vezérlő és szabályozó DS 2000 rendszer lényege részben egy programozható vezérlőrendszer, amelynél minden nyomást és minden sebességet digitálisan állíthatunk be. Részben egy olyan szabályozórendszer, amely a műanyag idomdarab kialakítási fázisának minden fontos folyamatjellemzőjét szabályozza.

Az egész elektronikus rész egy, a géptől különálló kapcsolószekrényben van elhelyezve. Ugyanott vannak a hőmérséklet-szabályzók is. Az elektronikus rész három egységből áll:

Az SM 2.0000 egység (20-1. ábra) tartalmazza a program kiválasztását és a működést jelző lámpákat.

Az SM 0100 egység (20-2. ábra) az időadatok előzetes beállítását, az esetleges magkihúzási program kiválasztását és az egész rendszer esetleges hibáinak megkeresését teszi lehetővé.

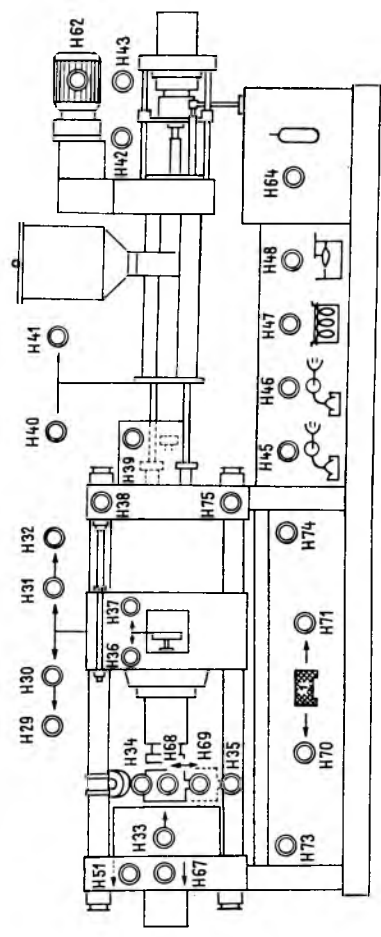
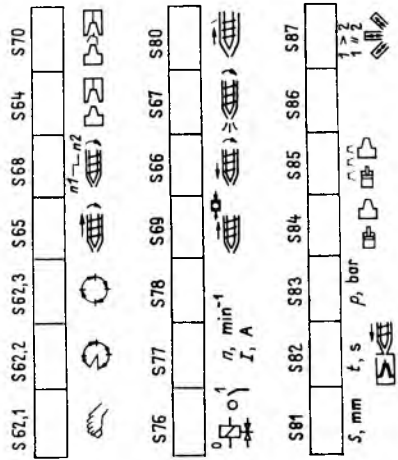
Az SM 0400 egységen (20-3. ábra) beállítható a három paraméter időbeli lefolyásának profilja. Ezek:

- a befröccsöntési sebesség,
- az utónyomás,
- a torlónyomás.

Ezen kívül itt állítható be néhány más idő- és útérték is, és ugyancsak itt látható a csiga pillanatnyi helyzete.

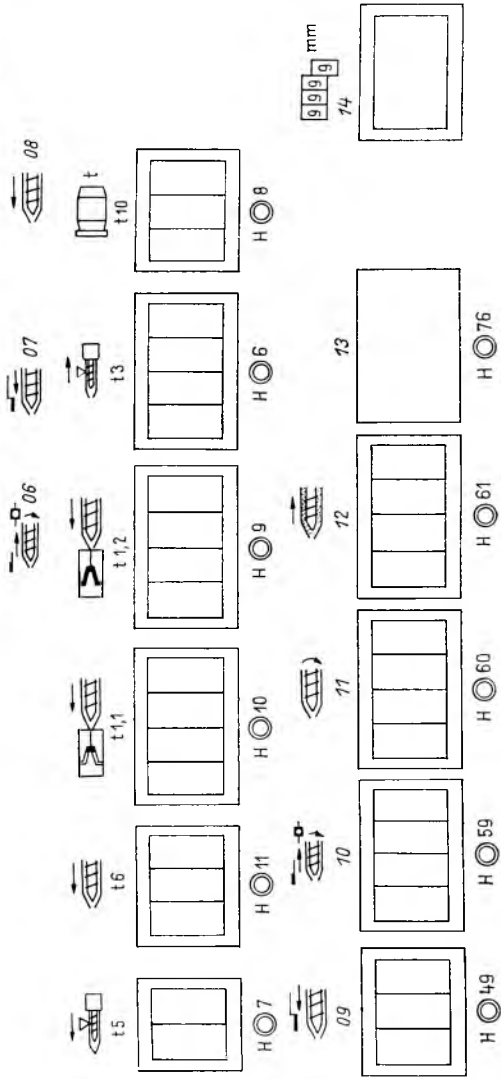
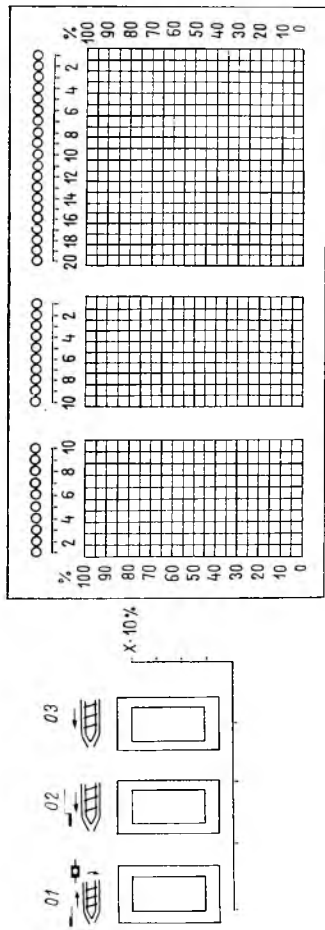
A gépen van még egy külön kezelő rész is (20-4. ábra). Itt található a kézi vezérlésű üzemmódkezelő elemek, itt állíthatók be a szerszámzáró rendszer, a ki-dobó- és a fröccsegység sebesség- és nyomásértékei.

Az előzőekben már céloztunk arra, hogy a fröccsöntési folyamat fő részfolyamatai a műanyag megömlesztése (plasztifikálás), a formakialakítás és a rögzítés. A DS 2000 rendszer elsősorban a második részfolyamatot, a formakialakítást teszi egyenletesebbé.

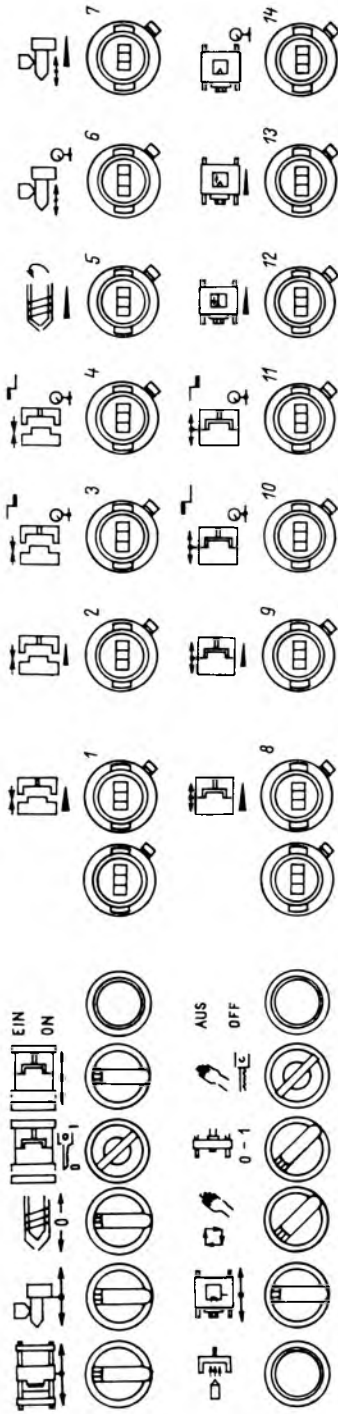


20-1. ábra. Az SM 2.0000 egység

S 62.1 – S 70 kezi; félautomatikus; adagolás; a villamos motor fordulatszáma nagy/kicsi; szerszámvédelem; a darab kiesett a szerszámból, a gép tovább működhet
 S 76 – S 80 szelep/kapcsoló; fordulatszám/áramerősség; üres; torlónyomás; intrudálás; befűtés/erősítés; befűtés/erősítés; dekompreszió
 S 81 – S 87 az utónyomás kezdete az út függvényében; az utónyomás kezdete az idő függvényében; az utónyomás kezdete a nyomás függvényében; a hidraulikus kidobó egység
 mozdul előre; a hidraulikus kidobó többször mozdul előre; üres; magkihozás



20-3. ábra. Az SM 0400 egység
 01: amplitúdó-utónyomás; 02: amplitúdó-utónyomás; 03: amplitúdó-utónyomás; 04: programszám; 05: kulcsos kapcsoló; 06: torlónyomás; 07: utónyomás; 08: befűrésztési sebesség; 09: út – az utónyomás kezdete; 10: út – torlónyomás; 11: adagolási úthossz; 12: út – dekompresszió; 13: üres; 14: a fröccsöntési út helyzejelzése; 15: a fröccsöntés előrehaladásának kísérletese; 16: a befűrésztési kísérletese; 17: töltési idő; 18: utónyomás; 19: a fröccsöntés visszahúzásának kísérletese; 20: az extruder indításának kísérletese



20-4. ábra. A kezelőrész

1 a szerszámozó egység gyorsan zár; 2 a szerszámozó egység lassan zár; 3 a szerszámozó egység kis nyomással zár; 4 a szerszámozó egység nagy nyomással zár; 5 nyomás; 6 a fűvókát a szerszámozó egység gyorsan nyit; 7 a fűvókát a szerszámozó egység lassan nyit; 8 a szerszámozó egység gyorsan nyit; 9 a szerszámozó egység lassan nyit; 10 a szerszámozó egység nagy nyomással nyit; 11 a szerszámozó egység kis nyomással nyit; 12 a kidobó visszahúzási sebessége; 13 a kidobó előre mozdul; 14 a kidobó nyomása

A szerszámüreg kitöltési folyamatát elsősorban a befroccsöntési sebesség időbeli lefolyásának előírásával lehet vezérelni. Erre a célra az SM 0400 egységben egy világítódiodák-ból álló mátrixot helyeztek el. Az elemek száma 20×20 . A tetszés szerint beállítható, 20 világító pontból álló profilgörbének megfelelő sebességlefutás abszolút értékeit egy 10%-os dekádskapcsolóval lehet előírni 0 és 100% között. A mátrix felett külön lámpasor jelzi, hol tart a folyamat. Ahhoz, hogy a rendszer jól működjék, természetesen gyors működésű szervoszelepekre van szükség, hiszen a szelepnek az armúgy is rövid befroccsöntési idő 1/20 részénél rövidebb idő alatt kell engedelmelkednie az elektronikus PID szabályozórendszerrel érkező parancsoknak.

Már az előzőekben említettük, mennyire fontos az utónyomásra történő átkapcsolás időpontja. Ez a DS 2000 rendszerrel történhet az út, az idő, ill. egy segédberendezéssel a hidraulikus vagy a szerszámüregben uralkodó nyomásnövekedés függvényében. Magának az utónyomásnak az időbeli lefutása hasonlóképpen előírható, mint a befroccsöntési sebességé, azzal a különbséggel, hogy a világítódiodák-ból álló mátrixnak 10×20 eleme van. Ez a két mátrix a formakialakítási és rögzítési részfolyamatot szabályozza.

A műanyag megömlesztési részfolyamatát is befolyásolhatjuk a DS 2000 rendszerrel. A harmadik 10×20 elemes mátrixon ugyanis a torlónyomás időbeli lefutása állítható be, és a rendszer ezt a nyomásváltozási folyamatot is az előzők szerint szabályozza. A torlónyomás vezérlésével és szabályozásával az ömledékanyag homogenitása javítható.

Az elmondott három „profil” egy CMOS programtárba tehető, mégpedig max 32 változatban 32 idomdarabhoz, ill. szerszámhoz.

Egyetlen program tartalmazza a be- és a kimenet adatait. A programok ún. EPROM-okba (*Erasable Programmable Read Only Memory*), elektronikus tárolókba kerülnek. Ezeket ultraiobolyafénnyel lehet törölni, és — egy erre a célra szolgáló készülékkel — lehet újraprogramozni. Ha tehát egy terméket valamilyen oknál fogva (új szerszám, más anyag stb.) újra kell programozni, ennek semmi akadályja sincs. Külön figyelmet érdemel az SM 0100 egységbe épített szervizmodul, ami az esetleges hibák helyének és okának gyors felderítésére való.

Összefoglalva a DS 2000 rendszer előnyeit, a csak vezérelt fröccsöntőgépekhez képest a következő darabtulajdonságok javulnak:

- Csökken a tömegingadozás (ez elsősorban az utónyomás „profilnak” köszönhető).
- Csökkenthető az adagsúly a kész darab minőségének romlása nélkül (ez elsősorban a befroccsöntési sebesség „profil” érdeme).
- Csökkenthető a szerszám-záróerő, mert kiküszöbölhetők a minden szempontból káros nyomáscsúcsok (ez elsősorban az utónyomásra történő átkapcsolástól függ).
- Rövidíthető egy-egy termék gyártásának újraindításakor az állandósulási idő, ill. csökken az ilyenkor elkerülhetetlen selejtes darabok száma (ez leggyorsabban úgy érhető el, ha a szerszámüregben uralkodó nyomás emelkedése szabja meg az utónyomásra való átkapcsolás pillanatát).
- Csökkenthető a folyamatos gyártás közben előforduló selejt is (ezt főleg az ömledék homogenitása, tehát a torlónyomás vezérelt lefolyása teszi lehetővé).

A folyamatirányító rendszerrel rendelkező fröccsöntőgépek előnyeit csak arra alkalmas szerszámokkal lehet kihasználni. A technológiai követelmények figyelembevételével üzemi sorozatgyártási kísérletekhez is alkalmas szerszámok elkészítését indítottuk el négy, különböző műanyag alkatrészhez. A szerszámok kivitelezésénél alapvető szempontnak tekintettük, hogy kellően merevek legyenek, alkalmasak legyenek automatikus üzemmódra, és $\pm 2^\circ\text{C}$ pontossággal legyenek temperálhatók.

A rendelkezésünkre álló fröccsöntőgépek és szerszámok lehetővé teszik, hogy üzemi körülmények között a késztermék tulajdonságaira orientáltan végezzük el a technológia optimalizálását, és igazoljuk egy lényegében új technológiai rendszer előnyeit és bevezetésének szükségszerűségét.

4. Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton is megköszönik dr. Kelemen Andornénak (Műanyagipari Kutató Intézet) és dr. Csikai Imrének (Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskola, Kecskemét) az együttműködését a kísérleti munkában és a cikk megírásában nyújtott segítségüket.

Irodalom

- [1] *Mayer, G.*: Einfluss der Verarbeitungsparameter auf die Qualität des Formteils und den Druckverlauf im Spritzgusswerkzeug. *Plastverarbeiter*, 1982/4.
- [2] *Meulen, W.*: Produktivitäts – und Qualitätssteigerung beim Spritzgiessen durch verbesserte Mess – und Regelgeräte. *Kunststoffe*, 1977/4.
- [3] *Dr. Fehrmann–R., Dr. Schumann, J.*: Gezielte Qualitätsbeeinflussung durch mikro-rechnergesteuertes Spritzgiessen. *Plaste und Kautschuk*, 1982/3.
- [4] *Menges, G.–Hellmeyer, H. O.*: Stand der Forschung in der Steuerungstechnik der Spritzgussprozesses. *Kunststoffe-Plastics*, 1978/6.
- [5] *Schwab, E.–Eckardt, H.*: Zum besseren Spritzgussteil mit der Prozessregelung DS 2000. *Kunststoffberater*, 1982/10.
- [6] *Dr. Csikai I.*: Alapadatok mérése fröccsöntés számítógépes folyamatirányításához. *GAMF Kutatási jelentés*, 1982.

VILLAMOS KÉSZÜLÉKEK

21. Kisfeszültségű kontaktorok és kapcsolók nemesfém-takarékos érintkezőrendszerei

DR. NÉVERI ISTVÁN—PILINYI ANDRÁS—DR. POLGÁR TIBOR

ÖSSZEFOGLALÁS

Az érintkezőrendszerekkel szemben támasztott főbb követelmények. Az érintkezők élettartamát befolyásoló paraméterek. Az ezüst helyett alkalmazhatók többalkotós fémek és fémkompozíciók. Az érintkezőanyagok gyártástechnológiájának szerepe. A különféle anyagok célszerű párosításával elérhető nemesfém-megtakarítás. Szerkezeti kialakítások és technológiai problémák. A különféle megoldások összehasonlításához szükséges vizsgálati módszerek és berendezések. Vizsgálati eredmények értékelése.

КОНТАКТНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТАКТОРОВ И ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ЭКОНОМИЕЙ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Др. И. Нэвери—А. Пилини—Др. Т. Полгар

Резюме

Важнейшие требования контактных систем. Параметры, влияющие на ресурс контактов. Многокомпозиционные металлы, металлургические композиции, применимые взамен серебра. Роль технологии производства контактных материалов. Экономия благородных металлов целенаправленным попарным выбором различных материалов. Структурные оформления и технологические проблемы.

Испытательные способы и установки для сравнения различных решений. Оценка результатов испытаний.

KONTAKTSYSTEME VON NIEDERSPANNUNGSSCHÜTZEN UND SCHALTERN MIT EDELMETALLEINSPARUNG

DR. I. NÉVERI—A. PILINYI—DR. T. POLGÁR

Zusammenfassung

Die gegenüber den Kontaktsystemen gestellten wichtigeren Anforderungen. Die die Kontaktlebensdauer beeinflussenden Parameter. Anstatt Silber einsetzbare Mehrkomponenten-Metalle und Metallkompositionen. Die Rolle der Fertigungstechnologie von Kontaktwerkstoffen. Die durch zweckmäßige Paarung erreichbare Edelmetalleinsparung. Konstruktionslösungen und technologische Probleme.

Prüfmethoden und Prüfeinrichtungen zum Vergleich von verschiedenen Lösungen. Die Auswertung von Prüfergebnissen.

Summary

Major requirements to be met by contact systems. Parameters affecting endurance of contacts. Multi-component metals and metal compositions to replace silver. The effects of production technology of contact materials. Potential saving in precious metals through practicable pairing of various materials. Structural details and technological problems.

Analytical methods and equipment for comparison of various solutions. Evaluation of test results.

1. Bevezetés

A mechanikus kapcsolókészülékek legfontosabb eleme az érintkezőrendszer, amely az áramkör zárását, nyitását és az áram megbízható vezetését kell, hogy biztosítsa. A műszaki és gazdasági követelmények növekedése a kapcsolókészülékek állandó korszerűsítését teszi szükségessé, ami nagymértékben az érintkezőrendszerek megbízhatóságának növelésére irányul, olcsóbb érintkezőanyagok alkalmazása mellett.

Az igen sokféle kapcsolókészülék közül a kisfeszültségű kontaktorokat és kapcsolókat gyártják a legnagyobb mennyiségben, így ezek folyamatos fejlesztése a készülékutatás egyik alapvető feladata. Az ezüst árának gyors emelkedése és a világ ezüstkészletének rohamos csökkenése világszerte előtérbe helyezte az elsősorban ezüstalapú érintkezőjű erősáramú kapcsolókészülékek érintkezőrendszereinek átalakítását. A cél olyan új érintkezőanyagok kutatása és alkalmazása, amelyek kevesebb ezüst felhasználásával olcsóbb és legalább egyenértékű megoldást adnak.

A kontaktorok és kapcsolók feladata az áram megbízható vezetése mellett az igen gyakori ki- és bekapcsolás, sőt a megfelelő túláram-érzékelő eszközök parancsára a túlterhelések elleni védelem biztosítása is. A korszerű igény, hogy ezek a kapcsolókészülékek karbantartás nélkül nagy számú kapcsolást (sokszor több millió ki-be kapcsolást) tudjanak megbízhatóan végrehajtani.

Eleinte úgy látszott, hogy a félvezetőipar fejlődése feleslegessé teszi a mozgó érintkezőkkel rendelkező mechanikus kapcsolókészülékek gyártását, hiszen a félvezetős kapcsolók igen gyakori kapcsolási igényt úgyszólván végtelen ideig képesek kielégíteni. Kiderült azonban, hogy a félvezetőelemeket túláram- és túlfeszültség-érzékenységük miatt vagy drága és viszonylag bonyolult védőrendszerekkel kell ellátni, vagy számolni kell a gyakori meghibásodással. Ugyanakkor az esetek nagy többségében a fogyasztók kikapcsolásakor szükséges a megbízható feszültségmentesítés, ami mindenképpen mechanikus leválasztást követel. Ma már nyilvánvaló, hogy a speciális esetektől eltekintve még a korszerű automatizált rendszereket is mechanikus kapcsolókészülékekkel kell ellátni, és biztosra vehető, hogy a következő évtizedekben a fogyasztók nagy többségének kapcsolására mozgóérintkezős kapcsolókat fognak alkalmazni.

Az érintkezőrendszerekkel szemben támasztott legfontosabb követelmények:

- a jó áramvezetés (zárt állapotban), vagyis a minél kisebb érintkezési ellenállás;
- a minél kisebb hegedési hajlam;
- a villamos íverózióval szembeni nagy ellenállóképesség.

A szigorú követelmények kielégítésére nem elég a különféle fémek, fémötvözetek vagy fémkompozíciók fizikai tulajdonságai alapján kiválasztani a legjobbnak látszó meg-

oldást, hanem számos egyéb paraméter együttes hatását kell figyelembe venni és keresni az optimumot. Az íverózió mértékét pl. a kapcsolandó áramkör jellemzőin (áram, feszültség, teljesítménytényező) kívül nagymértékben befolyásolják a kapcsolókészülék mechanikai paramétereit (kapcsolási sebesség, az ívoldórendszer fajtája, érintkezők nyitási távolsága stb.), az érintkezőrendszer konstrukciós kialakítása, sőt az érintkezőanyagok gyártástechnológiája is.

A jelenleg leggyakrabban használt színezüst, és a különféle százalékos arányú AgCdO és AgNi érintkezők mellett egyre gyakrabban találkozunk új összetételű anyagokkal, három vagy még több komponensű fémkompozíciókkal, amelyeket a legkülönbélebb technológiákkal állítanak elő. Az élettartamra és megbízhatóságra vonatkozó követelmények szigorodása mellett az érintkezőjelenségek kutatásának világszerte fő feladatává vált az ezüsttakarékos megoldások keresése. Három alapvető kutatási irány alakult ki:

- minél nagyobb mértékben csökkentett ezüsttartalmú új érintkezőkompozíciók kidolgozása (a korábbinál lehetőleg olcsóbb előállítási költséggel);
- jobb érintkezőrendszerek kialakítása, amikor nem romlanak (esetleg javulnak) a kapcsolókészülék paramétereit, ugyanakkor lényegesen kevesebb érintkezőanyagra van szükség;
- olyan megoldások keresése, amelyekhez nincs szükség ezüst vagy más nemesfém alkalmazására (pl. vákuumban történő kapcsolás: nincs oxidációs veszély, megfelel a Cu érintkezőanyag is).

E tanulmány a második bekezdésben szereplő kutatási irány egy igen jelentős eredményét tárgyalja részletesebben, nevezetesen az érintkezők között a villamos ív hatására fellépő anyagvándorlás jelenségének hasznosításával elérhető jelentős ezüstmegtakarítást.

A kapcsolókészülékek érintkezőinek gazdaságosabb megoldására, a nemesfém-megtakarításra irányuló kutatások fontosságát jól bizonyítja, hogy a kétvétenként megrendezésre kerülő Nemzetközi Érintkezőjelenségek Konferencia (ICECP) utóbbi két összejövetelén [1], [2] az előadások és viták több, mint fele ezzel a kérdéssel foglalkozott.

2. Az érintkezők helyes megválasztása

A kapcsolók és kontaktorok érintkezői számára ma már igen nagy anyagválaszték áll rendelkezésre. A nagy érintkezőanyag-gyárak számos olyan – elsősorban ezüst alapú – ötvözetet vagy fémkompozíciót forgalmaznak, amelyek a bevezetőben vázolt alapkövetelményeket egyaránt jól kielégítik. Különösen a porkohászati technológia alkalmazása és folyamatos tökéletesítése eredményezett jelentős bővülést az anyagválasztékban. Ily módon elvben tetszőleges összetételeket lehet megvalósítani, ami inkább lehetővé teszi az egymásnak sokszor ellentmondó követelmények kielégítését. Másrészt ma már a porkohászati érintkezőanyagok gyakorlatilag azonos minőségűek a valódi ötvözetekkel (pl. sűrűség, villamos vezetőképesség stb. szempontjából) és elsősorban a gyártási költségek, az érintkező félgyártmány jellege (huzal, lapka stb.) és gyártástechnológiai szempontok (pl. felerősítési mód) alapján lehet eldönteni, hogy egyébként azonos összetételű anyagok közül melyiket célszerű alkalmazni.

A 21-1. táblázatban áttekintést adunk a jelenleg használatos érintkezőanyagokról, előállítási módjukról és a legfontosabb fizikai tulajdonságaikról. Nyilvánvaló cél, hogy ezek közül adott feladatra a műszaki-gazdasági szempontból optimális megoldást válasszuk ki. Az érintkezőanyag-gyárak katalógusai modellvizsgálatokon és más gyakorlati tapasztalatokon alapuló ajánlásokkal segítik ebben a készülék-

Érintkezőanyag	Előállítási mód	ρ rezisztivitás $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$	α az ellenállás hőmérsékleti tényezője, $10^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$	λ hővezető képesség, $\text{W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	d sűrűség, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Hv Vickers- keménység, $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$
Cu Ag 99,9%	öntött, húzott vagy hengerelt	1,73 1,65	3,9 4,0	3,9 4,18	8,9 10,5	1040 300...900
Ag/Cu – 97/3% Ag/Cu – 95/5% Ag/Cu – 90/10%	ötvözet	1,92 1,96 2,00	3,5 3,5 3,5	3,85 3,35 3,35	10,4 10,4 10,3	450...1150 600...1350 700...1500
Ag/Ni – 99,85/0,15%	ötvözet	2,33	2,1	2,93	10,5	700
Ag/Ni – 90/10% Ag/Ni – 80/20% Ag/Ni – 70/30% Ag/Ni – 60/40%	porkohászati eljárás egyedi sajtolás	1,8 2,1 2,5 2,7	3,5 3,5 3,4 2,4	3,6 3,1 3,0 2,9	10,1 9,9 9,7 9,5	680 760 820 870
Ag/Ni – 90/10% Ag/Ni – 80/20% Ag/Ni – 70/30% Ag/Ni – 60/40%	porkohászati eljárás huzalsajtolás, irányított szemcseelrendezés	2,00 2,17 2,44 2,7	3,5 3,5 3,4 2,9	– – – –	10,2 10,0 9,8 9,7	500...1100 600...1200 800...1350 820...1500
Ag/CdO – 90/10% Ag/CdO – 85/15%	beoxidált ötvözet	2,04 2,27	3,6 3,5	– –	10,2 10,1	650 750
Ag/CdO – 90/10% Ag/CdO – 88/12% Ag/CdO – 85/15%	porkohászati eljárás, huzalsajtolás vagy préselés	2,00 2,08 2,22	3,6 3,6 3,5	– – –	10,3 10,3 10,2	600 650 700

21.1. táblázat folytatása

Érintkezőanyag	Előállítási mód	ρ rezisztivitás $10^{-6} \cdot \Omega \text{cm}$	α az ellenállás hőmérsékleti tényezője, $10^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$	λ hővezető képesség, $\text{W} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	d sűrűség, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	Hv Vickers- keménység, $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$
Ag/SnO ₂ + In ₂ O ₃ – 88/12%	porkohászati eljárás, huzalsajtolás vagy préselés	2,77...3,33	–	–	9,9	1000...1200
Ag/ZnO – 92/8%	porkohászati eljárás, huzalsajtolás vagy préselés	2,1	3,1	3,4	10,2	700...900
W	porkohászati eljárás	5,55	4,7	1,64	19,32	3000...5000
Cu/W – 50/50%	beitatásos vagy sajtolt porkohászati eljárás	3,8...4,5	–	–	11,8...12,2	1100...1400
Cu/W – 40/60%		4,2...5,0	–	–	12,8...13,2	1400...1700
Cu/W – 30/70%		4,5...5,6	–	–	13,9...14,3	1600...2000
Cu/W – 20/80%		5,0...6,3	–	–	15,2...15,6	2100...2500
Ag/W – 50/50%	beitatásos vagy préselt porkohászati eljárás	3,1...3,8	–	–	13,2...13,6	1200...1400
Ag/W – 40/60%		3,4...4,2	–	–	14,0...14,4	1400...1600
Ag/W – 30/70%		3,8...5,0	–	–	15,0...15,4	1600...1900
Ag/W – 20/80%		4,3...5,6	–	–	16,1...16,5	1800...2200
Ag/C – 97,5/2,5%	porkohászati eljárás	1,88	3,5	–	9,5	420
Ag/C – 95/5%	egyedi sajtolás	2,32	3,3	–	8,6	400
Ag/C – 90/10%		2,85	–	–	7,4	310
Ag/C – 85/15%		4,54	–	–	6,5	260

szerkesztőket. Ezek, valamint a VKI kutatási eredményei [3], [4] figyelembevételével állítottuk össze a 21-2. táblázatot, amely a kisfeszültségű kapcsolókészülékek érintkezőanyagának kiválasztásához ad útmutatást.

Az általános szempontokon túl a kapcsolókészülékek egyedi konstrukciós és mechanikai sajátosságai is jelentős befolyást gyakorolnak az érintkezők üzemi viszonyaira és ezen keresztül az anyagkiválasztásra. Így az érintkezők pattogása, a kapcsolási sebesség nagysága, az érintkezők környezetében alkalmazott szerkezeti anyagok (pl. deionlemezek, különféle műanyagok) jelentősen befolyásolják az érintkezők működését. A pattogásra hajlamos érintkezőknél megnő a hegedési hajlam és a bekapcsolási anyagfogyás. Ugyancsak az anyagfogyás értékét befolyásolja a kikapcsolási sebesség. A deionlemezek jelenléte az érintkezőanyag kondenzációs viszonyaira gyakorol befolyást, a műanyagok jelenléte pedig az átmeneti ellenállást növelheti meg. Ezekhez járulnak még az anyagkiválasztás gyártástechnológiai szempontjai. Nagy gyártási sorozatok esetében elsősorban a tömeggyártásra alkalmas felerősítési technológiát biztosító félgyártmányokat – huzalt, szegecset, esetleg gömböt – célszerű alkalmazni. Itt lényeges, hogy külön forrasztóanyag nélkül ponthegeesztendő, ill. szegecselhető legyen az érintkezőanyag. Közepes és kissorozatú gyártásnál már az egyedi felerősítési technológiák (pl. keményforrasztás) is szóba jönnek, ami az alkalmazható érintkezőanyagok választékát jelentősen megnöveli.

Az egyik legfontosabb fejlesztési, tervezési szempont a nemesfém-tartalmú érintkezők felhasználásával való takarékoskodás. Erre a következő lehetőségek vannak (a készülékek megbízhatóságának csökkentése nélkül):

- A helyes anyagkiválasztás már önmagában módot ad a takarékosagra. Az adott célra még megfelelő legkisebb nemesfém-tartalmú anyagfajtát kell alkalmazni és csak a feltétlen szükséges érintkezőtömeget építjük be a készülékbe. Az érintkezők tipizálásával csökkenthető annak a valószínűsége, hogy a célnak eleve nem megfelelő vagy szükségtelenül túlméretezett érintkezők kerüljenek a készülékbe.
- A készülék-konstrukció javításával (pattogáscsökkentés, optimális ívmozgatás, a szerkezeti anyagok célszerű megválasztása és elrendezése stb.) ugyancsak csökkenthető a beépítendő érintkezőtömeg.
- Az érintkezőanyag gyártásában alkalmazott legújabb technológiák [5], mint pl. alkálifém-adalékok használata stb. a korábbiaknál jobb tulajdonságú, kisebb anyagfogyással és hegedési hajlammal rendelkező érintkezőket hoztak létre.
- Az érintkezők korszerű felerősítési technológiáinak alkalmazása ugyancsak lehetőséget biztosít a takarékosagra. Az ún. kettősfém-érintkezőknél a nemesfém-tartalmú érintkezőanyagot réz, esetleg vas hordozóval egyesítik, pl. szegecseknél csak a feltétlenül szükséges vastagság készül nemesfém-ből. Ilyen kettősfém előállítására pl. jól bevált a VKI-ban kidolgozott robbantásos plattírozás [6].
- Egyes esetekben a nemesfém-tartalmú érintkezők részben vagy teljesen kiválthatók. Kismegszakítóknál pl. sikerrel alkalmazható a Cu–Ag/C aszimmetrikus érintkezőkombináció, ahol az egyik érintkezőfél nemesfémmentes. A vákuumkapcsolók érintkezői nemesfémeket egyáltalán nem tartalmaznak.
- Az aszimmetrikus érintkezőrendszerek takarékoskodikása [3], [4] különösen a korszerű érintkezőfelerősítési technológiák alkalmazásával együtt, ugyancsak jelentős nemesfém-megtakarítást eredményez.

Útmutató kifeszültségű kapcsolókészülékek érintkezőanyagának kiválasztásához

A kapcsoló-készülék jellege	Névleges áram	Zárlati áram	Előnyösen alkalmazható érintkezőanyagok
Kapcsolók, kontaktorok	max 1 A	–	Ag Ag/Ni–99,85/0,15% Ag/Cu–(3...10% Cu)
	1...6 A	–	Ag/Cu–(3...10% Cu) Ag/Ni–(10...40% Ni) Ag/Ni–99,85/0,15% Aszimmetrikus kombinációk: Ag szemben Ag/Ni–(10...40% Ni) Cu szemben Ag/Ni–(10...40% Ni)
	6...20 A	–	Ag/Cu–(3...10% Cu) Ag/Ni–(10...20% Ni) Ag/CdO–90/10% Aszimmetrikus kombinációk: Ag szemben Ag/Ni–(10...30% Ni) Ag/Cu–(3...10% Cu) szemben Ag/Ni–(10...30% Ni) Ag/CdO–(10...15% CdO) szemben Ag/Ni–(10...30% Ni)
	20 A-nél nagyobb	–	Ag/CdO–(10...15% CdO) Ag/SnO ₂ +In ₂ O ₃ –88/12% Ag/ZnO–92/8% Aszimmetrikus kombinációk: Ag/CdO–(10...15% CdO) szemben Ag/Ni–(10...20% Ni)
Megszakítók	63 A-ig	3000 A-ig	Ag/CdO–(10...15% CdO) Ag/ZnO–92/8%
	200 A-ig	10 000 A-ig	Ag/ZnO–92/8% Ag/W–(50...70% W) Ag/Mo–(50...70% Mo) Aszimmetrikus kombinációk: Ag/Ni–(max 40% Ni) szemben Ag/C–(max 5% C) Cu–szemben Ag/C–(max 5% C)
	630 A-ig	25 000 A-ig	Ag/W–(50...70% W) Ag/Mo–(50...70% Mo) Ag/C–(2...10% C) Ag/WC–(40...70% WC)

3. Az aszimmetrikus érintkezőrendszerek előnyei

Az érintkezők élettartamának növelése érhető el azáltal, ha az íverózió hatására megolvadt, és elgőzölgött fém egy részét valamilyen módon vissza tudjuk nyerni. A takarékhataás annál jelentősebb, minél több fémgőz kondenzálódik az érintkezők felületén, valamint minél irányítottabb az ívoszlopon belüli anyagvándorlás a két érintkező között. Ebből a szempontból fontos szerepet játszik az érintkezők anyaga. Korábbi munkáinkban [4], [7] kimutattuk, hogy azonos kapcsolási paraméterek mellett AgCdO érintkezők esetén 15...20%-kal több érintkezőanyag nyerhető vissza, mint színezüst érintkezők esetén. Felismertük, hogy a takarékhataás tovább növelhető, ha a kapcsolók szembenálló érintkezőit más-más anyagból készítjük, azaz az érintkezőket a fémgőzök keletkezése és kondenzációja szempontjából előnyösen párosítjuk. A különféle érintkezőanyagok párosításakor az érintkezők fizikai tulajdonságait, az ívplazma paramétereit, a kapcsolási paramétereket és az alkalmazott ívöltási módot kell figyelembe venni. Az anyagvándorlási folyamat oly módon játszódik le, hogy az egyik érintkező anyaga kitüntetett módon átvándorol a másik érintkezőre és – azt mintegy befedve – a további kapcsolások során egyedül vesz részt a kapcsolási folyamatokban. Megállapítottuk, hogy ha színezüst megfelelő többalkotós fémötvözetrel vagy fémkompozícióval állítunk szembe, akkor az anyagviszanyerés akár két-háromszorosára is fokozható, ami azonos mértékű anyagmegtakarítást jelent [3].

Különböző készüléktípusokhoz határoztuk meg a minden szempontból optimális érintkezőanyag-párosítást. Kiterjedt mérési sorozatokkal azt kívántuk meghatározni, hogy a korábbiakban ismertett új, korszerű érintkezőanyagok milyen párosításban adják a legkevesebb nemesfém-felhasználás mellett a legjobb paramétereket a különféle kapcsolókészülékek esetében.

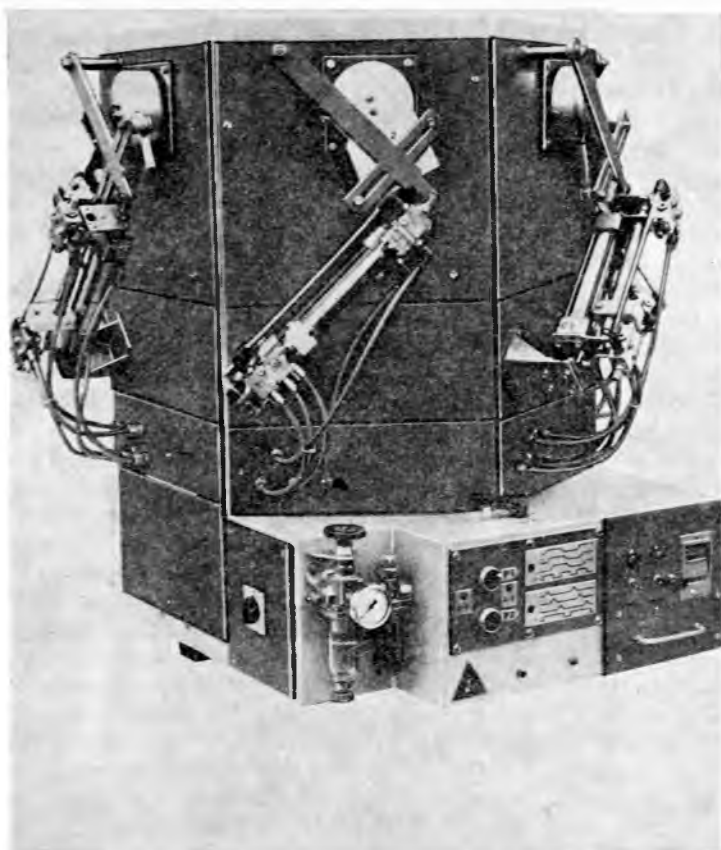
Hazai és külföldi kontaktorokkal végzett vizsgálatok egyértelműen igazolták, hogy a névleges áramtól függően a legjobb eredményeket az Ag–AgNi, ill. az AgCdO–AgNi párosítás adja (l. a 21-2. táblázatot). A többalkotós anyagok %-os összetétele a konstrukciótól függően változtatandó.

Dobozkapcsolók (installációs kapcsolók) esetében más célt tűztünk ki. Azonos vagy kevesebb nemesfém-felhasználás mellett a névleges áramot kívántuk növelni pl. 6 A-ról 10 A-re. A készülékek jellegéből adódóan (az érintkezők pattogása sokkal jelentősebb, mint kontaktoroknál) az Ag–AgCdO párosítás adja a legjobb eredményt. Ebben a mérési sorozatban is jelentős szerepet játszott a AgCdO érintkező százalékos összetételén kívül az érintkezőanyag gyártástechnológiája.

Vizsgálatokat végeztünk kismegszakítókkal is, amelyeknél a működési módból adódóan egészen mások a követelmények. A viszonylag kis működési gyakoriság miatt, az érintkezőanyag jó íverózió-állósága mellett fontos szempont a kis átmeneti ellenállás. Legjobb eredményeket Cu–AgC (3% C tartalom) és ezüst–bronz (6% Ag-tartalom) érintkezőpárosításokkal kaptunk.

A kézikapcsolókkal (pl. görgőskapcsolókkal) végzett vizsgálatok azt mutatták, hogy az eredeti szimmetrikusan színezüst érintkezőkhöz képest Ag–AgNi (20% Ni-tartalom) párosítás esetén 20...25% ezüst takarítható meg.

Az élettartam-vizsgálatok igen hosszú időt vesznek igénybe, és a mérési eredmények viszonylag nagy szórása miatt több azonos típusú kapcsolót kell vizsgálni. A vizsgálatok lefolytatása különösen kézi működtetésű kapcsolók esetében bonyolult, ezért a kézi működtetést modellező, villamosan vezérelhető elektropneumatikus működtetőberendezést fejlesztettünk ki (21-1. ábra). Az egyidejűleg hat készülék működtetésére alkalmas szerkezet pneumatikus hengereivel a működési sebesség egyenként és mindkét irányban külön-külön szabályozható. A kapcsolási időarány

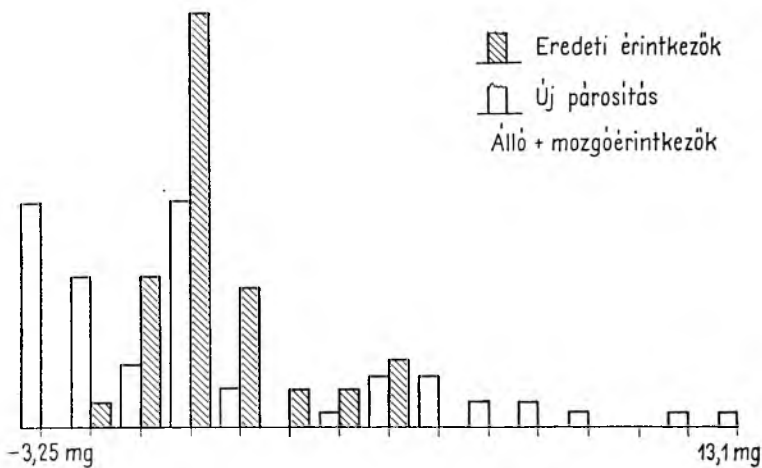
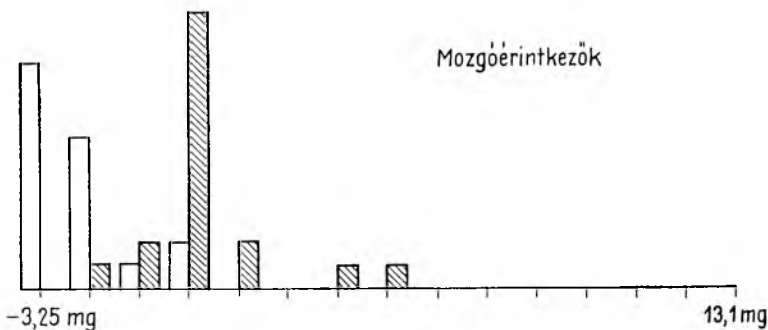
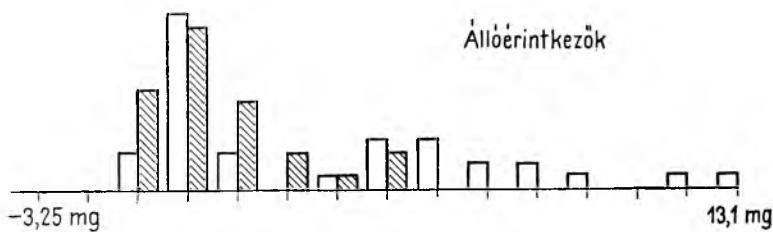


21-1. ábra. Elektropneumatikus vezérlésű
élettartam-vizsgáló berendezés görgőskapcsolók számára

és a kapcsolási gyakoriság időrelékkel állítható, ami lehetővé teszi tetszőleges vizsgálati paraméterek beállítását.

Példaképpen bemutatjuk az egyik görgőskapcsoló-típus mérési eredményeit. A vizsgálóáramkör paraméterei a következők voltak: $U = 380 \text{ V}$, $I_{\text{eff}} = 25 \text{ A}$, $\cos\varphi = 0,86$. A működtetés szögsebessége bekapcsoláskor $3,94 \text{ 1/s}$, kikapcsoláskor $3,83 \text{ 1/s}$. Az összehasonlíthatóság érdekében egyidejűleg vizsgáltunk eredeti (színezüst) és aszimmetrikus (Ag–AgNi) érintkezőrendszerekkel szerelt készülékeket.

Az élettartam-vizsgálatok mindkét típus esetében sikeresek voltak. A kitézött $100\,000$ kapcsolás elvégzése előtt és után minden álló- és mozgóérintkezőn súlymérést végeztünk, és meghatároztuk az átlagos anyagfogyasztást és a fogyás szórását külön az álló- és mozgóérintkezőkre, valamint a kettőre együtt. A számított szórások igen nagy értéke miatt megvizsgáltuk az anyagfogyás statisztikus eloszlását. A 21-2.



21-2. ábra. Görgőskapcsolók anyagfogyásának eloszlása

ábrán bemutatjuk az eloszlás diagramjait. Tizenöt egyenlő intervallumra osztottuk a minimális és maximális anyagfogyási érték által határolt tartományt. A diagramok az egyes intervallumokra eső anyagfogyási gyakoriságot mutatják külön az eredeti és külön a nemesfém-takarékos érintkezőkkel szerelt kapcsolókra. Látható, hogy az Ag–AgNi párosítás kedvezőbb tendenciájú, bár néhány esetben kiugróan nagy fogyasztást is mértünk. Tekintve, hogy az anyagvándorlási jelenségek pontosabb

vizsgálata csak lényegesen nagyobb számú kapcsolás alapján lehetséges, a kutatás további irányvonalát úgy tűztük ki, hogy minél gyorsabb választ tudjunk adni alkalmazástechnikai kérdésekre. Az elméleti módszerek fejlesztése mellett olyan mérési eljárásokat dolgozunk ki, ill. alkalmazunk, amelyek lehetővé teszik egyrészt az anyagvándorlási folyamatok hátterének jobb megismerését, másrészt kis kapcsolási szám alapján is megfelelő anyagfogyási prognózist adnak. Ennek megfelelően kiépítés alatt áll egy számítógép-vezérlésű, komplex mérőrendszer, amely modell érintkezők élettartam jellemű és egyéb speciális célú méréseit (spektroszkópiai hőmérsékletmérés, interferometrikus sűrűségmérés, tömegspektrométeres anyagvizsgálatok stb.) teszi lehetővé. Ezzel egyidejűleg természetesen fejlesztjük a gyári készülékekkel elvégezhető élettartam-vizsgálati lehetőségeket is, hiszen az elvi megfontolások konkrét készülékekre történő igazolása elengedhetetlen.

4. Következtetések

Az erősáramú kapcsolókészülékekhez évente felhasznált több 10 t ezüst, ill. ezüst alapú érintkezőanyag közel 30%-a megtakarítható, ha alkalmazzuk a legújabb kutatási eredményeket és az egyes készüléktípusokhoz a legkorszerűbb elvek alapján választjuk ki a megfelelő érintkezőanyagot és konstrukciót. Célszerű hazánkban összegyűjteni az igen sok felé gyártott kapcsolókészülékekhez jelenleg használatos érintkezőanyagok fajtáit, mennyiségét és az igényelt műszaki paramétereket. Az adatok birtokában a helyesen méretezett megoldások tipizálása és a leggazdaságosabb gyártóhely kijelölése az import ezüst-, ill. ezüst alapú érintkezők igen jelentős megtakarítását, valamint megbízhatóbb kapcsolókészülék gyártását eredményezné. Ilyen irányú tevékenységet fejt ki Intézetünk, ezt a kezdeményezést támogatja az Ipari Minisztérium és az OMF. Jelentős előrelépést jelent, hogy az Állami Pénzverő hajlandóságot mutat a hazai érintkezőanyag-előállítás megjavítására, a korszerűbb anyagok gyártásának bevezetésére és kész érintkezőrendszerek előállítására. Ez utóbbi tevékenység megindításával nemcsak jelentős nemesfém-megtakarítást fogunk elérni, hanem megszüntethető az érintkezők felerősítésével kapcsolatos tőkés import is.

Irodalom

- [1] ICECP '80 Proceeding of the Tenth International Conference on Electrical Contact Phenomena. Budapest, Hungary, 1980.
- [2] 11. ITK Elektrische Kontakte 1982. VDE – Verlag GmbH Berlin, Offenbach.
- [3] Érintkezőelrendezés kapcsolókészülékekhez. 166332 sz. magyar szabadalom. VKI szolgálati találmány.
- [4] *Dr. Néveri I.*: Kiszűrésű kontaktorok megbízhatóságának növelése az érintkezőanyagok megfelelő párosításával. VKI Közleményei 6. kötet. Bp., 1977., 255. old.
- [5] *Dr. Madarász Gy.*: Fejlődés az ezüst alapú érintkezők területén. Elektrotechnika 75 évf., 1982. 4. sz., 126. old.
- [6] *Szalay A. – Puskás G.*: Nemesfém-takarékos érintkezőanyagok előállítása robbantásos plattírozással. VKI Közleményei 8. kötet Bp., 1982., 171. old.
- [7] *Dr. Néveri I.*: Proper Pairing of Different Contact Materials for Increasing the Reliability of Low-Voltage Switches Proc. of the 8 th Int. Conf. on Electrical Contact Phenomena Tokyo, Japan, 1976.

22. 12 kV-os vákuumkontaktor

DR. POLGÁR TIBOR – SZAUTER FERENC

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatjuk a VBKM Transzvíll Gyár megrendelésére a gyárral együttműködésben kialakított, 12 kV névleges feszültségű, 250 A névleges áramú vákuumkontaktort. Ismertetjük az ívöltőkamra-fejlesztéssel kapcsolatos vizsgálati módszereket és eredményeket, valamint az oltókamra szerkezeti kialakításának szempontjait. Közöljük a kontaktor legfontosabb működési jellemzőit bemutató vizsgálati eredményeket és a kontaktor műszaki paramétereit. Végül foglalkozunk a továbbfejlesztés aktuális kérdéseivel: mint tokozás, zárlatvédelem.

ВАКУУМНЫЙ КОНТАКТОР НА НАПРЯЖЕНИЕ 12 КВ

Др. Т. Полгар—Ф. Саутер

Резюме

В статье представляется вакуумный контактор, разработанный по заказу завода ВБKM Трансвилл в сотрудничестве с заводом на номинальное напряжение 12 кв и номинальный ток 250 а. Описываются испытательные методы и результаты, связанные с совершенствованием дугогасительной камеры а также соображения по структурному оформлению гасительной камеры. Сообщаются результаты испытания важнейших рабочих характеристик и технические параметры контактора. Наконец, излагаются актуальные вопросы усовершенствования контактора, в том числе защита короткого замыкания и футировка.

12 KV-VAKUUMSCHÜTZ

DR. T. POLGÁR – F. SZAUTER

Zusammenfassung

In dem Artikel wird der Vakuumschutz mit einer 12 kV Nennspannung und einem 250 A Nennstrom vorgestellt, der auf Grund eines Auftrages der VBKM-Transzvíll-Fabrik in Zusammenarbeit mit dieser Fabrik entwickelt wurde. Es werden die Prüfmethoden und Ergebnisse bezüglich der Entwicklung der Lichtbogenlöschkammer, sowie die Aspekte zur konstruktiven Gestaltung der Löschkammer erörtert. Es werden die Prüfergebnisse bezüglich der wichtigsten Funktionscharakteristiken des Schützes behandelt. Es werden die technischen Parameter des Schützes bekanntgegeben. Schliesslich wird auf die aktuellen Fragen der Weiterentwicklung wie Kapselung, Kurzschlußschutz eingegangen.

Summary

The paper presents a vacuum contactor for 12 kV rated voltage and 250 A rated current, developed in cooperation with the VBKM Transzvíll Factory. Test methods and results associated with the development of a vacuum chamber and the considerations of its structural details are described. The test results presenting the principal functional characteristics of the technical parameters of the contactor are specified. Finally, a discussion of topics of further improvements is presented, such as enclosure short-circuit protection etc.

1. Előzmények

A VKI-ban a vákuumkontaktorok kutatása és fejlesztése több, mint tízéves múltra tekint vissza. A hazai vákuumtechnológiai lehetőségeket kihasználva már 1973-ban – számos fejlett iparral rendelkező európai országgal gyakorlatilag egyidőben – megalkottuk a vákuum-ivoltókamrák első kísérleti példányait.

A kedvező eredmények lehetővé tették a közvetlen ipari célú fejlesztések megkezdését is. Első ízben a Ganz Kapcsolók és Készülékek Gyára számára, velük és az Egyesült Izzó RT Kutató Intézetével együttműködve kidolgoztunk egy 3000 V névleges feszültségig alkalmazható vákuumkontaktort, elsősorban bányászatban való felhasználásra. A gyár által adaptált, VK-02 típusjelű kontaktor a laboratóriumi és ipari próbaüzemi vizsgálatokon egyaránt jól bevált, és a felhasználók körében jelentős sikert ért el.

Az első magyar vákuumkontaktor sikere igazolta, hogy a hazai technológiai adottságok lehetővé teszik e korszerű kapcsolókészülék megbízható gyártását, és a felhasználók elismerik és igénylik a vákuumkontaktorok nyújtotta jelentős műszaki előnyöket.

A fejlesztés során szerzett tapasztalataink azt mutatták, hogy nagyobb névleges feszültségű vákuum-ivoltókamrák és vákuumkontaktorok kidolgozására is megvannak a műszaki lehetőségeink. Másrészt az időközben elvégzett műszaki gazdasági elemzések eredményei szerint 7,2 kV és 12 kV névleges feszültségen is jelentős hazai igény van motorkapcsolókra. Jelenleg e célra főleg kisolajterű megszakítókat vagy importból beszerzett légkontaktorokat használnak, amelyek gyakran már jelenleg sem, de perspektivikusan különösen nem tudják kielégíteni az egyre fokozódó műszaki követelményeket.

Mindezek figyelembevételével szükségessé és lehetségessé vált egy új, közepesfeszültségű vákuumkontaktor-típus kifejlesztése, amelyet a VBKM Transzvíll Gyár megbízásából 1978...1980 között végeztünk el. A fejlesztés során először megfelelő előkísérletekre támaszkodva kidolgoztuk a vákuum-ivoltókamrát, meghatároztuk a működtetéshez szükséges paramétereket, és ezek birtokában a Transzvíll Gyár szakemberei kifejlesztették a kontaktor hajtását.

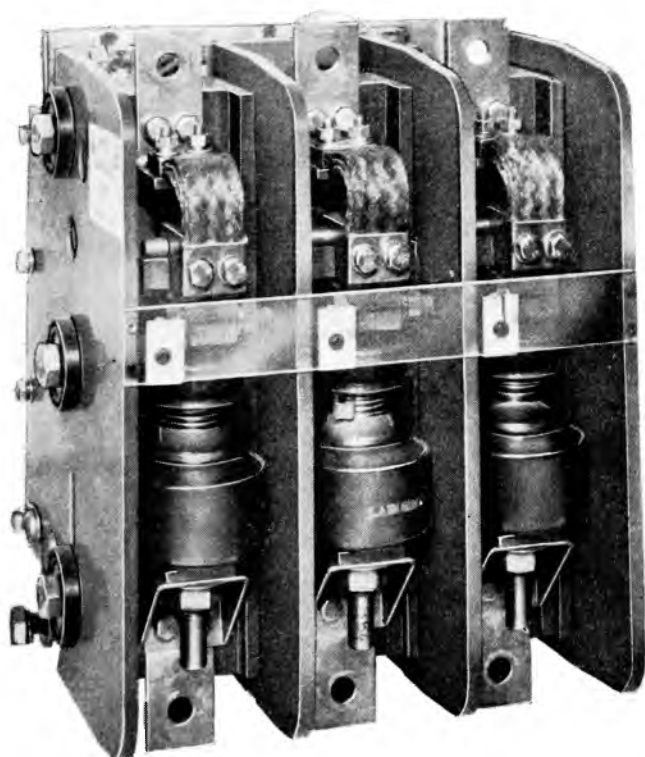
A következőkben áttekintést adunk a fejlesztési munka néhány részeredményéről, az ellenőrző vizsgálatokról, majd bemutatjuk az új vákuumkontaktort.

2. A vákuum-ívoltókamra fejlesztése

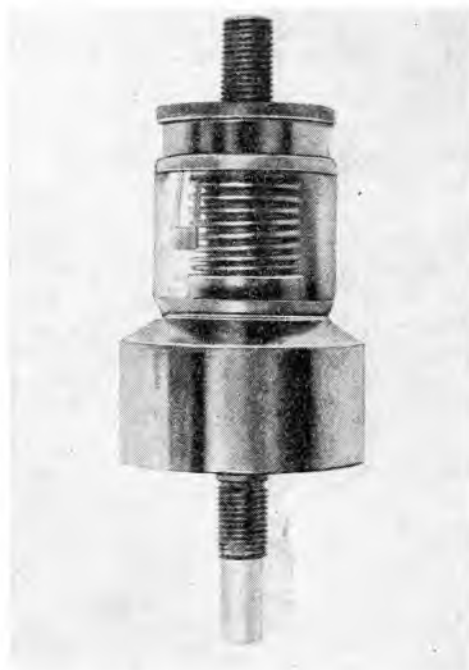
A 12 kV névleges feszültségű vákuum-ívoltókamra fejlesztése során a 3 kV névleges feszültségű vákuumkontaktor ívoltókamra-kutatási munkáinak eredményeit is figyelembe vettük. Két különböző konstrukciójú ívoltókamra-típust alakítottunk ki.

Az egyik kísérleti ívoltókamra-elrendezés a 3 kV névleges feszültségű vákuumkontaktorok számára kidolgozott vákuum-ívoltókamra módosított változata volt. Az eredeti konstrukciót az ívoltókamra üvegből készült szigetelőfalának és a mozgóérintkező-tartónak a meghosszabbításával alakítottuk át a 12 kV-os előkísérletek számára. A kísérleti ívoltókamra a 22-1. ábrán látható. A kondenzációs ernyő a 3 kV névleges feszültségű ívoltókamráéval megegyezően labirintusszerű kialakítású volt, belső elemei nikkelből készültek. A belső kondenzációs ernyő a mozgóérintkezőhöz, a külső az állóhoz rögzítve, azokkal azonos potenciálra került. Az ívoltókamrák egy részébe WCu 65/35, másik részébe WCuSb 65/31/4 összetételű érintkezőanyagot építettünk.

E kísérleti ívoltókamra-elrendezéssel részint párhuzamosan, részint az azzal végzett előzetes vizsgálatok tapasztalatait figyelembe véve egy másik – a fentitől teljesen eltérő elrendezésű ívoltókamra-típust is kialakítottunk. Előzetes számítások és vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy nagy villamos teljesítmények megszákítása 10 kV-nál nagyobb feszültségen sikeresebben végezhető – adott kubatúra mellett



22-1. ábra. Az érintkezők potenciálján levő, kondenzációs ernyővel épített kísérleti ívoltókamra



22-2. ábra. A független potenciálon levő, kondenzációs ernyővel épített kísérleti ivótkamra

— olyan ivótkamra-elrendezésben, amely független potenciálon levő kondenzációs ernyővel készül. A független potenciálon levő kondenzációs ernyő beépítési technológiájának kidolgozásához az EIVRT Kutató Intézetének közreműködésével számos alapkísérletet végeztünk. A kondenzációs ernyőt — az előkísérletek alapján — az üvegből készült kamrafal beszúrásával kialakított körkörös támaszon rögzítettük. Az érintkezőkkel egytengelyű, harangszerűen kiöblösödő ernyőt három, különböző átmérőjű hengerből alakítottuk ki. A gettert a legkisebb átmérőjű részhez rögzítettük. Aktiválása nagyfrekvenciás hevítéssel az ivótkamra felépített állapotában, szivattyúzás közben végezhető. Az ernyő középső része veszi körül a nyitott érintkezők között égő villamos ívet. Kónuszosan csatlakozik a legnagyobb átmérőjű ernyőrészhez. Utóbbi a csőmembránt védő ernyővel labirintust képezve akadályozza a fémgőzök kijutását az üvegfalra. A kondenzációs ernyő belső felületét az érintkezőfém gőzeinek optimális kötődését biztosító szemcsefelületűre érdesítettük. Az ivótkamra méreteinek meghatározásakor a számításokkal egyenrangú szerepet játszottak az előzetes mérések tapasztalatai, valamint a technológiai adottságok. Az említett ivótkamra elrendezése a 22-2. ábrán látható. A független potenciálon levő kondenzációs ernyővel épített kísérleti ivótkamrákat WCuSb 65/31/4, MoCuSb 65/31/4, FeCuSb 70/26/4 összetételű érintkezőkkel szereltük, míg a kondenzációs ernyő anyagául nikkelt és rozsdamentes acélt alkalmaztunk.

3. A működtetőmechanizmus fejlesztése és az optimális ívöltókamra kiválasztása

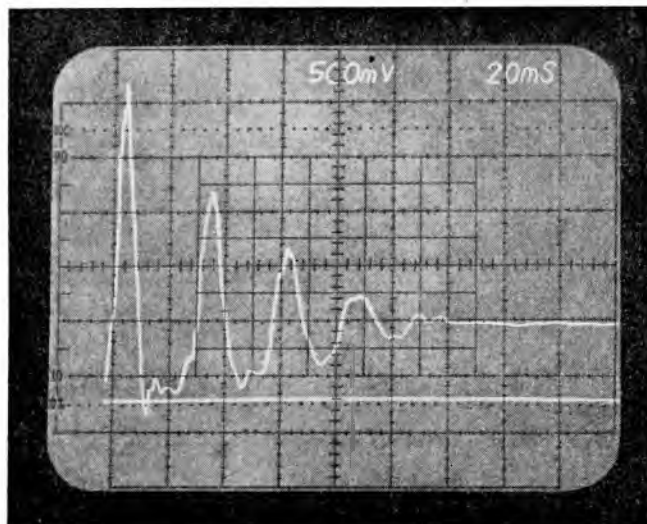
A 2. pontban ismertetett ívöltókamra-elrendezések előzetes vizsgálatához, valamint az ívöltókamrákat működtető hajtásmechanizmus fő paramétereinek meghatározásához egyfázisú működtetőmechanizmust terveztünk és építettünk. Utóbbi az érintkező-nyomóerő, az érintkező-leszakítóerő (statikus és dinamikus), az érintkezőnyitás és az érintkezőtúlhúzás változtatását tette lehetővé. Egyfázisú kapcsolóképeség-vizsgálatokkal, amelyek az ívöltókamrák feszített igénybevételű előzetes szelektáló vizsgálatát jelentették, egyúttal meghatároztuk a működtetőmechanizmus fő mechanikai paramétereit.

A 22-3. ábrán a statikus és dinamikus érintkező-leszakítóerő meghatározására szolgáló oszcillogramfelvételt, a 22-4. ábrán kikapcsolási út– idő diagramot, a 22-5. ábrán pedig bekapcsolási út– idő diagramot mutatunk be.

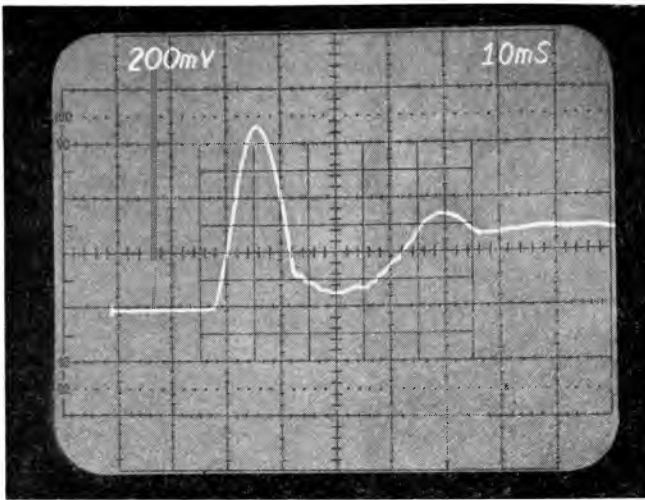
Az előkísérletek alapján a háromfázisú hajtásmechanizmus célszerűen megvalósítandó működési paramétereit meghatároztuk. Ezek a következők:

Érintkező bekapcsolási sebessége:	0,5...0,6 m/s.
Érintkező elválási sebessége:	0,7...0,9 m/s.
Statikus érintkező-leszakítóerő:	min 190 N/fázis.
Dinamikus érintkező-leszakítóerő:	600...1200 N/fázis.
Érintkező nyitási távolsága:	4 mm.
Túlhúzás:	2 mm.
Megengedhető érintkezőfogyás:	max 3 mm.
Nyitóirányú érintkezőtúllendülés:	max 1 mm.
Záróirányú érintkező túllendülés:	max 2 mm.
Érintkező-nyomóerő:	min 85 N.

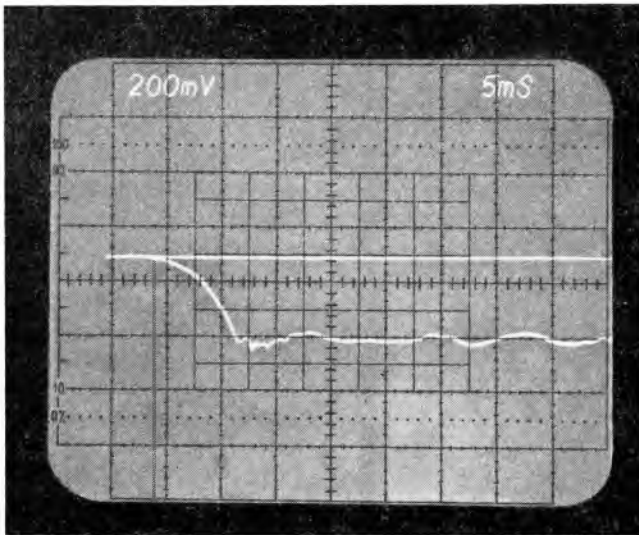
Az egyfázisú kapcsolóképeség-vizsgálatok során a legkedvezőbb tulajdonságokat a független potenciálon levő kondenzációs ernyővel épített FeCuSb 70/26/4



22-3. ábra. Statikus és dinamikus érintkező leszakítóerő (lépték 250 N/div)



22-4. ábra. Kikapcsolási út – idő diagram (lépték 2 mm/div)



22-5. ábra. Bekapcsolási út – idő diagram (lépték 2 mm/div)

összetételű érintkezőkkel szerelt ivótokamrák mutatták. Fentiek a villamos szilárd-ság, valamint a melegedésvizsgálat feltételeinek is eleget tettek. A 3 kV névleges feszültségű ivótokamrák módosításával nyert ivótokamra-elrendezés kísérleti darabjai a kapcsolóképesség-vizsgálat során meghibásodtak.

Az előkísérletek eredményei alapján a VBKM Transzvill Gyára elkészítette a háromfázisú hajtásmechanizmust és az EIVRT Kutató Intézetében véglegesítették az ivótokamra-konstrukciót, amely független potenciálon levő ernyőt és FeCuSb 70/26/4 összetételű érintkezőt tartalmaz. A kondenzációs ernyő anyagául a rozsdá

mentes acélt (nem ferromágneses anyag) választottuk, hogy a lezárt ivótokamrák vákuumszintjének meghatározásához a magnetronos mérési módszer alkalmazható legyen.

A fentiek alapján készített ivótokamrákból és hajtásmechanizmusból épített vákuumkontaktorokkal végzett ellenőrző mérések eredményeit a 4. pontban foglaljuk össze.

4. A vákuumkontaktor ellenőrző vizsgálatai

A vákuumkontaktor négy kísérleti példányán először laboratóriumi ellenőrző vizsgálatokat végeztünk. Ennek során szabványos típusvizsgálatot, és a működési viszonyok szempontjából fontos speciális vizsgálatokat hajtottunk végre.

A szabványos típusvizsgálatot megfelelő magyar szabvány hiányában az IEC Publ. 470–74 szerint AC3 alkalmazási csoportra végeztük el.

A legnagyobb, ill. a legkisebb megszakítási árammal végrehajtott kikapcsolóképesség-vizsgálatról mutatunk be egy-egy jellemző felvételt a 22-6. ábrán.

A termikus és dinamikus határáram-vizsgálatra az idézett IEC ajánlás konkrét értékeket nem ad meg. A vákuumkontaktorra $10 \text{ kA}_{\text{eff}} 1 \text{ s}$ termikus határáramot és $25 \text{ kA}_{\text{cs}}$ dinamikus határáramot irányoztunk elő. A mechanikai élettartam-vizsgálatot 10^6 kapcsolásig végeztünk, 600/h kapcsolási gyakorisággal, 30% bi mellett.

A speciális vizsgálatok sorában villamos élettartam-vizsgálatot végeztünk 12 kV, 250 A-es, 0,35 fázistényezőjű induktív áramkörben, továbbá a vákuumkontaktoroknál kritikusnak tartott áramlevágás és kapcsolási túlfeszültség-méréseket végeztünk. A kapcsolási túlfeszültségeket a terhelés sarkain mértük. A kontaktor a célszerűen megválasztott érintkezőanyag következtében viszonylag kis áramlevágást okoz. A 83 A független áramnál mért kapcsolási túlfeszültség alig nagyobb a visszatérő feszültség csúcserékénél, míg a 18 A független áramnál legfeljebb 25 kV-ot ér el. Az utóbbi is azonban kb. a felére csökkenthető, ha a terheléssel 0,1 μF -os kondenzátort kapcsolunk párhuzamosan.

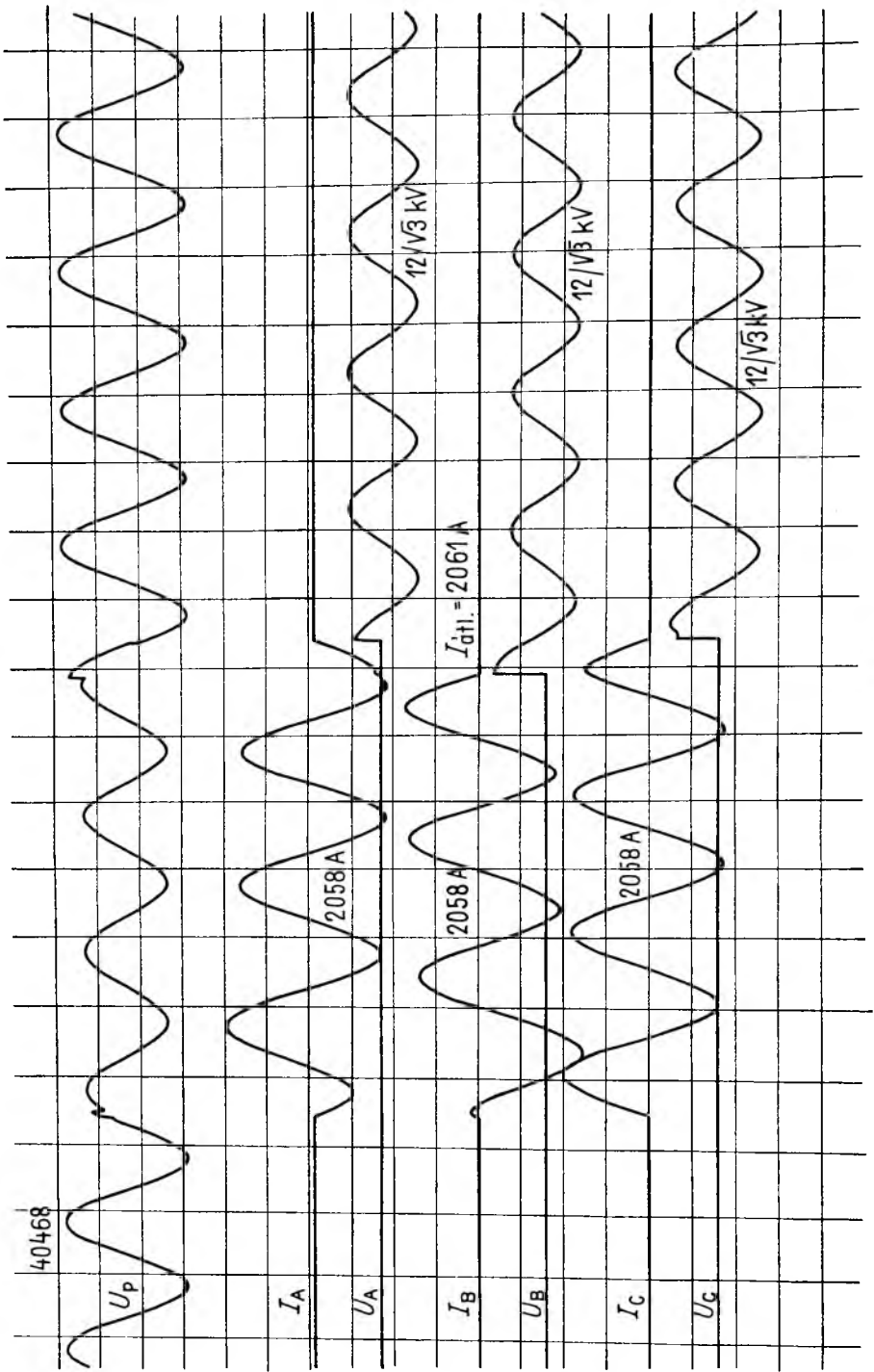
A típusvizsgálati előírásokat, valamint a speciális vizsgálatok előírányozott követelményeit a kísérleti kontaktorok sikeresen teljesítették.

A laboratóriumi vizsgálatokat ipari próbákkal is kiegészítjük, amelynek során 6 és 10 kV-os motorok kapcsolását végzik a kontaktorok. A próbák már megkezdődtek, és ezideig hiba nélkül folynak.

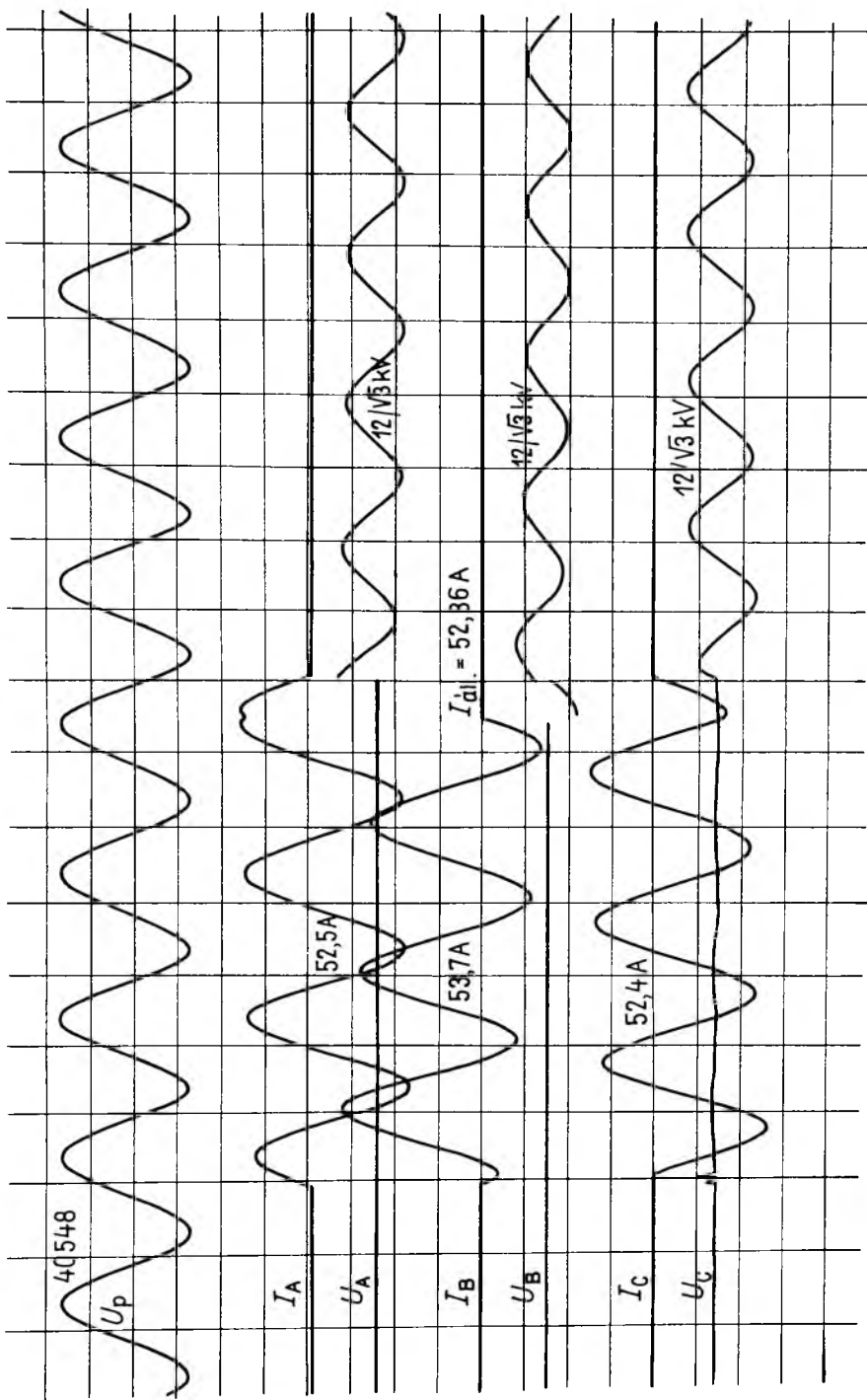
5. Műszaki adatok

A VBKM Transzvill Gyár által már prototipizált vákuumkontaktort V12/250 típusjellel látták el. Fényképét a 22-7. ábra mutatja. A készülék legfontosabb műszaki paraméterei a következők:

Névleges feszültség:	12 kV/50 Hz.
Névleges áram:	250 A.
Bekapcsolóképesség:	2000 A.
Kikapcsolóképesség:	2000 A.
Termikus határáram:	10 kA, 1 s.
Dinamikus határáram:	25 kA _{cs} .
Alkalmazási csoport:	AC-3.
Kapcsolási gyakoriság:	600/h, 60% bi.
Működtetőfeszültség:	220 V ₋ .

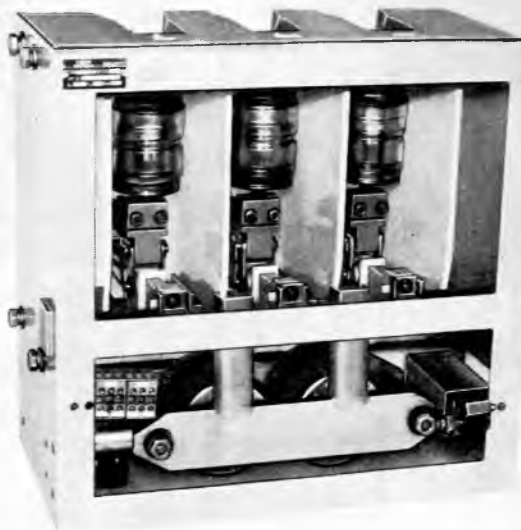


a)



b)

22-6. ábra. Kapcsolóképesség-vizsgálat során készített jellemző oszcillogramfelvételek
 a) legnagyobb megszakítási árammá; b) legkisebb megszakítási áramnál



22-7. ábra. 12 kV, 250 A-es vákuumkontaktor

Működtetőáram: 1,25/0,38 A.
A kontaktor tömege: 36,5 kg
Az oltókamra tömege: 500 g
Érintkező-nyomóerő
 lényomásból: 65...85 N,
 külső rugóerő: min 20 N.
Érintkezők nyitása: 4 mm.
Max érintkezőfogyás: 3 mm.
Mechanikai élettartam: 10^6 kapcsolási játék.

Végül megjegyezzük, hogy a villamos élettartam-vizsgálatok még folyamatban vannak. Az érintkezők (ill. ivoltó kamrák) várható villamos élettartama névleges áramnál legalább $5 \cdot 10^5$ kapcsolási játék.

6. További fejlesztési célkitűzések

A VI2/250 típusú vákuumkontaktor kedvező termikus és dinamikus határárama lehetővé teszi, hogy olvadóbiztosítóval és esetleg túláramkioldóval ellátva komplett középvezetési motorvédelmi leágazásokat készítsünk. Első lépésként megkezdjük – ugyancsak a VBKM Transzvíll Gyárral együttműködve – az olvadóbiztosítóval kombinált vákuumkontaktor fémtokozott kivitelének kifejlesztését. A fejlesztési célkitűzés szerint az egybeépített kontaktor–biztosító kombináció dugaszolhatóan csatlakozik a tokba, ami egyúttal a leágazás szakaszolását is megoldja. Hazai gyártmányú olvadóbiztosítóval ez idő szerint 100 A névleges áramú, import olvadóbiztosító alkalmazásával 250 A névleges áramú leágazás készíthető.

23.

Áramkorlátozó kismegszakítók kapcsolási tulajdonságainak elemzése zárlati áram megszakításakor

CSÁNYI ISTVÁN – KŐHALMY SÁNDOR

ÖSSZEFOGLALÁS

Az áramkorlátozó kismegszakítóknál zárlati áramkör megszakításakor lejátszódó fizikai folyamatok elemzése és matematikai modellezése. A megszakítási folyamatot leíró differenciálegyenlet megoldásához szükséges paraméterek meghatározása zárlati mérések alapján.

A megoldás során kapott eredmények kiértékelése és felhasználása az áramkorlátozó kismegszakítók fejlesztési munkáiban.

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫКЛЮЧЕНИЯ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РАЗМЫКАТЕЛЕЙ ПРИ ОТКЛЮЧЕНИИ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

И. Чаны — Ш. Кехалми

Резюме

Анализ и математическое моделирование физических процессов, происходящих в токоограничивающих размыкателях при отключении токов короткого замыкания. Определение параметров, необходимых для решения дифференциального уравнения, описывающего процесс размыкания с помощью измерений при коротких замыканиях.

Оценка полученных в процессе решения результатов и их применение в работах по совершенствованию токоограничивающих размыкателей.

ANALYSE DER SCHALTEIGENSCHAFTEN VON STROMBEGRENZENDEN LEITUNGSSCHUTZSCHALTERN BEIM UNTERBRECHEN DES KURZSCHLUSSTROMES

I. CSÁNYI – S. KŐHALMY

Zusammenfassung

Die Analyse und mathematische Modellierung derjenigen physikalischen Prozesse, die sich beim Unterbrechen des Kurzschlussstromes in den strombegrenzenden Leitungsschutzschaltern abspielen. Die Ermittlung der Parameter zur Lösung der Differentialgleichung von dem Unterbrechungsvorgang aufgrund der in Kurzschlussstrom Kreisen durchgeführten Messungen.

Auswertung der erhaltenen Ergebnisse und deren Anwendung bei den Entwicklungsarbeiten der strombegrenzenden Leitungsschutzschaltern.

Summary

Analysis and mathematical modelling of physical processes occurring in current-limiting miniature circuit breakers at the interruption of short-circuit current. Determination of parameters based on short-circuit tests, required for solving the differential equation describing the process of the interruption. Evaluation of results obtained in the course of solution, and their application for the development of current-limiting miniature circuit breakers.

1. Bevezetés

A kismegszakítók fogyasztói hálózatokban alkalmazott legkorszerűbb zárlatvédő eszközök az áramkorlátozó kismegszakítók. Az olvadóbiztosítók működéséhez hasonlóan az áramkorlátozó kismegszakítók a zárlati áram kialakulását követően nagyon rövid idő alatt (kb. 1-2 ms) működni kezdenek, és a zárlati áramot a csúcserőtelenség elérése előtt megszakítják, ezzel erősen korlátozzák a zárlati áram okozta termikus és dinamikus hatásokat a hagyományos ívoltású kismegszakítókhoz viszonyítva, amelyeknél ki tud alakulni a maximális zárlati áram, és a megszakítás csak az áram nullátmenete után következik be.

A fejlett ipari országokban már több éve gyártanak és használnak 3 kA feletti megszakítóképesességű áramkorlátozó kismegszakítókat, általában 10 kA megszakítóképesességig. Hazánkban az elmúlt évben az ELCO Villamos Készülékek és Szerelési Anyagok Gyára kezdte meg a svájci Weber cég licence alapján a 6 kA megszakítóképesességű, SA 168 típusú áramkorlátozó kismegszakítók gyártását.

A Bakony Művek megbízása alapján a Villamosipari Kutató Intézetben 1980-ban kezdtük meg a 6, ill. 10 kA megszakítóképesességű, többféle névleges áramerősségű áramkorlátozó kismegszakítók sorozatának kifejlesztését.

A kutatási–fejlesztési munka első szakaszában kísérleti modellt készítettünk, amelynek segítségével mérésekkel meghatároztuk a 6, ill. 10 kA megszakítóképesességű kísérleti kismegszakítók kialakításához szükséges villamos és mechanikai paramétereket. Ezt követően a BS típusú kismegszakítók továbbfejlesztésével kialakítottuk a 35 A névleges áramerősségű, 6, ill. 10 kA megszakítóképesességű, kísérleti áramkorlátozó kismegszakítókat.

A kismegszakítók fejlesztése a készülékekben lejátszódó bonyolult mechanikai és villamos folyamatok miatt jobbra kísérleti úton történik. A gyorsabb és elméletileg megalapozottabb kutatási–fejlesztési munka érdekében a konstrukciós munkák mellett szükségessé vált a kapcsolókban a zárlati áramkör megszakításakor lejátszódó fizikai folyamatok elemzése és matematikai modellezése.

2. Áramkorlátozó kismegszakítók működési és kapcsolási folyamata

Az áramkorlátozó kismegszakítók kapcsolási folyamatát legátfogóbban Niemayer [1] elemzi, aki egyszerű fizikai modellen túlmenően számítógépes eljárással vizsgálta a kapcsolók konstrukciós és ívoldási paramétereinek a kapcsolási viszonyokra gyakorolt hatását.

Az általunk kifejlesztett kísérleti áramkorlátozó kismegszakítók (továbbiakban kapcsolók) kapcsolási folyamatának elemzésénél a Niemayer által ismertetett fizikai és matematikai modellből indulunk ki.

A kapcsolókban zárlati áramkör megszakításakor lejátszódó fizikai folyamatokat időrendben alapvetően négy szakaszra oszthatjuk:

1. A gyorskioldó mozgó vasmag megindulása és a mechanizmus kioldása (A szakasz).
2. Az érintkezők szétválása és az ívelés kialakulása (B szakasz).
3. Ívmozgás – ívnyújtás (C szakasz).
4. Ívoltás a deionlemez ívöltókamrában (D szakasz).

A négy szakasz egy-egy rögzített időpillanatban a kapcsoló kinematikai helyzetét és ívelési folyamatát, valamint a megszakítási folyamat során a kapcsoló sarkain mért áram és feszültség oszcillogramját a 23-1. ábra mutatja.

A kapcsoló megszakítóképeségének ellenőrző vizsgálatát a 23-2. ábra szerinti zárlati vizsgálóáramkörben végeztük. A vizsgálóáramkör paraméterei:

- a) 6 kA-es megszakítóképeség-vizsgálatnál: független áram: 6 kA, vizsgálófeszültség: 242 V, 50 Hz, $\cos \varphi = 0,7$.
- b) 10 kA-es megszakítóképeség-vizsgálatnál: független áram: 10 kA, vizsgálófeszültség: 242 V, 50 Hz, $\cos \varphi = 0,5$.

A kapcsoló áramköri szempontból L_k induktivitással, R_k ellenállással és a nyitás pillanatától $u_i(t)$ ívfeszültséggel helyettesíthető.

A kapcsoló t_k kikapcsolási ideje az áram megjelenésének pillanatától az ívelés befejezésének időpillanatáig eltelt idő. A megszakítási folyamat feszültségoszcillogramja alapján (23-1. ábra) a kikapcsolási idő az ívfeszültség jellegének figyelembevételével három részre osztható:

$$t_k = t_m + t_b + t_i,$$

ahol t_m az áram megjelenésének pillanatától az érintkezők szétválásának pillanatáig eltelt idő;

t_b az érintkezők szétválásának pillanatától a villamos ívnek a deionlemez ívöltókamrában történő befutásáig eltelt idő;

t_i a villamos ívnek a deionlemez ívöltókamrába történő befutásától az ív kialakulásáig eltelt idő.

2.1. A gyorskioldó vasmagjának megindulása és a mechanizmus kioldása (A szakasz)

Az $i_k = I_{km} \sin \omega t$ zárlati áram hatására a gyorskioldó mozgó vasmagja x irányban megindul (23-1. ábra) és a laprugó F_0 rúgóerejét legyőzve a kioldókart elfordítja. A kioldókar a kilincskart elfordítja és a kapcsolómechanizmus reteszelését kioldja. A mozgó vasmag mozgásának differenciálegyenlete:

$$F_0 + m \frac{d^2x(t)}{dt^2} = F_m[i_k(t)] \text{ és } F_m[i_k(t)] = \frac{B^2 A}{2\mu_0},$$

ahol F_0 rugóerő, N;

m a mozgó vasmag tömege, kg;

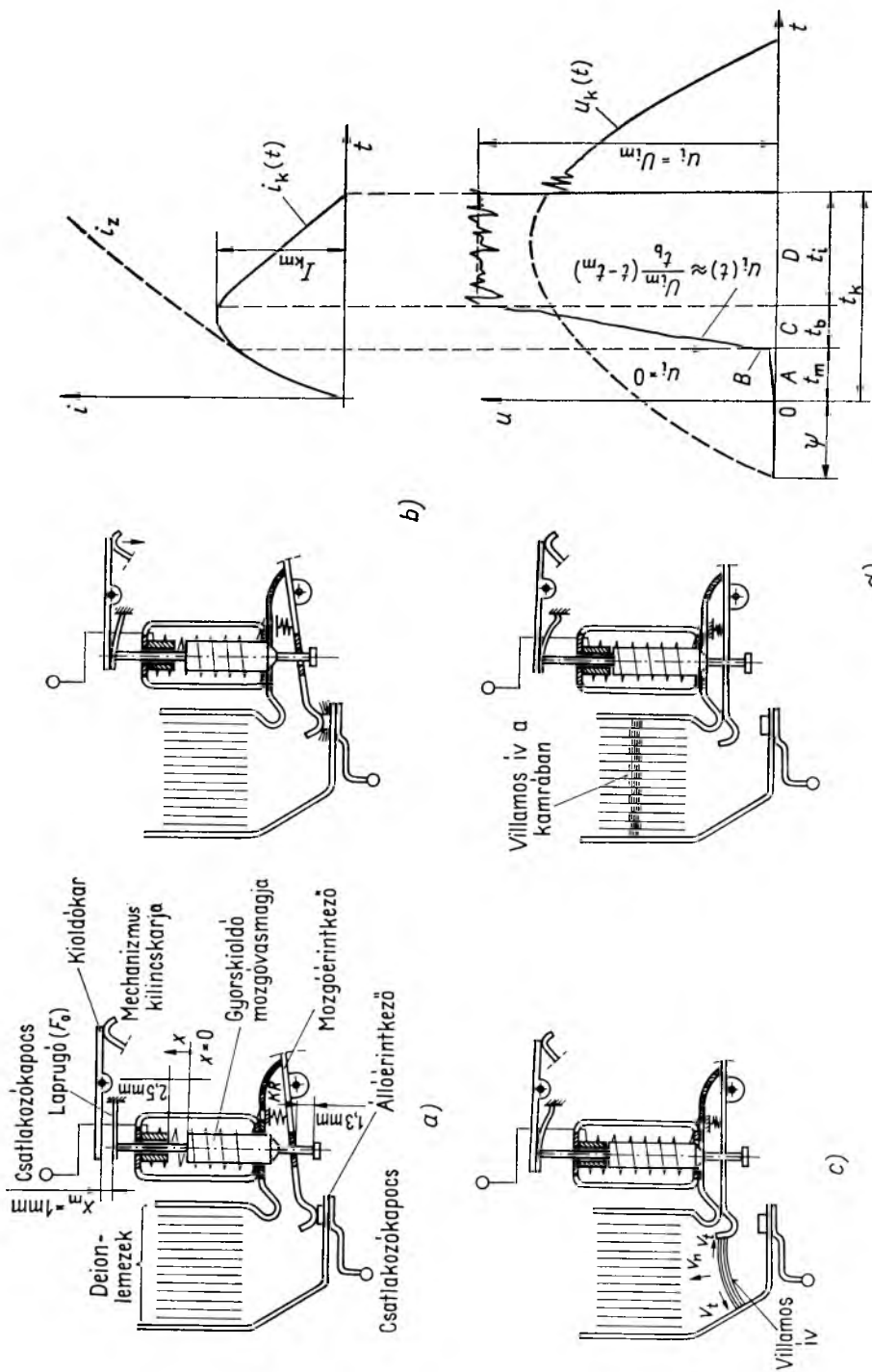
$x(t)$ az elmozdulás, m;

$F_m[i_k(t)]$ a mágneses húzóerő, N;

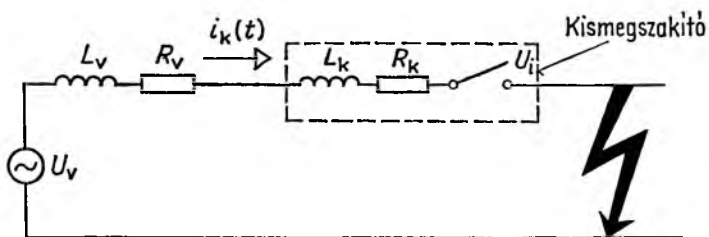
B a mágneses indukció a gyorskioldó légrésében, Vs/m²;

A a mozgó vasmag keresztmetszete, m²;

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Vs/Am.}$$



23-1. ábra. Az áramkorlátozó kísérleti kismegszakító megszakítási folyamata és oszcillogramja



23-2. ábra. A vizsgálóáramkör kapcsolási rajza

A mágneses Ohm-törvény felhasználásával és a kétszeres integrálás elvégzésével megkapjuk a vasmag megindulásának egyenletét:

$$x(t) = \frac{N^2 I_{km}^2}{8\mu_0 R_m^2 A m} \left[t^2 - \frac{1}{\omega^2} \sin \omega t \right] - \frac{F_0}{m} \cdot \frac{t^2}{2}.$$

A mechanizmus kioldása $t = t_m$ időpillanatban következik be, amikor

$$x(t) \Big|_{t=t_m} = x_m,$$

ahol x_m a kioldókar és a laprugó közötti távolság;
 t_m a megszólalási idő.

2.2. Az érintkezők szétválása és az ívelés kialakulása (B szakasz)

A mechanizmus kioldása után az érintkező-nyomóerő rohamosan csökken, és megnövekszik az átmeneti ellenállás. A zárati áram hatására a KR kikapcsolórugó által szétváló érintkezők utoljára érintkező felületi pontjai megolvadnak és az érintkezőket vékony fémhidak kötik össze. Megfelelő áramköri paraméterek esetén a fémhidak elgőzölögnek és az álló- és mozgóérintkezők között kialakul a villamos ív. Ekkor még az ívhossz nagyon rövid, de a kapcsoló sarkain már ugrásszerűen megjelenik az ívfeszültség (l. a 23-1. ábrát), amelynek értéke 25...30 V.

2.3. Ívmozgás—ívnyújtás (C szakasz)

Az érintkezők szétválásával megkezdődik az ívelés folyamata. Az aszimmetrikus áram-hozzávezetésekben folyó $i_k(t)$ áram az ív helyén $B_T(t)$ mágneses indukciót hoz létre, amelynek középértéke egy g_B geometriai tényező figyelembevételével [1] az $i_k(t)$ árammal arányos:

$$B_T(t) = g_B i_k(t).$$

A $B_T(t)$ mágneses indukciónak az l_k közepes hosszúságú ívre gyakorolt erőhatása:

$$F_{iv}(t) = l_k i_k(t) B_T(t) = g_B l_k i_k^2(t).$$

Az $F_{iv}(t)$ erő hatására az ív egyrészt v_n normális irányú (ív tengelyére merőleges elmozdulást), másrészt v_t tangenciális irányú (ívtengely irányú) mozgást (ívnyújtás) végez az ívöltókamra irányában [2]. Az ív összetett mozgásának következtében az ívhossz folyamatosan növekszik, és az ívfeszültség meredeken emelkedik (l. a 23-1. ábrát).

2.4. Ívöltás a deionlemez-es ívöltókamrában

A deionlemez ívöltókamrák ívöltó hatásukat oly módon fejtik ki, hogy egyrészt az $F_{iv}(t)$ hurokerő hatására, másrészt a deionlemezek által kifejtett vonzóerő következtében az összefüggő ívoszlop addig hajlik be a deionlemezek közé, amíg a deionlemez körüli ívhurok feszültsége el nem éri a 20...30 V értéket. Ezután az ív a deionlemezek között részekre, ún. részívekre szakad [3]. A mozgó részívek talppontjait a deionlemezek erőteljesen lehűtik, és ennek következtében a villamos ív kialszik (23-1. ábra D szakasz). A deionlemezek között égő ív ívfeszültsége az általunk vizsgált áramtartományban független az áramtól és nagysága $U_{iv} \approx n \cdot 28$ V, ahol n a deionlemezek száma [1].

3. A zárlati áramkör differenciálegyenletének megoldása

A 23-2. ábra szerinti zárlati vizsgálóáramkör (LR kör) megszakítási folyamatának differenciálegyenlete a kapcsoló paramétereinek figyelembevételével:

$$L \frac{di}{dt} + Ri = \sqrt{2} U_v \sin(\omega t + \varphi) - u_i(t),$$

ahol $L = L_v + L_k$; $R = R_v + R_k$; $U_v = 242$ V, 50 Hz;

φ a feszültség rákapcsolásának fázisszöge;

$u_i(t)$ ívfeszültség (23-3. ábra), amelynek értéke a következő:

$$u_i(t) = \begin{cases} 0, & \text{ha } 0 \leq t \leq t_m & A \text{ szakasz,} \\ \frac{U_{im}}{t_b} \cdot (t - t_m), & \text{ha } t_m < t \leq t_m + t_b & C \text{ szakasz,} \\ U_{im}, & t_m + t_b < t \leq t_k & D \text{ szakasz.} \end{cases}$$

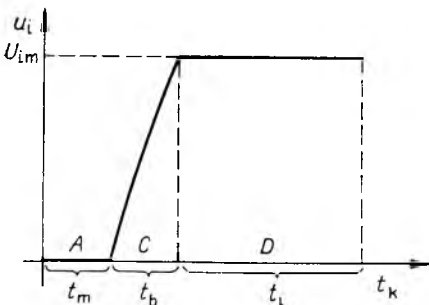
A differenciálegyenlet megoldása az ívfeszültség egyes szakaszaiban:

$$i_A(t) = \frac{\sqrt{2} U_v}{Z} \left[\sin(\omega t + \varphi - \varphi) - \sin(\varphi - \varphi) e^{-\frac{R}{L} t} \right],$$

ha $0 \leq t \leq t_m$ és $i_A(t) = 0$, ha $t > t_m$.

$$i_C(t) = i_A(t) - \frac{U_{im}}{t_b} \left[\frac{t - t_m}{R} + \frac{L}{R^2} \left(e^{-\frac{R}{L}(t - t_m)} - 1 \right) \right],$$

ha $t_m < t \leq t_m + t_b$ és $i_C(t) = 0$, ha $t \leq t_m$ és $t > t_m + t_b$.



23-3. ábra. Az $u_i(t)$ ívfeszültség jelleggörbéje (mérés alapján)

$$i_D(t) = i_A(t) - \frac{U_{im}}{R} \left[1 + \frac{L}{Rt_b} \left(e^{-\frac{R}{L}(t-t_m)} - e^{\frac{R}{L}(t-t_m+t_b)} \right) \right]$$

ha $t_m + t_b < t \leq t_k$ és $i_D(t) = 0$, ha $t \leq t_m + t_b$ és $t > t_k$.

Tehát a zárlati megszakítás során a kapcsolón átfolyó zárlati áram az ún. korlátozott zárlati áram:

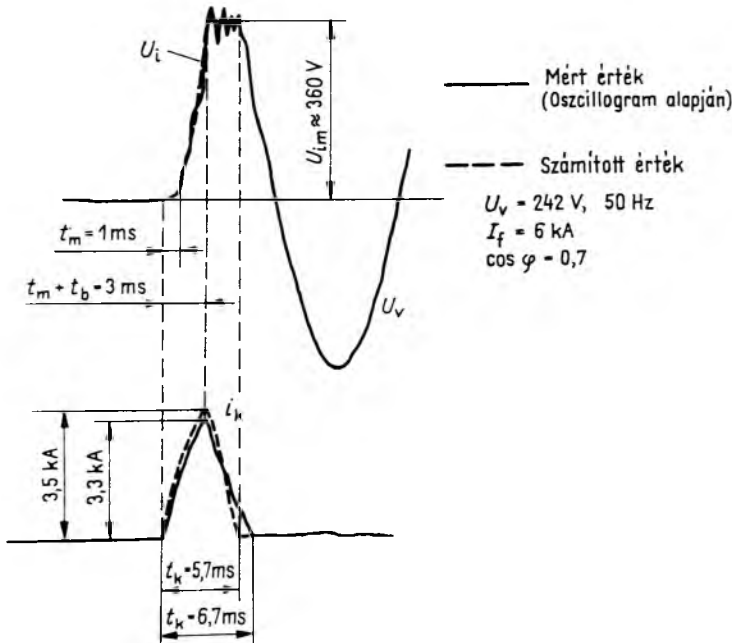
$$i_k(t) = i_A(t) + i_C(t) + i_D(t), \quad 0 \leq t \leq t_k.$$

4. A zárlati megszakítási folyamat számítógépes vizsgálata

A zárlati áramkör megszakításakor a kapcsolón átfolyó $i_k(t)$ áram numerikus meghatározására számítógépes programot készítettünk FORTRAN nyelven. A számításokat TPAi számítógéppel végeztük. A program bemenő adatai: I_f , U_v , $\cos \varphi$, R_v , X_{L_v} , n deionlemezek száma, t_m , t_b , ψ . A program a bemenő adatok alapján kiszámítja a modellezett zárlati áramkör $i_k(t)$ áramát a kapcsolási folyamat három szakaszában, és kiírja a következő adatokat:

1. az $i_k(t)$ max értékét (I_{km}),
2. a t_k kikapcsolási időt,
3. az I^2t értékét $\left(I^2t = \int_0^t i_k^2(t) dt \right)$,

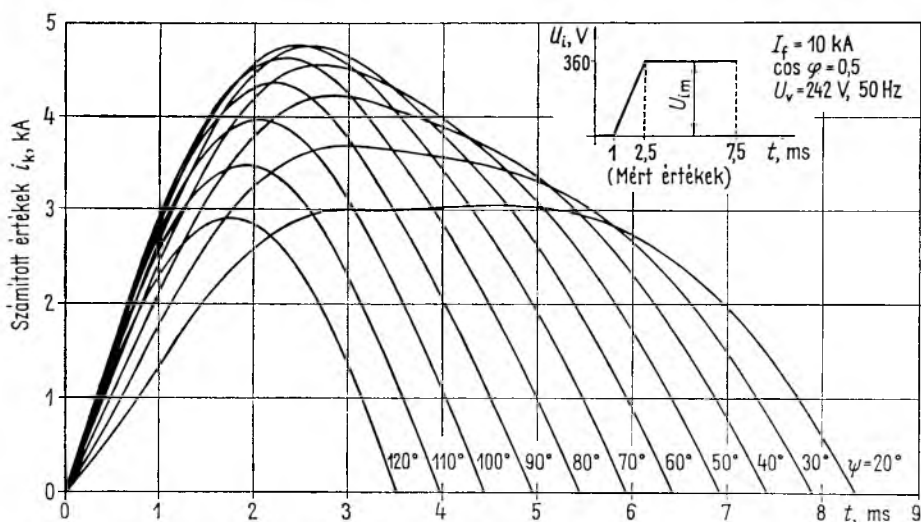
valamint kirajzolja az $i_k(t)$ áramalakot. A számítási és mérési eredmények összehasonlítására mutat példát a 23-4. ábra. A t_m és t_b értékét megszakítási oszcillogramról olvastuk le.



23-4. ábra. A megszakítási folyamat mért és számított értékei

5. A számítógépes eljárás eredményeinek felhasználása a fejlesztési munkában

A számítógépes számítási eljárás hasznos segédeszköznek bizonyult a fejlesztési munka folyamán a megszakítási folyamat több részletkérdésének elemzéséhez. Ezek közül ismertetünk most egyet. Az áramkorlátozó kismegszakítók zárlati működése (a kialakuló $i_k(t)$ áram alakja, max értéke, az I^2t értéke stb.) függ a feszültségrákapcsolás fázisszögétől. A zárlati vizsgálatok — egy-egy kapcsolás roncsoló hatása miatt — nem mindig alkalmasak a kapcsolási viszonyok ψ -től való függésének az elemzésére. Ilyenkor jó lehetőségnek kínálkozik a számítási módszer. A kapcsoló zárlati vizsgálatát követően az oszcillogramról leolvastuk a feszültségrákapcsolás ψ fázisszögét és a t_m , t_b , t_i paramétereket. Ezután a 4. pont szerinti bemenő adatok ismeretében a program segítségével kiszámítottuk és kirajoltattuk ψ paraméter függvényében az $i_k(t)$ áramot. Erre mutattunk példát a 23-5. ábrán: a zárlati vizsgálat rákapcsolási fázisszöge $\psi = 70^\circ$, és az ehhez tartozó ívfeszültség-paraméterek: $t_m = 1$ ms; $t_b = 1,5$ ms, $t_i = 5$ ms. A 23-5. ábra alapján szemléletesen nyomon



23-5. ábra. $i_k(t)$ áram számított értékei különböző ψ esetén

követhető a feszültségrákapcsolási fázisszög hatása a zárlati megszakítás folyamán kialakuló $i_k(t)$ áramra.

Az általunk készített számítási eljárás az elmondottakon kívül még eredményesen alkalmazható a konstrukciós paraméterek hatásvizsgálatára, annak elemzésére, hogy a paraméterek változtatása (pl. a deionlemezek számának változtatása) hogyan befolyásolja a megszakítási folyamatot.

Irodalom

- [1] L. Niemeyer: Berechnung des Schaltverhaltens von strombegrenzenden Selbstschaltern. etz Archiv (1979) H. 6.
- [2] A. M. Zalesszkij: A villamos iv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
- [3] Villamoskészülékek II. kötet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.

24. Fémoxid varisztorok a túlfeszültség-védelemben

GYIMÓTHY KÁLMÁNNÉ—CSÉFALVAY MIKLÓS

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk ismerteti a túlfeszültség-védelemként alkalmazható nemlineáris fémoxid ellenállások kutatása során a Villamosipari Kutató Intézetben elért legújabb eredményeket. Vázolja a levezetőkészülék építése szempontjából figyelembe veendő kérdéseket. Részletesen tárgyalja a hagyományos SiC ellenállással épített hálózati túlfeszültség-levezetőhöz viszonyítva a működés során fellépő igénybevételt. Kitér a speciális alkalmazási területekre.

ВАРИСТОРЫ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОКИСЕЙ В ЗАЩИТЕ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

К-не Димоти—М. Чешфалвай

Резюме

В статье излагаются новейшие результаты, достигнутые в ВКИ в процессе исследования нелинейных резисторов из металлических окисей, применимых в качестве защиты от перенапряжений. Представляются вопросы, которые необходимо учесть с точки зрения создания отводящего прибора. Детально анализируется электрическая нагрузка, возникающая в процессе работы по сравнению с сетевым разрядником, построенным из традиционного SiC резистора. Специальные области применения.

METALLOXYD VARISTOREN IM ÜBERSPANNUNGSSCHUTZ

FRAU K. GYIMÓTHY—M. CSÉFALVAY

Zusammenfassung

In dem Artikel werden die im Zuge der Forschung der zum Überspannungsschutz anwendbaren nichtlinearen Widerstände im Forschungsinstitut der Elektroindustrie erreichten neuesten Ergebnisse bekanntgegeben. Die zu betrachtenden Aspekte werden aus der Sicht der Realisierung von Überspannungsableitern aufgezeichnet. Die während des Betriebes auftretende elektrische Beanspruchung wird den herkömmlichen, aus SiC-Widerstand gebauten Netz-Überspannungsableitern gegenübergestellt und detailliert behandelt. Auch die speziellen Einsatzgebiete werden diskutiert.

Summary

The paper describes the latest achievements of the Research Institute of the Electrical Industry (VKI) in the research of metal oxide non-linear resistors used in lightning arresters. The paper outlines the issues to be taken into account for the construction of the arrester. A detailed discussion is given—with reference to the conventional mains lightning arresters employing SiC resistors—the electric stresses arising in the course of operation. Special applications are mentioned.

1. Bevezetés

Villamosipari Kutató Intézetben a SiC alapanyagú nemlineáris ellenállások több évtizedes kutatása—fejlesztése során szerzett tapasztalatok alapján az elmúlt években kezdtük meg a fémoxid varisztor kutatását. ZnO alapanyagú fémoxid ellenállás nemlineáris működésének elméletével a VKI Közlemények 8. kötetében foglalkoztunk részletesen [1].

Kiinduló célkitűzésünk a hálózati védelemben alkalmazható több kA levezető-képességű nemlineáris fémoxid ellenállás előállítására volt, ellentétben valamennyi irodalomból ismert kutatóval, akik a kisfeszültségű védelemben alkalmazható néhány száz amper levezető-képességű típusok kidolgozásával kezdték a kutatómunkát. Sorrendváltásunk nem elméleti megfontolásból eredt, hanem gazdaságiból. A kutatási munkát finanszírozó Magyar Villamos Művek Tröszt a hálózati védelemben alkalmazható fémoxid nemlineáris ellenállások kidolgozásával bízott meg bennünket. Eredményeinket azonban csak komoly, intézeti fejlesztési keretből történő támogatással tudtuk elérni. Összehangolt kutatási célkitűzésekkel sikerült a laboratóriumi alaptéchnológia kidolgozása.

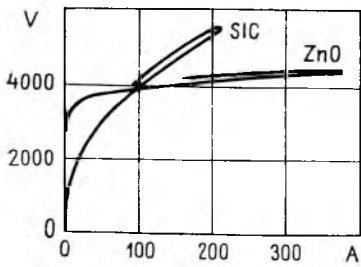
2. Kutatási eredmények

VKI Közlemények 8. kötet anyagának lezárásakor még nem tudtunk részletesen beszámolni a hálózati védelemben alkalmazható, 5 és 10 kA-es típusú fémoxid nemlineáris ellenállások villamos paramétereiről. Kutatási célunk kitűzésekor figyelembe kellett vennünk, hogy a hálózati védelemre szolgáló fémoxid nemlineáris ellenállás mind a légköri, mind a kapcsolási túlfeszültségek igénybevételeit elviselje.

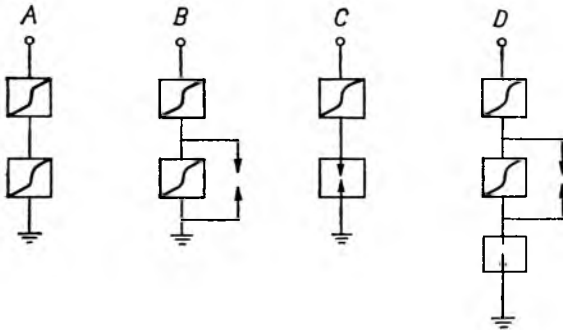
A belső (kapcsolási) túlfeszültségek várható legnagyobb értékét a védendő villamos rendszer adataiból lehet számítani. A külső (légköri) túlfeszültségek nagysága nem számítható, azonban megfelelő szigetelésekköordinációval biztosítható a védelem működési feszültsége és a szigetelések villamos szilárdsága közti megfelelő arány.

A hálózati védelem céljára kidolgozott, 5 kA-es típusú fémoxid nemlineáris ellenállás $U = f(I)$ karakterisztikáját a 24-1. ábrán mutatjuk be, a hagyományos túlfeszültség-levezetők SiC alapanyagú munkaellenállásaival együtt. A SiC ellenállásoknál a névleges beépítési feszültségen 10^2 A nagyságrendű áram folyik keresztül, ezért választószikraközrel kell védeni a készüléket, amely csak a szikraközök megszólalási feszültségét meghaladó túlfeszültség esetén enged — egy fél perióduson keresztül — áramot a munkaellenálláson át.

Fémoxid ellenállások alkalmazása esetén elhagyható a szikraköz, mivel a beépítési feszültségnél 10^{-4} A nagyságrendű a szivárgóáram. Az ábrán bemutatott

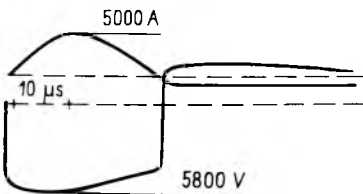


24-1. ábra. V-MOV 5 kA-es fénoxid és VKI-5 kA-es SiC nemlineáris ellenállások karakterisztikái

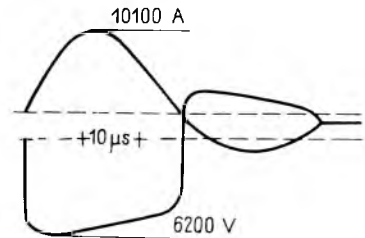


24-2. ábra. Fénoxid levezetők típusai

A szikraköz nélküli; B söntelő szikraközös; C soros szikraközös; D soros és söntelő szikraközös



24-3. ábra. 5 kA-es típusú fénoxid ellenállás levezetőképessége, 8/20 μ s alakú értékű hullámmal felvéve



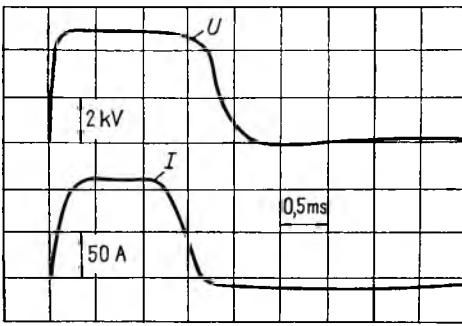
24.4. ábra. 5 kA-es típusú fénoxid ellenállás levezetőképessége 8/20 μ s alakú, 10 kA_{cs} értékű hullámmal felvéve

négyféle készülékből az *A* típus a legegyszerűbb felépítésében és működési elvében, ez a legjellemzőbb típus, így a továbbiakban csak ennek bemutatásával foglalkozunk. *A B* és *C* típusokat akkor lehet alkalmazni, ha a megkívánt védelmi szint igen alacsony, vagy várhatóan felléphetnek igen nagy túlfeszültségek is.

A *D* típus az előző kettő együttes alkalmazása speciális esetekben [2].

Kutatásunk során a technológiai lépéseket öt csoportba osztottuk, és a változtatások hatását villamos minősítés alapján értékeltük, meghatároztuk a

- szivárgóáramot;
- levezetőképességet (24-3. ábra, 24-4. ábra);
- kapcsolásihullám-állóságot (24-5. ábra);
- élettartamot (gyorsított élettartam-vizsgálattal).



24-5. ábra. Kapcsolásihullám-állóság vizsgálata
5 kA-es fénoxid ellenálláson

A levezetőképesség meghatározására szolgáló, $8/20 \mu\text{s}$ alakú áramhullámmal rendelkező generátor paramétereit a fénoxid ellenállások nemlinearitásának figyelembevételével számítógéppel – a többlépcsős közelítés modellezésével – számítottuk ki. Első lépésben regressziószámítással meghatároztuk egy átlagos – a kutatásunk során előállított – fénoxid ellenállás karakterisztikáját, ahol

$$R^* = \exp(A \ln I + B),$$

$$U = \exp(C \ln I + D)$$

függvénnyel közelíthető. Az együtthatók esetünkben a következő értékre adódtak:

$$A = -0,926,$$

$$B = 8,055,$$

$$C = 0,0744,$$

$$D = 8,055.$$

Az áram-lökőgenerátor differenciálegyenlete ezzel:

$$L \frac{di}{dt} + R_k i + R^* i + \frac{1}{C} \int_0^t i dt = U_0,$$

mivel a kapott nemlineáris differenciálegyenlet zárt alakban nem oldható meg, az Intézet TPA típusú számítógépén numerikus integrálással oldottuk meg.

Programunkkal tetszőleges hullám alakú és csúcsértékű generátor áramköri paramétereit tudjuk meghatározni. A 24-1. táblázatban foglaltuk össze a névlegesen $8/20 \mu\text{s}$ és $4/10 \mu\text{s}$ alakú áramhullámot szolgáltató generátor paramétereit, figyelembe véve a Nagyfeszültségű Laboratóriumunkban és a Tölgyfa utcai üzemi működtetőpróba-állomáson meglévő berendezések lehetőségeit.

A levezetőképességet a 24-1. táblázat adatait figyelembe véve 5 kA_{cs} értékű, $8/20 \mu\text{s}$ alakú, kb. 500 J energiatartalmú áramhullámmal határoztuk meg (24-3. ábra). Majd az $U = f(I)$ karakterisztika további pontjainak felvételéhez $10 \text{ kA}_{\text{cs}}$ értékű, $8/20 \mu\text{s}$ alakú, $2 \cdot 10^3 \text{ J}$ energiatartalmú (24-4. ábra) hullámot bocsátottunk próbatárgyunkra. A későbbiek során ezt a 2 kJ energiatartalmú hullámot alkalmaztuk előzetes szűrőként minden darab esetén. Az esetleges homogenitási hibával rendelkező egységek a próba során tönkrementek.

Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a leírt szűrési módszer nem minden esetben bizonyult elégségesnek. A kapcsolásihullám-állóság vizsgálata során – az esetek kb. 10% -ában – a kisebb energiatartalmú, de $1-2 \text{ ms}$ időtartamú igénybevételre

R , Ω	I_{\max} , A	L , μH	C , μF	U_0 , V	E , Ws	T_h , μs	T_f , μs	$I_{\text{átlengés}}$, A
0	10 537	22	2	46 000	2116	8,1	18,0	- 217
0	4 950	22	2	22 000	484	8,6	18,1	- 132
0,5	4 873	16	1,6	23 000	305	5,9	13,7	- 20
0	9 926	16	0,8	50 000	1000	4,4	9,9	- 145
0,2	21 150	16	0,8	100 000	4000	4,6	9,9	- 296

tönkrementek a próbatárgyak. A hőmegfutas kérdésének tárgyalásakor ismét utalunk erre a jelenségre, amely felhívta figyelmünket a kérdés alaposabb vizsgálatára.

3. Fémoxid ellenállások villamos stabilitása

Szikraköz nélkül, fémoxid ellenállásokkal épített túlfeszültség-védelmi eszközök villamos paramétereinek stabilitása az igénybevételek hatására, ez kutatásunk egyik legfontosabb kérdése.

A ZnO szemcsék felületén az adalékok oxidok hatására képződött potenciálgát a felületi elektronok mozgását gátolja. Kis értékű feszültség rákapcsolásával az elektronok – igen kis számban – termikus gerjesztéssel jutnak át ezen a potenciálgáton. Ha azonban a rákapcsolt feszültség és a potenciálgát együttesen meghaladja a tiltott sáv értékét, az elektronok alagúteffektussal jutnak át az egyik szemcse vegyértéksávjából a másik vezetési sávjába, lyukakat hagyva maguk után, amik azután a ZnO szemcsék felületén levő elektroncsapdákból rekombinálnak. A Schottky-hatás következtében létrejött áram:

$$I_T = I_{T0} e^{\frac{[E_a - f(U)]}{kT}},$$

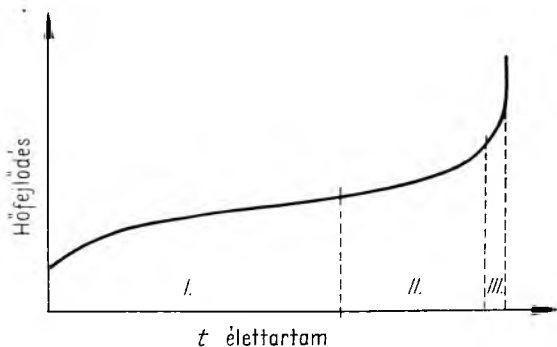
ahol E_a az aktiválási energia és U a rákapcsolt feszültség.

Hosszú időn keresztül igénybe véve az elemeket ioneltoadás következtében az aktiválási energia megváltozik. Az átfolyó áram megváltozására azonban döntően a környezeti hőmérséklet és a feszültség hat [2].

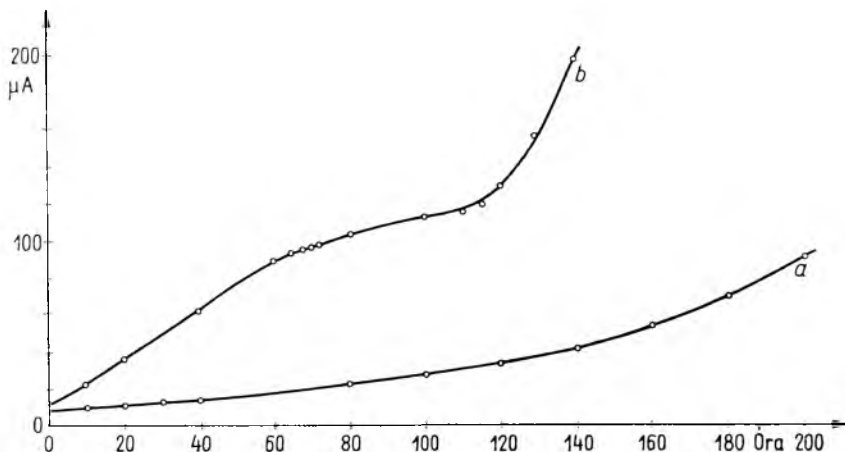
Ha az igénybevétel következtében a hőfejlődés meghaladja a hőleadást (amelyet számos paraméter határoz meg), hőmegfutasal tönkre megy a készülék. A levezető élettartamára és igénybevehetőségére a hőfejlődés–hőleadás aránya döntő befolyással van. Arrhenius-függvényrel az élettartam:

$$t_{\text{élett}} = t_0 e^{T_0/T}.$$

Az idő függvényében vizsgálva a hőfejlődést a 24-6. ábrán három szakaszt különböztetünk meg. Az *I* stabil szakaszban a hőfejlődés állandó, vagy gyengén emelkedő, a *II* romlási szakaszban az igénybevétel hatására fokozatosan nő az ellenállás hőmér-



24-6. ábra. Élettartam a hőfejlődés függvényében
 I állandó; II fokozatosan romló; III tönkremenetel



24-7. ábra. Élettartam-vizsgálat
 a) előzetes igénybevétel nélküli tárcsán;
 b) előzetesen 20×100 A/1 ms négyzetöghullámot elviselt tárcsán

séklete, és az utolsó, III szakaszban a hőfejlődés már meghaladja a hőleadást, a termikus megfutás miatt tönkremegy az ellenállás. Tényleges élettartam a II szakasz végéig tart, amelyet a biztonsági szempontok figyelembevételével csak bizonyos határig vehetünk igénybe. Az élettartam szempontjából igen fontos a fénoxid ellenállások állandó beépítési feszültségének helyes megválasztása, valamint a tokozás.

Többlepcsős élettartamvizsgálat során a következő eredményeket kaptuk (24-7. ábra): Fénoxid ellenállásunk 1 mA mellett mérhető ún. varisztorfeszültségének 0,6-szeresét kapcsoltuk a próbatárgyakra. Klímazsekrényben a környezeti hőmérsékletet 363 K-en tartva mértük az átfolyó áramot. Egyes kutatók szerint a hosszadalmas hőfejlődés – hőleadás vizsgálatok helyett egységesen azt a pontot kellene figyelembe venni, ahol az átfolyt áram a kétszeresére növekszik [3], visszaszámítva a $t_0 = t_{20}$ °C-ra. Érdekeségként berajoltuk az ábrába egy olyan azonos kísérleti sorozatból való 5 kA-es fénoxid ellenállás élettartam-görbéjét, amely a vizsgálat előtt húszszor viselt el 100 A csúcsertékű 1000 μ s-os négyzetöghullámot.

4. Villamos stabilitás túlfeszültségek esetén

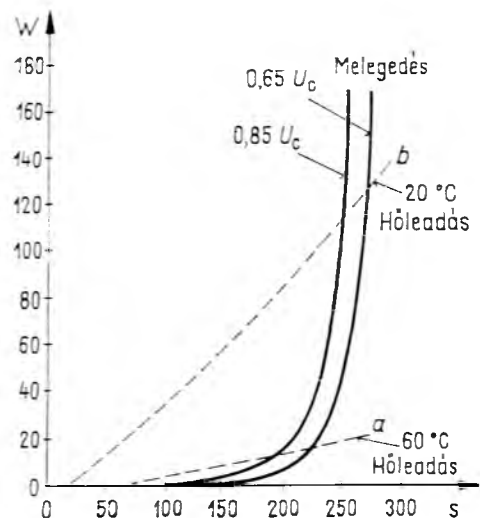
Impulzusszilárdság-vizsgálataink során már ellenőriztük, hogy a különböző energia-tartalmú és hullámmereedségű igénybevételeket követően a villamos karakterisztika vissza tudott-e állni eredeti értékére. Vizsgálatainkhoz azonban minden esetben jól vezető, nagy tömegű rézelektrodákat használtunk.

A készüléktokozás előttünk álló feladatainak megoldása során fordult figyelmünk a következőkben vázlatosan leírt kísérletre [2]. A varistorfeszültség 65%-ával, ill. 85%-ával állandóan terhelve az ellenállásokat a tokozás hővezetésének figyelembevételével vizsgálták a ZnO tárcsáknak a levezetett túlfeszültség hatására megnőtt hőmérsékletét és a nemlinearitás változását (watt-veszteség növekedését). Azt találták, hogy 180 °C felett termikusan instabillá válik a rendszer (24-8. ábra).

A fémoxid ellenállások nemlineáris karakterisztikáján jól követhető a jelenség. A 24-9. ábrán azt az esetet mutatjuk be, amikor — pl. nem hatásosan földelt rendszerben — gyakrabban kell számolnunk a névleges U_1 üzemi feszültséget meghaladó üzemi frekvenciás U_2 túlfeszültséggel. A nemlineáris karakterisztikán az eredeti munkapont eltolódik A -ból B -be, és ennek megfelelően az I_1 szivárgóáram I_2 -re növekszik, a T_1 hőmérséklet pedig T_2 -re nő meg. Ha a hőleadási viszonyok megfelelőek, akkor az eredeti U_1 feszültség visszaállításával a D munkapontból az A munkapontra visszaáll a rendszer. Azonban ha C munkapontra (T_3 hőmérsékletű karakterisztikára) kerül a túlfeszültség következtében a rendszer, akkor az eredeti U_1 feszültség visszaálltával sem tud D -ről A -ra hűlni, és bekövetkezik a hőmegfutás.

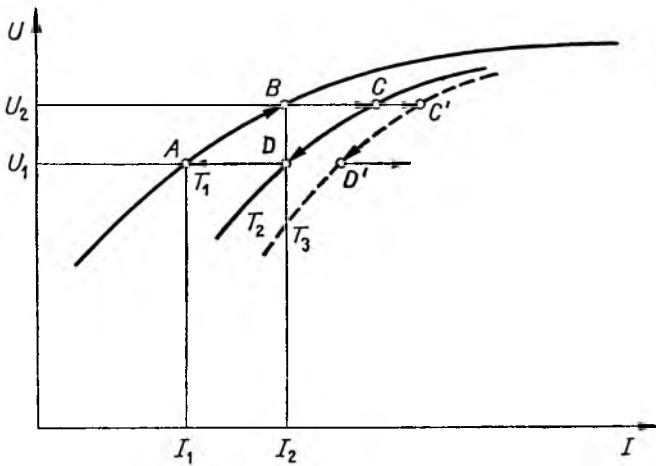
Kapcsolási vagy légköri túlfeszültségek hatására hasonlóan eltolódik a fémoxid ellenállások $U-I$ karakterisztikája. Helyes méretezés esetén az impulzusigénybevétel után pár perccel eredeti hőmérsékletre hűl vissza az ellenállás, annak ellenére is, hogy közben $U_{név}$ továbbra is terheli a készüléket.

Speciális hibasorozatot mutatunk be a 24-10. ábrán, ahol a vázolt kétféle túlfeszültség együttesen lép fel (pl. villámcsapás — FN zárlat — és kapcsolási túl-

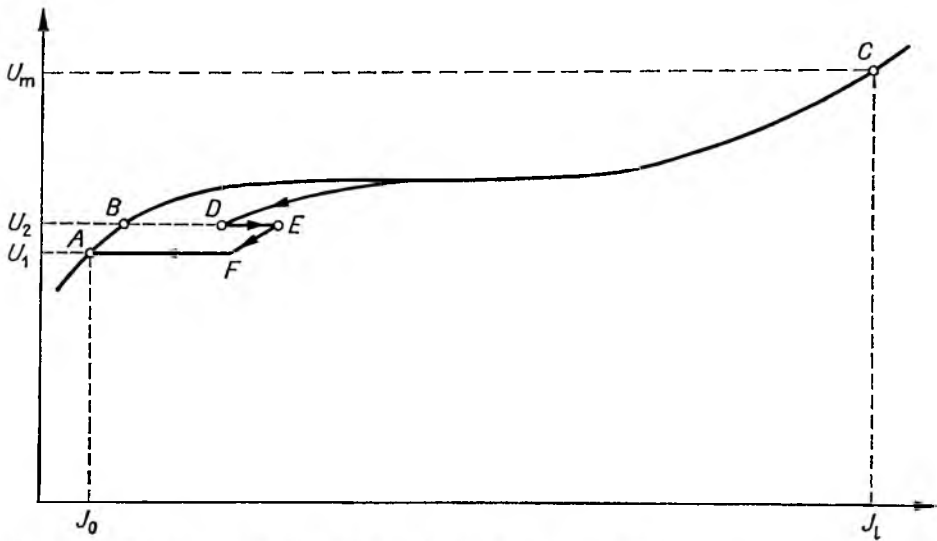


24-8. ábra. Hőleadási és melegedési görbe

a) rossz hővezető-tokozás; b) jó hővezető-tokozás



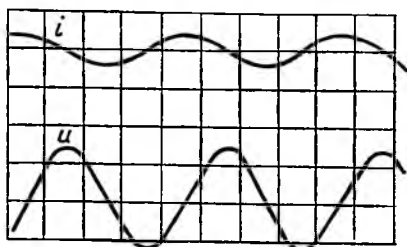
24-9. ábra. Üzemi frekvenciás túlfeszültség hatása a nemlineáris karakterisztikára



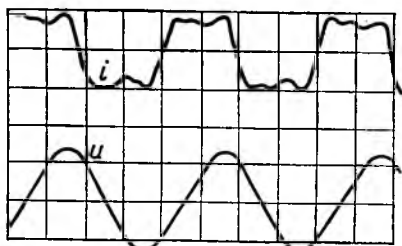
24-10. Komplex hibasorozat hatása a nemlineáris karakterisztikára

feszültség). Igénybevétel szempontjából egy $8/20 \mu\text{s}$ alakú, $10 \text{ kA}_{\text{cs}}$ értékű lökés kb. $0,5 \text{ kJ/kV}$ -os, majd a 2 ms hosszúságú 1 kA csúcserőtelű négyszög hullám további $2...3 \text{ kJ/kV}$ -os energia. A fémoxid ellenállások a kísérletek szerint meghibásodás nélkül viselik el ezt a komplex igénybevételt is.

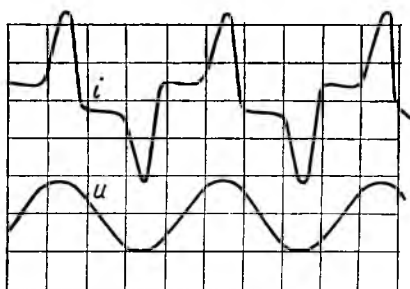
A fémoxid ellenállások állandó és impulzusszerű terhelése következtében keletkező hőmennyiség számításal nehezen követhető. A varistorfeszültség tartományában még a blokkok kapacitása dominál (24-11a ábra). A varistorfeszültségénél nagyobb feszültség rákapcsolásakor fokozatosan megnő az áram hatásos összetevője a tárcsára jellemző nemlinearitás és hiszterézis által meghatározott mértékben (24-11b és c ábra).



a)



b)



c)

24-11. ábra. VKI-5 kA típusú fénoxid ellenállás

$u = f(t)$, $i = f(t)$ oszcillogramja

a) $u = 400$ V/osztás, $i = 1$ mA/osztás; b) $u = 1$ kV/osztás, $i = 1$ mA/osztás;

c) $u = 2$ kV/osztás, $i = 10$ mA/osztás

A 24-11b ábrán bemutatott átmeneti tartomány erősen frekvenciafüggő, kb. 10 kHz-ig. A fénoxid blokkok frekvenciafüggvényének vizsgálatával a közeljövőben kívánunk részletesen foglalkozni, a kisfeszültségű varisztortípusok kidolgozásával kapcsolatosan, amelyek az elektronikus rendszerek túlfeszültség-védelmére szolgálhatnak.

5. A fénoxid levezetők igénybevételei

A szikraközrendszer teljes elhagyása a fénoxid levezetők alkalmazása szempontjából számtalan előnnyel jár. Az elemek megfelelő válogatás után párhuzamosan kapcsolhatók, és így energianyelő képességük növelhető. Nemlinearitásuk következtében

a meredek áramhullámok hatására maradékfeszültségük lényegesen kisebb, mint a hagyományos készülékeké. Szikraközrendszer hiánya miatt nem lép fel meredek feszültséglevágás sem, mint a hagyományos SiC-os készülékekénél. Méretezésükénél nem kell az utánfolyóáram energiatartalmával számolni, s így terhelhetőségük növelhető.

Számítógépes programmal ellenőriztük, hogy azonos, 5 kA_{cs} értékű, $8/20 \mu\text{s}$ alakú áramlökés igénybevétele esetén, amikor a készülék névleges feszültségre van kapcsolva, az igénybevétel milyen mértékűre adódik a fénoxid levezetőknél, ill. a SiC-os hagyományos készülékekénél.

Szabványos 5 kA_{cs} értékű, $8/20 \mu\text{s}$ alakú áramhullám energiatartalmának pontos számítását matematikai modellezéssel végeztük (nagy sebességű integrátor még nem áll rendelkezésünkre). Nagyfeszültségű laboratóriumunkban levő áram-lökőgenerátorunk nagy pontosságú, $8/20 \mu\text{s}$ alakú áramhullámot szolgáltat. Matematikai modelljét két energiatárolós áramkörre vonatkozó differenciálegyenlet megoldásával képeztük. A számításokat nem részletezve esetünkben az

$$i = I_0 e^{-t/T} \sin \omega t \quad (1)$$

függvényt kaptunk megoldásul. Az összefüggés a másodrendű differenciálegyenlet komplex megoldása (hosszabb hullámoknál a valós megoldás használható, ha $t_f/t_h > 3,8$). A hullám technikai paramétereinek számítása (a szabványos lökőhullám-jelölésekkel):

$$t_h = \frac{5}{4} (t_{09} - t_{01}),$$

$$t_f = \frac{1}{8} (t_{09} - t_{01}) - t_{01} + t_{05}, \quad (2)$$

ahol $t_{09} = 0,1 i_{max}$ -hoz tartozó időtartam,

$t_{09} = 0,9 i_{max}$ -hoz tartozó időtartam a hullám homlokán, és

$t_{05} = 0,5 i_{max}$ -hoz tartozó időtartam a hullám hátoldalán.

A $8/20 \mu\text{s}$ alakú áramhullámot leíró függvényt numerikus közelítéssel oldottuk meg a 24-12. ábrán bemutatott algoritmus alapján. Ennek számításához már egy nagyobb teljesítményű zsebszámológép is elegendő volt, esetünkben TI-59 típusú.

Az (1) összefüggés jelöléseivel a $8/20 \mu\text{s}$ alakú, 5 kA csúcsertékű áramhullámot leíró függvény tehát:

$$i = 9 \cdot 10^3 e^{-\frac{t}{2 \cdot 10^{-6}}} \sin 1,2 \cdot 10^5 t. \quad (3)$$

A $8/20 \mu\text{s}$ alakú áramhullámhoz tartozó feszültséget a nemlineáris ellenállás határozza meg, amely nemlineáris ellenállás $R = f(I)$ összefüggés alapján maga is áramfüggő. Nagy számú mérési eredményből regressziószámítással állítottuk elő az ellenállás áramfüggvényét:

$$r = e^{A \ln i + B}, \quad (4)$$

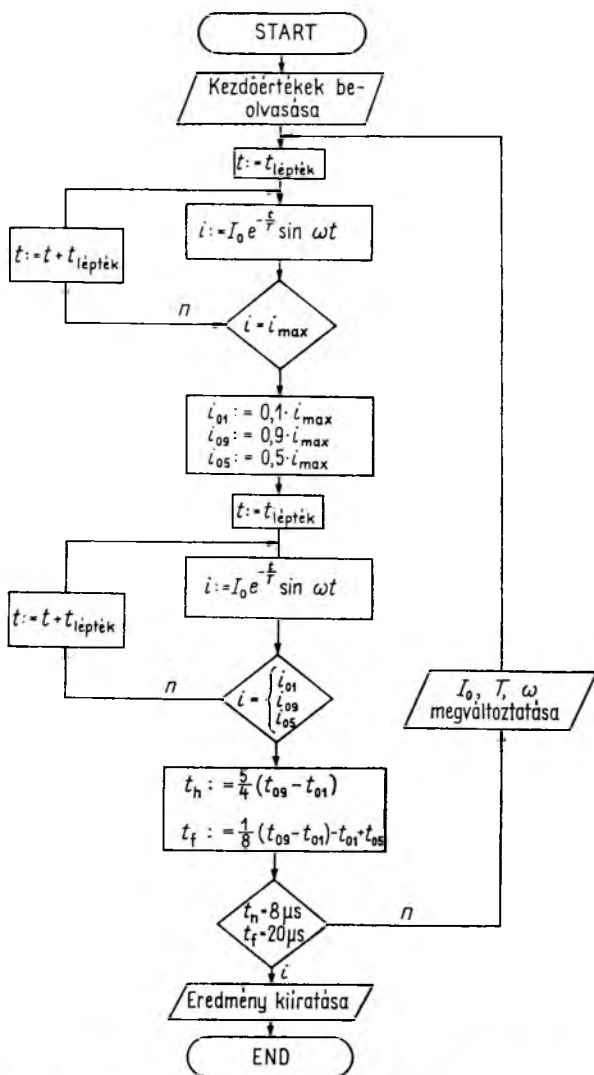
ahol az 5 kA -es fénoxid ellenállásunknál $A = -0,938$; $B = 8,07$.

és az 5 kA -es SiC ellenállásnál $A = -0,774$; $B = 7,3$.

A túlfeszültség-hullám energiatartalmát pedig az

$$E = \int_0^t u i dt$$

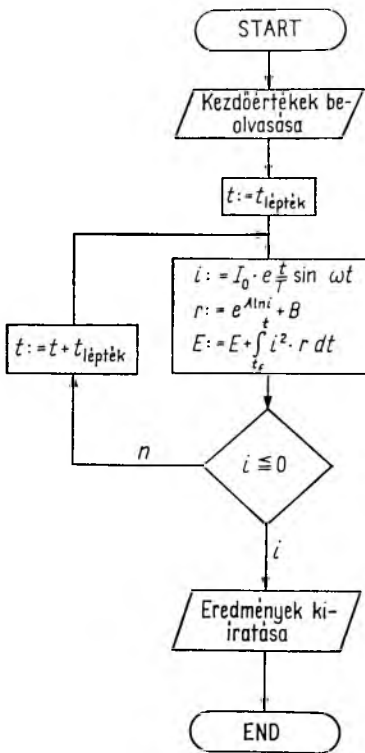
összefüggésből számítottuk, ahol i a (3) egyenlet szerinti, u pedig a (13) és (14) szorzata.



24-12. ábra. 8/20 μ s alakú áramhullámot leíró függvény számítása

Ennek számítását a 24-13. ábra szerinti algoritmus alapján végeztük.

Egy 5 kA típusú, 3,4 kV-os fénoxid ellenállás a 8/20 μ s alakú, 5 kA csúcsertékű áramimpulzus igénybevétele esetén 734 J energiát disszipál, míg a SiC ellenállás 744 J energiát. Szembeötlő különbség a készülék tényleges működését leképező üzemi működtetőpróbánál mutatkozik meg. Üzemi körülmények között a hálózati feszültség miatt, a túlfeszültség hullám levezetése után fellép az ívöltás folyamata, amely a feszültség első nullaátmenetéig veszi igénybe a készüléket. A fénoxid levezetőknél pedig az impulzusigénybevétel miatti hőmérséklet-növekedés következtében (24-9. és 24-10. ábra) megnövekszik a szivárgóáram.



24-13. ábra. Túlfeszültség hullám energiatartalmának számítása

Feltételezve, hogy pozitív szinuszfélhullám 60°-ánál lép fel a 8/20 μs alakú túlfeszültség, az igénybevételek a következők szerint adódnak:

Hagyományos SiC alapanyagú, VKI-5 típusú, 3,4 kV_{eff} névleges beépítési feszültségű arányos rész igénybevétele az üzemi működtetőpróba során összesen 6 kJ. A megszólalási feszültségig nem folyik át rajta áram, majd az előbbieken már részletezett áramgenerátoros szakasz következik – 744 J igénybevétellel – és végül az ívoltás. Számításunk algoritmusát a 24-14. ábrán mutatjuk be.

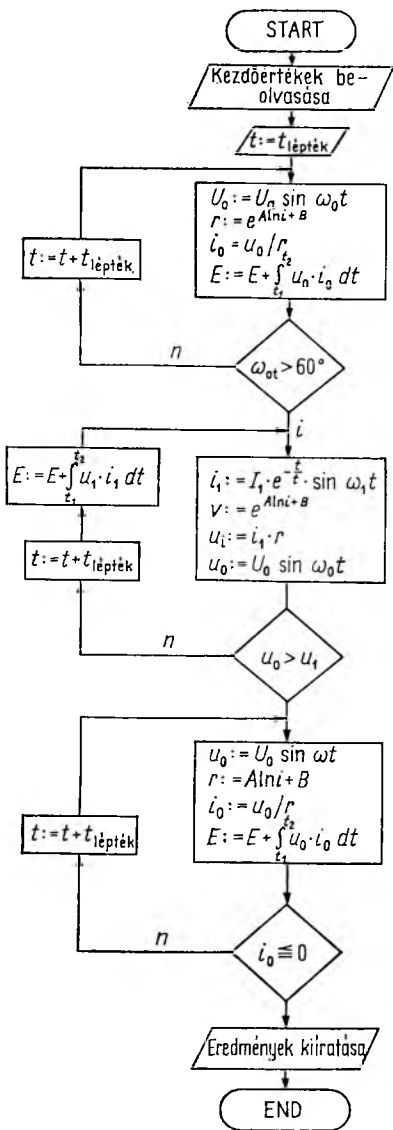
Szikraköz nélkül épített fénoxid levezetőknél csak a szivárgóáram terheli a túlfeszültség hullám levezetése után az ellenállást, ezért nagyon fontos kérdés a helyes beépítési feszültség meghatározása. Számításunk során megvizsgáltuk, hogy az az 5 kA-es típusú fénoxid tárcsa, amelynek U_C értéke 6,1 kV-os, a komplex üzemi próba során mennyi energiát disszipál. Első esetben a beépítési feszültséget

$$U_{be} = \frac{U_c}{\sqrt{2}} \cdot 0,7\text{-re}$$

választottuk, a második esetben

$$U_{be} = \frac{U_c}{\sqrt{2}} \cdot 0,9\text{-re.}$$

A disszipált energia mennyisége rendre 0,98 kJ, ill. 1,27 kJ. A SiC elemekkel épített készülékeknél ugyanekkora túlfeszültség hatására fellépő igénybevétel 6 kJ.



24-14. ábra. Üzemi működtetőpróba energiatartalmának számítása

6. Speciális alkalmazási területek

Az energiahálózat, ill. az erősáramú berendezések túlfeszültség-védelmének filozófiája a múltban azon a nézeten alapult, hogy a levezetőnek a lehetőség szerint csupán fedővédelmi szerepet szabad betöltenie. Ennek a felfogásnak az oka a levezetők működési feszültségének a túlfeszültség jellegétől való függésében, a levezetők termikus terhelhetőségének korlátaiban, a levezetést követő ivoltás sikerességének veszélyeztettségében, és a levezető felületi szennyeződése esetén fellépő paraméterváltozá-

sokban keresendő. Nagyfentosságú villamos berendezésekben speciális mágneses ívoltású levezetőket építenek be. Hazánkban ezek kifejlesztésére nem került sor.

A fénoxid levezetőknél az előbb felsorolt negatívumok vagy hiányoznak, vagy erősen lecsökkennek (a konstrukciótól függően). Ez a levezetőtípus alapvető védelmi eszközzé válhat, s így a jövőben szükségtelenné teheti az ellenállásos megszakítók és a mágneses ívoltású szikraközök alkalmazását. Az eddigi vizsgálatok szerint valószínűleg megoldhatók a csillagponti transzformátorok egyes konstrukciós problémái. A nem földelt csillagpontú nagyfeszültségű transzformátorok szigetelésének a jelenleginél tökéletesebb védelme, valamint a nagyfeszültségű motorok — jelenleg megoldhatatlan — túlfeszültség-védelme.

Az SF₆ szigetelésű, tokozott állomások gyors tranzienseiből (pl. szakaszoló-működtetésből) eredő üzemzavarok megelőzésére a fénoxid ellenállásokkal szintén mód nyílhat [4].

Természetesen a későbbiek során a nemlineáris fénoxid ellenállások előállításának — a laboratóriumi alaptchnológia finomításával — még számos részfeladata vár megoldásra. A technológia félüzemesítését ez évben végezzük el a speciális levezetőépítési részkérdések tisztázásával együtt.

Irodalom

- [1] *Gyimóthy Kálmáné—Cséfalvay M.*: ZnO ellenállással épített, szikraköz nélküli hálózati és egyéb célú túlfeszültséglevezetők. VKI Közlemények 8. kötet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
- [2] *Misao Kobayashi*: Basic characteristics of MOSA. (Application and tests of Metal Oxide Surge Arrester). 33. 81./SC/04. 1.
- [3] *B. Axelsson*: A New Surge Arrester Technology for Reduced Voltage Protective Level. CIGRE 33—01/980.
- [4] *Shingo Shirahana—Tadahiko Miyoshi—Aheo Mizuhoshi*: ZnO-Oxide Lightning Arrester „ZLA” for Gas-Insulated Switchgear. Hitachi Review. Vol.: 29. (1980), No. 2.

SZIGETELÉSTECHNIKA

25.

Szabadtéri műanyagszigetelők alkalmazásának és korszerű gyártástechnológiájának irányzatai

*BOGNÁR ALAJOS – SZAPLONCZAY PÁL – DR. FROJIMOVICS GÁBOR –
– TISLER ISTVÁNNÉ*

ÖSSZEFOGLALÁS

A polimer ernyőrendszerű, rúdszigetelők alkalmazása számos előnyük miatt fokozódik. Felépítésük a fejlesztőhelytől függetlenül egységes, eltérő azonban ernyőrendszerük anyaga, konstrukciós kialakítása és az erőbevezetés.

A hazai fejlesztés 10 éves időtartama alatt egy szigetelőcsalád kifejlesztése és kis energiaigényű, nagy termelékenységű gyártástechnológiájának kidolgozása valósult meg. A cikk ismerteti a szigetelők VIMIX-VET berendezésekkel való gyártását a kiegészítő műveletek gépi megvalósításával együtt, és taglalja ennek eredményeit és a lehetőségeket.

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ ПРИМЕНЕНИЯ И СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОТКРЫТЫХ ПЛАСТМАССОВЫХ ИЗОЛЯТОРОВ

А. Богнар—П. Саплонцаи—Др. Г. Фройимович—И. Тислер

Резюме

Применение полимерных гирляндовидных длинностержневых изоляторов возрастает, благодаря многочисленным преимуществам. Их построение — независимо от мест разработки — единое, однако они отличаются в материалах, конструктивных исполнениях и местах передачи усилий.

За 10-летнее отечественное совершенствование разработаны семейство изоляторов и производственная технология, потребляющая небольшую энергию и имеющая большую производительность.

В статье описывается производство изоляторов на оборудовании „VIMIX-VET” вместе с машинными решениями дополнительных операций и излагаются результаты и возможности.

TENDENZEN IN DER ANWENDUNG UND IN DER MODERNEN FERTIGUNGSTECHNOLOGIE DER FREILUFT-KUNSTSTOFFISOLATOREN

*A. BOGNÁR – P. SZAPLONCZAY – DR. G. FROJIMOVICS –
– FRAU I. TISLER*

Zusammenfassung

Die aus Kunststoff hergestellten Langstabisolatoren werden wegen ihrer zahlreichen Vorteile immer mehr verwendet. Ihr Aufbau ist von der Entwicklungsstelle unabhängig einheitlich. Das Material, die Gestaltung ihres Schirmsystems und die Krafteinführung sind jedoch abweichend. Während der zehnjährigen heimischen Entwicklung wurde

eine Isolatorfamilie entwickelt und ihre energiearme, hochproduktive Fertigungstechnologie ausgearbeitet.

In dem Artikel wird die Fertigung der Isolatoren mit Hilfe der VIMIX-VET-Einrichtungen einschliesslich maschinelles Realisieren der Ergänzungsarbeitsgänge beschrieben. Anschliessend werden die diesbezüglichen Ergebnisse und Möglichkeiten erörtert.

TRENDS IN THE APPLICATION AND CONTEMPORARY PRODUCTION TECHNOLOGY OF OUTDOOR PLASTIC INSULATORS

BY A. BOGNÁR—P. SZAPLONCZAY—G. FROJIMOVICS—MRS. I. TISLER

Summary

On account of their numerous advantages, the composite type long-rod insulators find increasingly widespread applications. They feature a uniform design irrespective of the place of development, but have different materials and constructional details of the shed and different ways of force input.

During a ten-year period of Hungarian development work, a family of insulations has been developed, followed by the elaboration of a highly productive manufacturing technology of low energy demand.

The paper describes the manufacture of insulators by means of VIMIX-VET equipment, together with related ancillary operations, and discusses the achievements and future potentials.

1. A szigetelők fejlesztésének alapelvei

A nagyfeszültségű szabadvezetési vonalak klasszikus szigetelői egyrészt az egysapkás szigetelők, amelyek porcelánból vagy üvegből készülnek, másrészt a porcelán hosszú-rúdszigetelők. Ezekkel ekvivalens célú új szigetelőtípus megjelenésének és fokozatos elterjedésének időszakát éljük át a műanyag szigetelőkkel kapcsolatban.

A műanyag szabadvezetési szigetelők fejlesztése 1966...1970 közötti időszakban kezdődött. Európában elsőként Anglia, NSZK, Olaszország majd Franciaország, az USA-ban elsősorban az Ohio-Brass Co. kezdett el szisztematikus kutatás — fejlesztést végezni a témában. Talán nem érdektelen megjegyezni, hogy a műanyag szigetelők fejlesztői több esetben nemzetközi élvonalban álló porcelánszigetelők gyártói voltak, és ez a kép lényegében ma sem változott.

A hazai kutató—fejlesztő munka 1972-ben indult az OMFb támogatásával, a MÜKI, VEIKI és VKI részvételével. 1976-tól kezdve üzemelnek hazai kísérleti gyártású műanyag szigetelők 120...400 kV-os szabadvezetéken [1]—[5].

A szabadvezetési műanyag szigetelők felépítésének alap gondolata ma már meglehetősen kézzelfoghatónak látszik: a szigetelő összetett funkciójának szétválasztása az ellátandó feladatok jellege szerint, majd a megfelelő, testre szabott anyagok kiválasztása az adott feladatokhoz.

A szabadvezetési műanyag szigetelők elnevezése is ezt tükrözi, a nemzetközi irodalomban ezeket kompozit szigetelőknek (composite insulators) nevezik, amely — definíció szerint — azt jelenti, hogy a szigetelő legalább kétféle szigetelőanyagból áll:

- a mechanikai terhelést felvevő magból, amely általában villamos igénybevételnek is ellenálló, üvegszál erősítésű rúd;
- a magot (rudat) burkoló, védő szigetelőanyagból, amely — az esetek többségében — megfelelő ernyő kialakítással biztosítja a szükséges kúszóutat, külső villamos szilárdságot is.

Az erőbevezetés realizálására a rúd végein elhelyezkedő fémszerelvények szolgálnak. A szigetelők felépítését a 25-1. ábra szemlélteti.

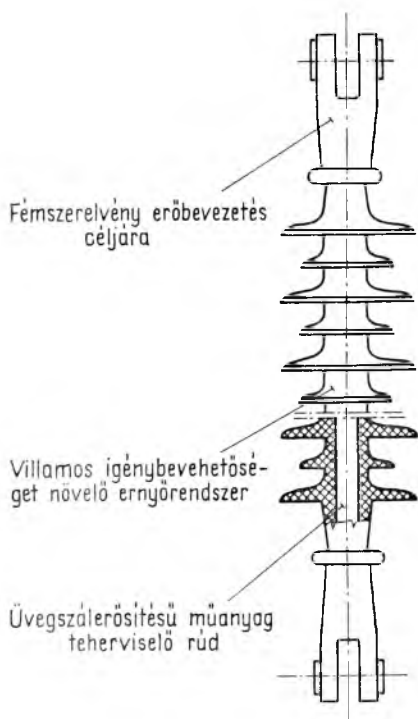
A szabadvezetéki kompozit szigetelők és a porcelán hosszú rúdszigetelő között felfedezhető párhuzam e konstrukció hasonló jellegéből fakad.

A hosszú rúdszigetelők konstrukciójában igen nagy előny az, hogy fém alkatrészek minimális mennyiségben vannak jelen, mindössze a rúdszigetelők két végén, ez az egysapkás szigetelővel összehasonlítva jelentős tömegcsökkenést eredményez.

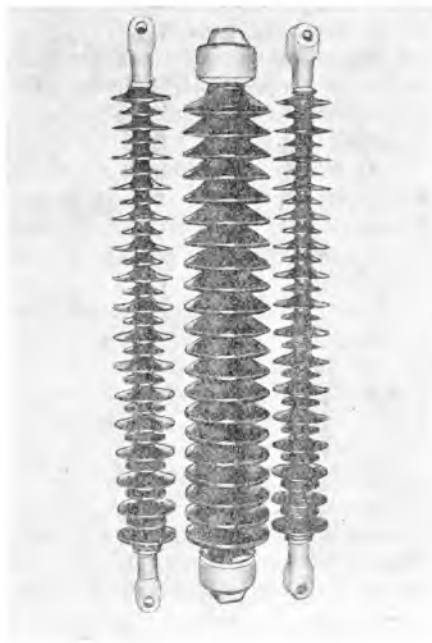
Az üvegszál erősítésű rudat alkalmazó műanyag (kompozit) szigetelőknél ez még fokozódik a rúd tekintélyes mechanikai (húzó-) szilárdságából adódóan, amely az acélokéval mérhető össze. Ugyanakkor – mivel a rúd és az azt körülvevő burkolat, ill. ernyők kialakításánál akár 6 m hosszúságig sem mutatkozik technológiai probléma –, a kompozit szigetelők 750 kV-ra is egyetlen hosszban állíthatók elő. Végeredményként adódik, hogy a kompozit rúdszigetelők egységnyi tömegre vonatkoztatott mechanikai szilárdsága egy nagyságrenddel nagyobb lehet, mint a porcelán szigetelőké (25-2. ábra).

Ez az előny különösen meghatározó lehet a 400 kV és az ezt meghaladó feszültségű szabadvezetékeken mivel a legnagyobb feszültségű szabadvezetékeken fellépő mechanikai és villamos igénybevételek mellett a konvencionális szigetelőláncok súlya az oszlop függőleges terhelésének 20%-át is kiteheti.

Az alkalmazandó szigetelőanyagokkal, ill. komponensekkel szemben támasztott főbb követelmények a következők:



25-1. ábra. A hazai kifejlesztésű műanyag szigetelő felépítése



25-2. ábra. 120 kV-os műanyag szigetelők összehasonlítása a hagyományos, tömör testű porcelánszigetelővel

Az üvegszál-erősítésű rúd megfelelő mechanikai és villamos szilárdságát döntően meghatározza a rúdban levő, 10 μm körüli átmérőjű és a szokásos rúdméretek mellett nagyságrendileg milliő számú párhuzamos üvegszál és a gyantamátrix közötti nedvesítés – tapadás. Szemléltetésképpen elmondható, hogy egy 1 m hosszúságú, 16 mm átmérőjű rúdban levő üvegszálak összes külső felülete, amelyet impregnálni kell, 20 m^2 -t tesz ki. Az üvegszálak komplett impregnálása különösen meghatározó az ún. diffúziós villamos szilárdság szempontjából, amelynek mérésekor azt a valóságnak megfelelő helyzetet veszik figyelembe, amikor a nedvesség és a villamos igénybevétel egyidejűleg hat [6], [7].

Miután a rúd önmagában – anizotrópiájából adódóan – az időjárás hatásai-val, a felületi kisévelésekkel szemben nem ellenálló és nem biztosítana elegendő külső villamos szilárdságot, védelemről kell gondoskodni bevonattal, burkolattal, célszerű egyidejűleg a megfelelő ernyőket is kialakítani. A szabadtéri műanyag szigetelők fejlesztése során éppen ezen szigetelőanyagok kiválasztására, vizsgálatára fordítottak legtöbb energiát. A szigetelőanyagoknak az időjárás hatásaival – elsősorban UV sugárzással – szemben ellenállónak kell lenni, ami a kémiai szerkezeti felépítéssel szemben támaszt követelményeket. A kritikus szempont a nedvesség és szennyeződé-és, valamint az egyidejű villamos igénybevétel hatására jelentkező felületi villamos kisévelésekkel szembeni ellenállóképesség. Az utóbbi szempont alapján a szóba jövő szigetelőanyagok két csoportba oszthatók. Az első csoportba tartozók, amelyeknek a felülete a felületi kisévelések hatására elszenesedett, ill. nyomok, beégek jöttek létre, szabad téren csak korlátozott mértékben alkalmazhatók. (Magát a folyamatot internacionálisan trackingnek nevezik.) A másik csoportba azok a szigetelőanyagok tartoznak, amelyek anyagában a felületi kisévelések villamos erőt idéznek elő vezetőképes bomlástermékek létrejötte nélkül.

A kifejlesztett szigetelőknél a következő szigetelőanyagokat alkalmazzák:

- polí(tetrafluor-etilén) (PTFE);
- cikloalifás epoxigyanták flexibilizált változatai, megfelelő töltőanyaggal;
- etilén-propilén-diénmonomer (EPDM);
- szilikonelasztomerek szobahőmérsékleten térhálóso-dó (RTV) és melegen térhálóso-dó (HTV) változatban.

Az előbbi szigetelőanyagok mindegyikével már hosszabb idejű, kedvező üzemi tapasztalat áll rendelkezésre. Műszaki szempontok tekintetében optimális szigetelőanyagoknak a HTV szilikonelasztomerek adódnak, azonban ezek a legdrágábbak.

A következőkben példákön szemléltetjük a különböző szigetelőanyagok viselkedését.

Kísérleti céllal a szigetelőket egy 88 kV-os távvezetékbe építették be Dél-Afrikában a tengerpart közelében, és ipari szennyeződé-sű környezetben [8.]. A 281 napos vizsgálat során számlálták a felületi kiséveléseket kísérő szivárgási áramimpulzusokat és ellenőrizték a különböző ernyőrendszerű szigetelők viselkedését.

Az értékelés a 25-1. táblázatban foglalható össze. Kis fajlagos kúszóútja ellenére a szilikonelasztomer szigetelő kimagaslóan a legkedvezőbb viselkedésű, míg a nagy fajlagos kúszóúttal rendelkező PTFE és a porcelán esetében hasonló körülmények között a szivárgási áramimpulzusok jelentős növekedése és átívelés következett be.

Hasonló jellegű vizsgálat kezdődött el 1981. áprilisában a hazai flexibilis cikloalifás epoxi hosszú rúdszigetelők szennyezésállósági tulajdonságainak meghatározása céljából a brightoni Szigetelő Vizsgáló Állomáson. A vizsgálati körülmények erősen szennyezett környezetnek felelnek meg. A vizsgálat alatt álló szigetelők 132/ $\sqrt{3}$ kV értékű ipari frekvenciájú feszültségen üzemelnek. A mérés során műszeresen regisztrálják a szivárgási áramimpulzusok számát, amely egy évi időtartam alatt a 25-2. táblázatban közöltek szerint alakult. A vizsgálatok folytatódnak a szigetelő tönkremenetelig.

25-1. táblázat

Különböző ernyőanyagú szigetelők viselkedése szennyezett környezetben

Szigetelőernyő anyaga	Fajlagos kúszóút, mm/kV	Szivárgási áramimpulzusok száma			A szigetelő viselkedése
		kis áramerősség	közepes áramerősség	nagy áramerősség	
Szilikon-elasztomer	12,6	3	3	0	nincs átívelés
Cikloalifás epoxi gyanta	29,2	20	7	0	nincs átívelés
PTFE	29,8	120	20	5	átívelt
Sivatagi profilú porcelán	22,9	130	47	14	átívelt

25-2. táblázat

A hazai gyártású szigetelők viselkedése szennyezett környezetben

Vizsgálati időtartam	Szivárgási áramimpulzusok száma			Megjegyzés
	25 mA	150 mA	500 mA	
1 nap	0	0	0	nincs elváltozás
2 hónap	00	0	0	
4 hónap	530	0	0	
9 hónap	5 202	25	0	nincs sérülés
14 hónap	13 214	188	0	

Az elmondottakat kiegészítve meg kell jegyezni, hogy egy szigetelő üzemi körülmények közötti viselkedését befolyásoló tulajdonságok hordozói közül csupán az egyik tényező az ernyőrendszer anyaga. Majdnem hasonló jelentőségű a konstrukció, ezen belül az ernyők alakja, a szigetelő fajlagos kúszóútja, és mindezekhez járul még a gyártási eljárás. Külön hangsúlyozni kell a rúd és az ernyőrendszer közötti intersticiós réteg jelentőségét, amelynek megbízhatósága a felhasznált anyagok és gyártástechnológia szoros összehangolásától függ.

A 25-3. és 25-4. táblázat segítségével rövid összefoglalást adunk a világviszonylatban jelentős eredményekkel rendelkező üzemi szintű gyártástechnológiákról és az ezeket alkalmazó vállalatok szigetelőinek fontosabb adatairól.

25-3. táblázat

A szabadvezetéki műanyag szigetelők főbb adatai

Gyártó	Névleges feszültség, kV		Méretek, mm		Ernyőszám, db	Névleges küszöb, mm	Mechanikai adatok, kN		Villamos adatok, kV	
	rúd- átmérő	beépítési hossz	rúd- átmérő	beépítési hossz			üzemi terhelhető- ség	törő terhelés	lökőpróba feszültség	Próba- feszültség (esőztetett, 50 Hz)
Rosenthal (NSZK)	23,6	1270...3000				2016...8050	35...50	100...150	550...1500	135...790
	23,6	1450			26	3290	50	160	650	320
Ohio-Brass (USA)	15,9	840...4170			19...119	1720...10800	45	112	470...2350	230
	22,2	1020...5740			18...143	2340...15240	90	225	520...3100	250
Rebosio (Olaszország)	14...20	305...1484								
	20	1484			25/24	4300	120		650	275
VKI – VEIKI	25	1334...6014			16/15... 88/87	3100...17590	50	180	550...2100	230...900

A szabadvezetési műanyag szigetelők kialakítására és technológiájára vonatkozó főbb adatok

Gyártó	Konstrukció		Bevonat	Befogás	Ernyőrendszer felvitelének módja
	rúd	ernyő			
Rosenthal (NSZK)	GFK-EP	SI	SI	kúpos	RTV-SI: a rúd tapadás- közvetítővel való kezelése, ernyőnkénti lép- csős öntés, tér- hálósítás szoba- hőmérsékleten HTV-SI: tapadasközve- títő bevonat fel- vitele extrudá- lással, ernyők utólagos felvi- tele
Ohio-Brass (USA)	GFK-EP	EPDM	SI zsr	henge- res, sajtott	Az EPDM előre elkészített ernyőket ráhúzzák az üveg- szálas rúdra. A rúd és ernyő közé spe- ciális megoldással szilikon- zsrít juttatnak, az egyes ernyők összeépülését ver- tikális irányú összenyo- mással érik el
Rebosio (Olaszország)	GFK	PTFE	flex. gyanta- kiöntés	henge- res, sajtott	Az ernyőket külön készí- tik, majd összehegesztik egyetlen egységgé és rá- húzzák a rúdra. A rúd és ernyők közti teret a rúd impregnálógyantájával ki- töltik és hőkezlik
VKI – VEIKI (Magyarország)	GFK-EP	EP RTV. SI	–	kúpos	Az ernyőket nyomás alatti öntési eljárással, egy lép- csőben viszik fel 220 kV- nak megfelelő méretig

Rövidítések: GFK üvegszál erősítésű műanyag.
EP epoxigyanta impregnálás vagy kiöntőanyag.
SI szilikonelasztomer.
RTV szobahőmérsékleten térhálósodó.
HTV melegen térhálósodó.
EPDM etilén-propilén-dienmonomer.

A szigetelők alkalmazásával kapcsolatosan szerzett tapasztalatok alapján a jövőbeni felhasználás főbb területei a következők:

- szabadvezetéki tartó- és feszítőoszlopokon, ahol a műanyag szigetelő által nyújtott műszaki előnyök gazdaságos megoldást nyújtanak az oszlopméret csökkentésével, elsősorban a nagyobb feszültségek tartományában;
- távvezetékek átépítése nagyobb feszültségre az oszlop lényeges változtatása nélkül
- kis helyigényű távvezetékeken (pl. városi bevezető szakaszok), szigetelő keresztkar alkalmazásával;
- távvezeték kompaktálásra fázistartó szigetelőként;
- feszültség alatti munkavégzés eszközeként.

A felsorolt területeken az elmúlt évtizedben a gyártók és felhasználók komoly tapasztalatokra tettek szert. A szabadvezetékeken üzemelő műanyag szigetelők száma százazres nagyságrendű, nagyobb mértékű elterjedésük csak később várható. A szélesebb körű felhasználás egyik akadálya a nemzetközi előírások hiánya, amely áthidalására a CIGRÉ és IEC illetékes bizottságaiban már alapos felmérő- és a vizsgálati előírások kidolgozására irányuló munka indult meg [6], [9], [10].

2. A szigetelők gyártástechnológiájának kérdései

A szabadvezetéki műanyag szigetelők széles körű elterjedését nagymértékben befolyásolja az, hogy gyártástechnológiájuk

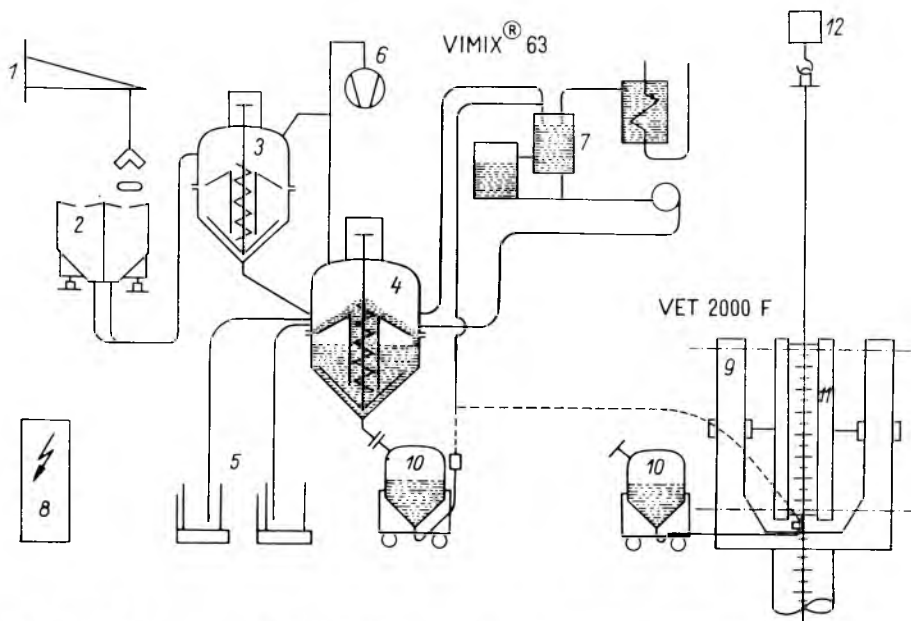
- korszerű, racionális tömegtermelést képes-e biztosítani,
- a technológia (a konstrukcióval együtt) lehetővé teszi-e magas szintű minőségi követelmények kielégítését, hibahelyektől való mentességet.

A 25-4. táblázatban közölt adatok szerint a jelenleg alkalmazott gyártástechnológiák két csoportba oszthatók, aszerint, hogy a szigetelő ernyőt egyenként vagy nagyobb csoportban viszik fel a teherviselő rúdra. Belátható, hogy az előbbi két követelményt leginkább éppen a VKI-ban kifejlesztett öntési technika elégíti ki, amely ma már mind cikloalfás epoxigyanta, mind melegen térhálósodó (HTV) szilikonelasztomer anyagok öntésére alkalmas.

Jogosan felmerülhet a kérdés, hogy ez a technológia – nyilvánvaló előnyei mellett – miért nincsen szélesebb körben elterjedve. A válasz két irányból közelíthető. Egyrészt: a nyomás alatti öntési technika olyan kutatási–fejlesztési, szellemi és eszközvertikumot igényel, amely a többi kutatóhelyen általában nem állt rendelkezésre. Másrészt: a fejlesztési irányzatok rögzítésekor ezt a technológiát elsősorban az epoxigyantákkal kapcsolták össze, amelyeknek szabadtéri alkalmazhatóságával kapcsolatosan komoly kételyek merültek fel. Ezzel szemben a VKI-ban már a 70-es évek második felében rendelkezésre álltak a nyomás alatti öntési technika ipari bevezetésének feltételei és az alapanyag-fejlesztőkkel közös munkával elértük azt, hogy ez a technika melegen térhálósodó szilikonelasztomerekre is alkalmas.

A VKI-ban kifejlesztett technológia alapvetően a reaktív öntőgyantákhoz kifejlesztett nyomás alatti öntést alkalmazza a szigetelő ernyőrendszerének kialakításához. Egy öntési ciklusban előállítható 2 db 120, ill. 220 kV-os szigetelő ernyőrendszere, a ciklusidő 25 min. A berendezések egymáshoz kapcsolódását és az anyagáramlás útját a 25-3. ábra mutatja be. A technológia gépi berendezéseit is kifejlesztettük, ezek három főbb egységbe sorolhatók:

- VIMIX rendszer,
- öntőgép,
- öntőszerszám.



25-3. ábra. A Villamosipari Kutató Intézetben kifejlesztett, műanyag szigetelőket gyártó sor elvi sémája

1 zsákmarkoló daru; 2 töltőanyag-bemérő berendezés; 3 töltőanyag-keverő; 4 gyantakeverő; 5 gyanta- és térhálósító-bemérő rendszer; 6 vákuumrendszer; 7 mosó – regeneráló egység; 8 villamos vezérlőszekrény; 9 VET 2000F öntőgép; 10 mobil adagolótartályok; 11 ernyőrendszeröntő szerszám; 12 rúdhelyező berendezés

Külön említendők még a kiegészítő berendezések, amelyek a sorozatgyártás folyamata-
tosságát segítik elő.

A következőkben a berendezéseket funkcionális szerepük alapján ismertetjük.

2.1. VIMIX rendszer

Funkciója elsősorban az ernyőrendszer anyagát képző reaktív gyantakompozíció elkészítése az egyes komponensekből, ill. töltőanyagokból. Főbb részegységei:

- töltőanyag-előmelegítő, szárító és vákuumozható keverő;
- bemérőtartály a gyantakomponensekhez;
- fűthető és vákuumozható homogenizáló tartály.

A kompaundálást kiszolgálja még a zárt rendszerű töltőanyag-bemérő és a nemzet-
közileg is újnak számító mosóegység, amely berendezés, a csövek és szelepek oldó-
szeres tisztítását oldja meg szintén zárt rendszerben, oldószer-regenerálással.

2.2. Öntőgép

Az öntőgép a két öntőszerszámfél rögzítésére és vízszintes irányú mozgására (zárás,
nyitás) szolgáló, hidraulikus vezérlésű, jól automatizált berendezés. A 20...180 °C
tartományban fűthető asztallapok mérete 450×2200 mm, a záróerő 140 kN. A kom-
paundálóból az előkészített kompozíció egy mobil nyomótartályba kerül. Az öntő-
szerszám és a nyomótartály közötti anyagáramlást, valamint a szerszám alulról törté-
nő elárasztását a gép öntőfeje vezérli, az elárasztás sebességét a nyomótartályban
uralkodó nyomás határozza meg.

2.3. Öntőszerszám

A szabadvezetéki szigetelők öntőszerszáma acélból készült, kétfészkes, a hossz tengely síkjában osztott, két szimmetrikus félből áll. Mozaik rendszerben épül fel, alapelemei fél ernyőnek megfelelő profilt alkotnak. A szigetelőhosszúság és ernyőkiosztás tekintetében nagy szabadságot biztosít ez a megoldás, elvileg 1...51 ernyőmagasságnak megfelelő szigetelő egy lépcsőben való kialakítására alkalmas.

2.4. Kiegészítő berendezések

2.4.1. Armatúrasajtoló berendezés

Az általunk kifejlesztett ún. szárnyasékes fémszerelvény (végarmatúra) megfelelő erőbevezetést biztosít. A rúdhoz való stabil rögzítést célberendezés létesíti, amely egyúttal elvégzi a felszerelvényezett rúd húzó-próbaterhelését is a 750 kV-nak megfelelő szigetelőhosszúságig.

2.4.2. Felületelőkészítő homokolóberendezés

Ez a berendezés az üvegszálas rúd felületének tisztítását, a fajlagos felület növelését biztosítja az optimális határréteg kialakítása érdekében. Kivitelét tekintve egy hermetikus manipulátorkamra rögzített szórópisztollyal, rúdelőtollással és annak egyidejű forgatásával.

2.4.3. Rúdhelyező berendezés

Ez a többlépcsős szigetelőöntésnél (220 kV-nál nagyobb feszültségű szigetelő) a függőleges irányú mozgatót biztosítja.

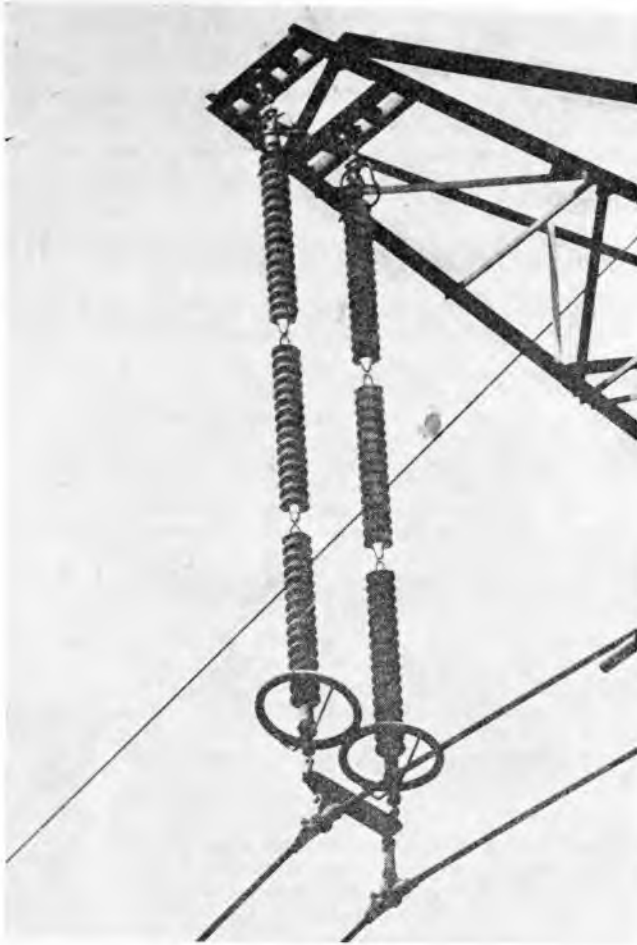
3. Áttekintés

A szabadvezetéki, műanyag, rúdszigetelők fejlesztése, üzemeltetése már elérte azt a szintet, ami alapján ipari bevezetésük megindulhat. A nagyobb léptékű elterjedésnek a felhasználók konzervatívizmusa mellett műszaki okai és gazdasági akadályai is vannak. A műszaki okok nagyrészt a fejlesztés kezdeti stádiumában elkészített szigetelők meghibásodásának értelmezésére vezethetők vissza. Gazdasági akadály a műanyag szigetelők viszonylag magas ára, amelyet azonban előnyeiknek tudatos kihasználása a speciális alkalmazási területeken már ma is kompenzál (25-4. ábra).

A hazai fejlesztés eredményeként a szabadvezetéki műanyag rúdszigetelők családja nemzetközi színvonalon rendelkezésre áll. Nemzetközi helyzetünket külön kiemeli az a tény, hogy korszerű, iparjogilag védett technológiát és a gyártóeszközök teljes vertikumát is kifejlesztettük, nagysorozatú gyártás feltételeit is figyelembe véve. Miután az előbbieket a VKI-ban létesített referenciafélüzemben gyártás közben is be tudjuk mutatni, szellemi eredményeink licenc, ill. know-how formájában is realizálhatók.

Irodalom

- [1] *Bognár A.—Paulusz M.: Szabadtéri műanyag szigetelők fejlesztése és vizsgálata. Elektrotechnika, 1974. 67. k. 180...184. old.*
- [2] *Bognár, A.—dr. Kelemen, A.—Leyrer, R.—Paulusz, M.—Szaploneczay, P.: Entwicklung und Prüfung von freiluft-beständigen Kunststoffisolatoren. IWK, Ilmenau, 1977.*



25-4. ábra. 400 kV-os műanyag szigetelők távvezetéken, működés közben

- [3] *Bognár, A. – dr. Kelemen, A. – Paulusz, M. – Szaplóczay, P.*: Razvitie plasztmasszovüh izoljatorov dlja VL naprjazsenijem 120...750 kV. Vszemirnüj elektrotechniceszkij kongressz, 2. szekcija, doklad 25, 1977, Moszkva.
- [4] *Bognár, A. – Paulusz, M.*: Study of performance of 120 and 400 kV composite insulators. IEE Conference Publications No 177, Dielectric Materials, Measurements and Application, 1979 p. 338...341.
- [5] *Bognár, A. – Paulusz, M.*: Development, application and service experiences of 120-, 400- and 750 kV composite insulators. 2nd International Conference on „Progress in Cable and Overhead Lines for 220 kV and above”, 1979, London.
- [6] *CIGRÉ Study Committee 22 Working Group 22–10 (Composite Insulators)*: Technical Basis for Minimal Requirement for Composite Insulators. 22–80 (WD 10) 22, 1982.
- [7] *Bauer, A. E.*: The development of new polymeric and composite insulators. World Electrotechnical Congress. Section 2. Paper 24, 1977, Moscow.

- [8] *Weihe, H. — Macey, R. E. — Reyuders, J. P.*: Field experience and testing of new insulator types in South Africa. CIGRÉ 1980, Session Paper 20—03.
- [9] *CIGRÉ Study Committee 22 Working Group 22—10 (Composite Insulators)*: Suspension and tension composite insulators for overhead lines. Brittle fracture at low mechanical stresses. 22—80 (IWD 10), 23, 1982.
- [10] *IEC TC 36 WGO7*: Tests for composite insulators for voltages greater than 1000 V. Fourth Draft, 1981. oct.

26.

Energetikai transzformátorok szigetelésdiagnosztikája deszorpciós áramgörbe számítógépes analízisével

SCHMIDT JÁNOS—CSÖMÖRE SÁNDOR—NAGY ZOLTÁN (MVMТ)

ÖSSZEFOGLALÁS

A deszorpciós áramgörbe időbeni lefutását a szigetelésben lezajló, értékes diagnosztikai információkat hordozó polarizációs jelenségek határozzák meg. A polarizációs jelenségeket intenzitásuk és időállandóik jellemzik. Ezek becslésére a deszorpciós áramgörbe széles időtartományú felvétele alapján nyílik mód. A deszorpciós áram mérésére és időfüggvényének rögzítésére alkalmas mérőeszköz ismertetése. A digitális formában rögzített mérési adatok számítógépes feldolgozására alkalmas algoritmus és ennek számítógépes realizálása. A futtatások gyakorlati tapasztalatai.

ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТРАНСФОРМАТОРОВ МЕТОДОМ МАШИННОГО АНАЛИЗА ДЕСОРБЦИОННОЙ КРИВОЙ ТОКА

И. Шмидт—Ш. Чемере—З. Надь (МВМТ)

Резюме

Временной характер десорбционной кривой тока определяется поляризационными явлениями, происходящими в изоляции и носящими ценную диагностическую информацию. Поляризационные явления характеризуются интенсивностью и постоянной времени. Их оценка может быть выполнена на основе десорбционной кривой тока, снятой в широкой временной области. Описывается измерительное средство для измерения десорбционного тока и регистрации его временной зависимости. Алгоритм и его машинное решение для машинной обработки измерительных данных, зарегистрированных в цифровом виде. Практические опыты пусков.

ISOLATIONS DIAGNOSTIK FÜR ENERGETISCHE TRANSFORMATOREN DURCH DIE ANALYSE DER DESORPTIONSSTROMKENNLINE

J. SCHMIDT—S. CSÖMÖRE—Z. NAGY (MVMТ)

Zusammenfassung

Der zeitliche Verlauf der Desorptionsstromkennlinie wird durch Polarisationserscheinungen bestimmt, die sich in der Isolation abspielen, und wertvolle diagnostische Informationen tragen. Die Polarisationserscheinungen werden durch ihre Intensität und Zeitkonstanten charakterisiert. Diese können auf Grund einer Aufnahme der Desorptionsstromkennlinie in einem weiten Zeitbereich geschätzt werden. Es wird das Messgerät zur Messung und Erfassung der Zeitabhängigkeit des Desorptionsstromes beschrieben. Der Algorithmus der rechnergestützten Verarbeitung von den digital gespeicherten Messdaten und deren rechnerische Realisierung werden erörtert. Es wird auf die praktischen Erfahrungen der Programmläufe eingegangen.

INSULATION DIAGNOSTICS OF POWER TRANSFORMERS BY COMPUTER ANALYSIS OF DESORPTION CURRENT CURVES

BY I. SCHMIDT—S. CSÖMÖRE—Z. NAGY (MVMT)

Summary

The time dependence of desorption current is determined by polarization phenomena taking place inside the insulation, carrying valuable diagnostic information. Polarization phenomena are characterized by their intensity and time constants. They can be assessed by recording the desorption current curve over a broad time range. The paper describes the measuring instrument designed for the measurement of desorption currents and recording the time functions thereof. Algorithm suitable for computer processing of measurement data (recorded in digital form) and its realization by a computer. Practical experiences gained in the runs.

A hagyományos állapotellenőrzési módszerek, ill. mérések (abszorpció, diszperzió, a veszteségi tényező stb. mérése) nem képesek a szigetelési rendszer egészének pillanatnyi állapotáról, a szigetelés öregedés folytán bekövetkező romlásáról, a szigetelőanyag nedvességtartalmáról megbízható, valóság-hű képet nyújtani. E jelenségek elsősorban a nagy időállandójú polarizációs folyamatokat befolyásolják, így ezek vizsgálata több információt tartalmazó eredményeket szolgáltat.

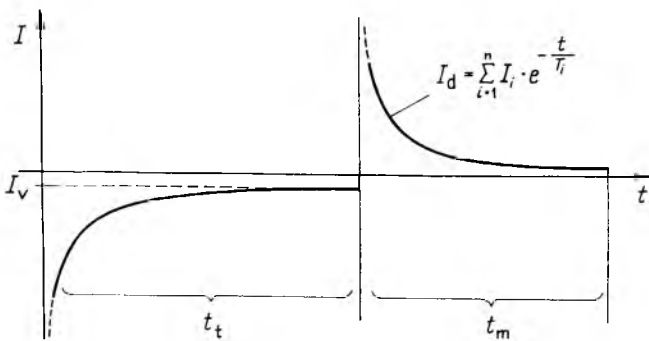
A szigetelési rendszer polarizációinak egyik vizsgálati módszere a deszorpció áram mérése. Ehhez a méréshez a vizsgált szigetelést valamennyi polarizáció aktiválásához elegendő ideig egyenfeszültségre kapcsolva feltöltjük, majd árammérőn keresztül rövidre zárva a kisütőáramot (deszorpció áram) regisztráljuk.

Az áram—idő függvény exponenciális tagok összegének tekinthető, amelyek mind egy-egy nagy időállandójú polarizáció hatását reprezentálják. E függvény összetevőinek időállandói és intenzitásai számítógép segítségével meghatározhatók. A számítógépes feldolgozáshoz a deszorpció áram—idő függvény nagy pontosságú és elegendően hosszú ideig tartó mérésére van szükség. Természetesen az adatokat digitalizálni és közvetlenül feldolgozásra alkalmas formában tárolni kell. A vizsgált objektum árama, a deszorpció áram 26-1. ábrán látható. Az áram—idő függvény szaggatott vonallal jelzett szakaszai a mérés számára érdektelenek, a geometriai kapacitás töltéséből és a kisütéséből adódnak.

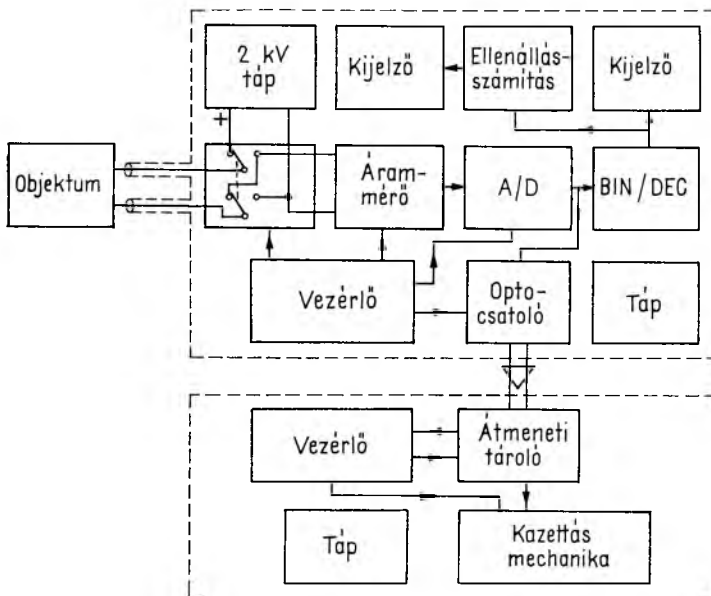
1. Célműszer a deszorpció áram mérésére

A deszorpció árammérésére kifejlesztett célműszer blokkvázlata a 26-2. ábrán látható. A szaggatott vonallal elkülönített blokkok külön készülékdobozban találhatóak. Az *I.* árammérő, a digitális átalakító és a *II.* mágnesszalag-kazettás adatrögzítő között optocsatoló blokk biztosítja a galvanikus elválasztást. Erre azért van szükség, mert a mérőbemenetek földfüggetlenné tehetők, hogy földelt objektum mérésekor a földhurok zavaróhatását elkerüljük.

A mérőeszköz működése a következő: Először programkapcsolóval beállítható t_i ideig 2 kV egyenfeszültséget kapcsol a mérendő objektumra. A beállítható töltési idő 0...90 min, 10 min felbontással. A kapcsolóegység nagyfeszültségű üvegcsöves relékből van felépítve. A töltés ideje alatt 100 ms mintavételezési sűrűséggel méri a töltőáramot. Az árammérő négy méréshatárral 4 digitális kijelzéssel automatikus méréshatárváltással 4095 μA -tól 0,001 μA -ig mér. A nagyfeszültségű tápegység stabilitása lehetővé teszi, hogy töltés közben az objektum szivárgási ellenállását meghatároz-



26-1. ábra. Az objektum áramának időfüggvénye
 t_t töltési idő; t_m mérési (kisütési) idő; I_v vezetési (szivárgási) áram;
 I_d deszorpciós áram



26-2. ábra. A deszorpciós árammérő blokkvázlata
 (a kapcsolók *Töltés* állásban vannak)

zuk; ezt a műszert a töltőfeszültségből és a pillanatnyi töltőáramból osztással számítja és külön kijelzőn jeleníti meg.

A töltési idő letelte után a töltőfeszültséget lekapcsolja és a próbatárgyat az árammérőn keresztül kisüti. Az áram – idő függvényt változó sűrűséggel mintavételezi úgy, hogy mindegyik sűrűséggel azonos számú mintát vesz. Az A/D átalakító bináris kódban dolgozik, mivel így kevesebb a tárolókapacitás-igény, mintha ugyanazt az adatot BCD-kódban kellene tárolni. A kijelzéshez és a szivárgási ellenállás meghatározásához ezért kódkonvertálásra van szükség. A mérési adatokat az optocsatolón keresztül az adatrögzítőbe továbbítja, amely azokat átmeneti tárolóba tölti. A beállított t_m lejártával a kisütőáram mérése befejeződik, és az adatrögzítő a tárákban levő adato-

kat kazettára másolja. A mérést és adattárolást programozott vezérlőlogika irányítja. A két egység egymáshoz szinkronizálásáról külön vezérlőjelek gondoskodnak.

Az adatrögzítő lehetőséget biztosít arra, hogy a kazettára billentyűzetről dátumot és mérésazonosítókat írassunk fel; ezeket 12 digitos kijelzőn ellenőrizhetjük.

Az árammérőnek van még analóg kimenete pl. X–Y rekorder csatlakoztatására, és digitális multiplexelt adatkimenete általános felhasználásra. A speciális hőmérő-adapter csatlakoztatásával a vizsgált objektum hőmérsékletét is mérni lehet, amelyet szintén az árammérő-kijelzőn olvashatunk le.

Ugyancsak ezen a kijelzőn lehet leolvasni a töltőfeszültség értékét — természetesen mérésszünetben — a 2 kV ellenőrzés üzemmódban.

2. Számítógépes kiértékelő program

A mérési adatokat feldolgozó program PL/1 nyelven készült. Az adatok beolvasása után elvégzi a bináris–decimális átkódolást, majd a pontthalmaz által reprezentált görbe simítását. Ezután iterációs eljárás következik, amelynek során a program három, de legfeljebb 10 polarizációs időállandót és a hozzá tartozó intenzitást határoz meg. A feldolgozás célja tehát a mérési adatokra legkisebb hibával illeszthető exponenciális függvényt paramétereinek meghatározása. Más szóval keressük azt az

$$F(t) = \sum_{j=1}^m A_j e^{-a_j t} \quad (1)$$

alakú függvényt, amely a mérési adatok által reprezentált időfüggvényt megadott kritérium alapján legjobban közelíti. Itt m az exponenciális tagok előzetes becslésen alapuló, előre megadandó száma, az A_j intenzitások és a_j csillapítási tényezők pedig a keresett paraméterek.

A számítógépes program létrehozásakor két fő feladatot kell megoldanunk:

1. Találnunk kellett egy olyan eljárást, amely alkalmas arra, hogy viszonylag kis mértékű hibával terhelt mérési adatokból az (1) szerinti időfüggvényt rekonstruálja.
2. A programot „hibatűrővé” kellett tennünk, mivel a mérési adatok természetük-nél fogva „zajosak”. Mindkét feladat megoldása során nagy nehézségekbe ütköztünk. Az első esetben a fő probléma onnan ered, hogy az exponenciális összetevők nem alkotnak ortogonális függvényrendszert, s ezért valamely idősor (1) szerinti felbontása csak meglehetősen pontatlansággal végezhető el. A közelítés hibája m növelésével fokozatosan csökken, azonban kisebb m értéknél a mérési hibák kevésbé éreztetik hatásukat, míg nagyobb tagszám esetén függvényünk a mérési hibákkal terhelt adatokra fog egyre jobban illeszkedni. Mindezek következtében rendkívül sok múlik a kiértékelést végzők gyakorlati tapasztalatain, amelyekre különösen az összetevők számának előzetes becslésekor, ill. a kapott paraméterek megítélésekor van nagy szükség.

A második feladat megoldásakor egészen más természetű, mérés technikai jellegű problémával találtuk szemközt magunkat. Természetesen várható volt, hogy a mérést kísérik bizonyos, a mérési elrendezésben lezajló mellékjelenségek, és ezek hatása a mért értékekben is megnyilvánul majd. A torzulás mértéke azonban minden elképzelésünket felülmultha. A mérési elrendezésben ugyanis olyan feltöltődési és lengési jelenség mutatkozott, amely a mérendő folyamatot elnyomva a görbe kezdeti szakaszának még a jellegét is teljesen megváltoztatta. A 26-3. ábrán látható regisztrátum tanúsága szerint a kezdeti szakaszban a mérés transzienseiből származó „zaj” olyan erős, hogy már nem lehet felismerni, mire szuperponálódott.

Az (1) szerinti közelítő függvény paramétereinek meghatározására a szakirodalom [3] összesen kétféle módszert ismertet. Az egyik egy direkt eljárás, többnyire név nélkül, egyes szerzők által Prony-módszernek nevezve. A másik eljárás az iterációs módszerek családjába tartozik, kidolgozói Lerner, Szigyelnikov és Szmirnova voltak. Elsőként a Prony-módszert próbáltuk ki, mégpedig abszolút hibamentes „mérési adatsorral” egy, az (1)-ben adott alakú függvényből generált adathalmazzal. A Prony-módszer direkt eljárás, vagyis a feladatot mindössze két darab m -ismeretlenes lineáris egyenletrendszer egymást követő megoldására vezeti vissza. Az egyenletrendszerek előállításához a legkisebb négyzetek módszerét használja. Azt tapasztaltuk, hogy a módszer bizonyos körülmények között még az abszolút hibamentes, generált adatsorral is instabillá válik. A részletes vizsgálatok megmutatták, hogy ennek oka a módszer együtthatómátrixainak gyenge meghatározottsága. Ez csaknem a szingularitásig fokozódik akkor, ha a mintavételezés túl gyakori az időfüggvény változási sebességéhez képest. Valóságos körülmények között a mért időfüggvény változási sebességét természetesen előre nem ismerjük, így a mintavételezési időhöz Prony-módszer szempontjából optimális beállításához az elegendő sűrűséggel mintavételezett adathalmaz többszöri ritkítására, feldolgozására lehet szükség. Ez a tény, valamint az, hogy a módszer ekvidisztrans adatsort kíván, az eljárás elvetésére készítetett bennünket.

Ezt követően a már említett iterációs módszerrel próbálkoztunk, amely végül is meghozta a várt eredményt. Az eljárás gondolatmenete a következő:

Legyen $f(t)$ a mért jellemző időfüggvénye, $f_i = f(t_i)$ a függvény értéke a t_i időpillanatban, a mérési adatok száma n , a közelítéshez felhasznált exponenciális tagok száma pedig m . Közelítő függvényünk a k -adik iterációs lépés után:

$$F^k(t) = \sum_{j=1}^m A_j^k e^{-a_j^k t}. \quad (2)$$

Jelölje továbbá F_i^k a (2) szerinti közelítő függvény t_i időpillanathoz tartozó értékét. Határozzuk meg az (1)-ben szereplő A_j és a_j paramétereket a legkisebb négyzetek módszerével.

A relatív eltérések négyzetösszege a k -adik iterációs lépést követően:

$$D^k = \sum_{i=1}^n \left[\frac{f_i - F_i^k}{f_i} \right]^2. \quad (3)$$

A (3)-ban burkoltan szereplő A_j^k és a_j^k paramétereket változtassuk úgy, hogy a következő iterációs lépésben D^{k+1} értéke minimális legyen. Ez nyilvánvalóan azt jelenti, hogy:

$$\frac{\partial D^{k+1}}{\partial A_j^{k+1}} = 0 \quad \text{és} \quad \frac{\partial D^{k+1}}{\partial a_j^{k+1}} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (4)$$

Az egyszerűség kedvéért a változókként kezelt paramétereket jelöljük egyetlen betűvel, amelynek indexe viszont 1-től 2 m -ig terjed:

$$q_j = \begin{cases} A_j, & \text{ha } j \leq m, \\ a_{j-m}, & \text{ha } j > m. \end{cases}$$

Ezzel felírva (4) a következő alakot ölti:

$$\sum_{i=1}^n \frac{f_i - F_i^{k+1}}{f_i^2} \cdot \frac{\partial F_i^{k+1}}{\partial q_j^{k+1}} = 0. \quad (5)$$

(5)-ben szerepel a k -adik lépés után még ismeretlen F^{k+1} függvény, valamint az ugyancsak ismeretlen parciális deriváltak értékei. Ennek feloldására linearizáljuk az F^{k+1} függvényt a q^k pont környezetében:

$$F^{k+1} = F^k + \sum_{i=1}^{2m} \frac{\partial F^k}{\partial q_i^k} (q_i^{k+1} - q_i^k). \quad (6)$$

Továbbá kis lépésközt feltételezve alkalmazzuk a

$$\frac{\partial F^{k+1}}{\partial q_i^{k+1}} \approx \frac{\partial F^k}{\partial q_i^k} \quad (7)$$

egyszerűsítést. (6)-ot és (7)-et (5)-be behelyettesítve a következő lineáris algebrai egyenletrendszert kapjuk:

$$C^k \Delta q^{k+1} = R^k. \quad (8)$$

Itt C^k $2m \times 2m$ -es négyzetes mátrix, Δq^{k+1} és R^k pedig $2m$ -elemű oszlopvektorok. C^k és R^k elemeit a következő összefüggések definiálják:

$$C_{ji}^k = \sum_{i=1}^n \frac{1}{f_i^2} \frac{\partial F_i^k}{\partial q_j^k} \frac{\partial F_i^k}{\partial q_i^k},$$

$$R_j^k = \sum_{i=1}^n \frac{f_i - F_i^k}{f_i^2} \frac{\partial F_i^k}{\partial q_j^k}, \quad (9)$$

$$j = 1, 2, \dots, 2m \quad l = 1, 2, \dots, 2m.$$

A (8) egyenletrendszer megoldása rendszerint csak közelebb visz D minimumához ugyanis az (5) egyenletrendszert két alkalommal is egyszerűsítettük, mindannyiszor pontatlanságot okozva. Ügyelnünk kell továbbá arra is, hogy a (7) szerinti egyszerűsítés feltétele—a kis lépésköz—is teljesüljön. Végül bármekkora is adódna Δq^{k+1} , egyik paraméterünk sem válthat előjelet az iterációs lépések során. Mindezek miatt q^{k+1} értékét a

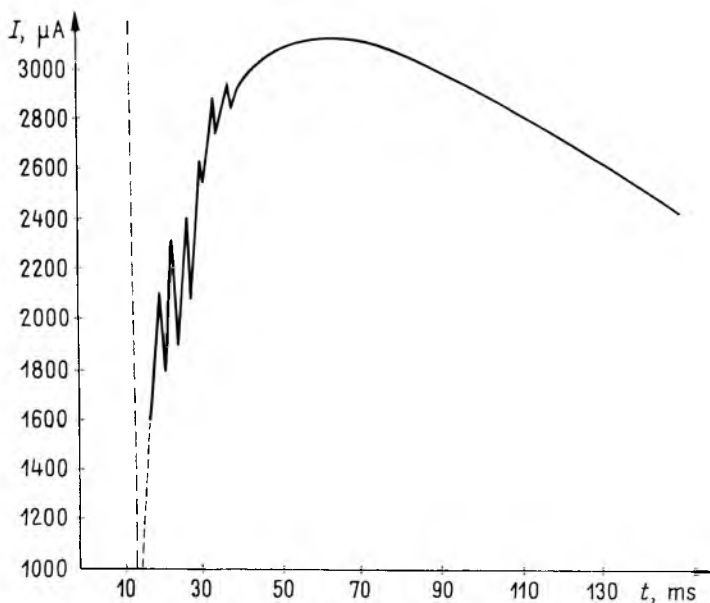
$$q^{k+1} = q^k + \lambda \Delta q^{k+1} \quad (10)$$

összefüggéssel határozzuk meg, ahol λ egy alkalmas, lépésről-lépésre változó lépésköz-korlátozó tényező.

Az iteráció menete ezek után a következő: Felállítjuk és megoldjuk a (8) egyenletrendszert. (10) alapján meghatározzuk q^{k+1} -et és az ehhez tartozó D^{k+1} négyzetes hibát. Ha D^{k+1} nem kisebb az előző lépésben számított D^k -nál, akkor λ megfelelő változtatásával (10)-ből újra számítjuk q^{k+1} -et és ismét elvégezzük az ellenőrzést. Ha D^{k+1} a D^k -nál kisebbre adódik, akkor a (8) egyenletrendszer felállításával és megoldásával rátérünk a következő iterációs lépésre. Az iterációt mindaddig folytatjuk, amíg D^{k+1} egy előre megadott korlát alá nem süllyed, vagy amíg az iterációs lépések a paraméterekben egy adott értéknél nagyobb változást eredményeznek. A módszer leginkább zavarérzékeny pontja a Lerner és társai által javasolt kezdetiérték-beállító algoritmus volt, amely a következő feltevéseken alapult:

1. A mérési adatsor vége felé már csak a legnagyobb időállandójú összetevő van jelen, ezért az utolsó három mérést egyetlen exponenciális taggal közelítve jó becslést kapunk mind az időállandóra, mind pedig a hozzá tartozó intenzitásra.
2. A mérési sorozat elején viszont a legkisebb időállandójú tag dominál, így az első három pontra egyetlen exponenciális függvényt fektetve jól megközelíthetjük a legkisebb időállandó értékét.

A többi időállandó értékét első közelítésben a két, már meghatározott időállandó között, geometriai sort követve helyezték el. A fennmaradó intenzitások kezdeti



26-3. ábra. A mintavételezett $I(t)$ függvény kezdeti szakasza lin–lin koordinátákban ábrázolva

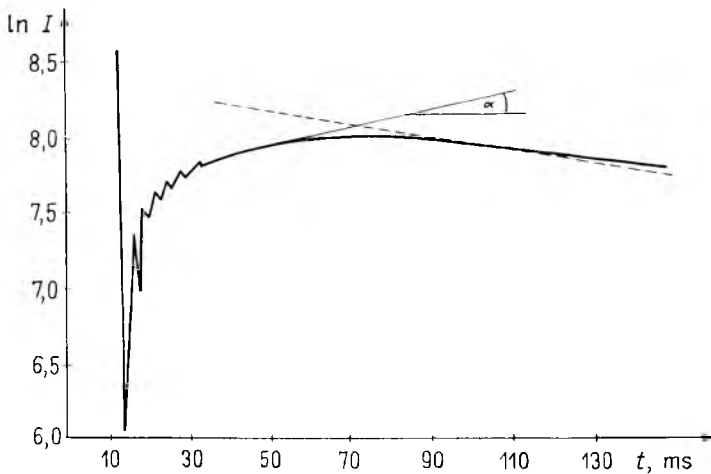
értékét viszont azonosra vették fel oly módon, hogy ezek, valamint a már meghatározott intenzitás összegben a $t = 0$ időpillanathoz tartozó mérési adat nagyságát adja ki.

Ez a módszer kiválóan alkalmazható akkor, ha az első három, valamint az utolsó három mérési adat szigorúan monoton csökkenő görbén helyezkedik el. Valóságos mérésből származó adatok esetében – amint ezt a 26-3. ábrán láthatjuk – a legkülönbözőbb zavarjelek terhelhetik a mérendő folyamatot tükröző adatokat.

Az ábrán jól látható, hogy a görbe kezdeti szakaszán „rajta ül” egy hangfrekvenciás (≈ 1 kHz), eleinte igen nagy amplitúdójú, de gyorsan csillapodó lengés. A nagy lengések szakaszát viszont feltöltődésszerű, emelkedő görbeszakasz követi. Egészen a 61 ms-nál bekövetkező lokális maximumig az adatok a kisülési görbére nézve semmilyen információt nem nyújtanak. Ezeket az adatokat ki kell szűrni.

A feladatot a következőképpen oldottuk meg: Ábrázoljuk az adatokat log–lin léptékű diagramon (26-4. ábra). A mérési adatsor végétől elindulva kilenc, egymást követő pontra fektessünk egy egyenest (egyszerű lineáris regressziós feladat). Regressziós egyenesünket mozgassuk visszafelé az adatsoron mindig 9–9 pontra fektetve mindaddig, amíg az egyenes iránytangense ötször egymás után pozitívrá nem adódik. Ekkor már biztosan átbillentünk a görbe emelkedő ágára, ezért az utolsóként alapul vett kilenc mérést és az időben őket megelőzőket dobjuk el. A regresszióhoz alapul vett mérések száma (kilenc) kompromisszum eredménye. Minél nagyobb ugyanis ez a szám, annál kisebb a veszélye annak, hogy a görbe kis mértékű hullámzása „becsapja” a programot. Az alappontok számának növelése viszont többlet számítási munkát is jelent.

A lecsengő rész kezdetének keresésekor algoritmusunk feljegyzi a regressziós egyenesek iránytangensei közül a legnagyobb abszolút értékűt. Mivel ez az előjeltől



26-4. ábra. A mintavételezett $I(t)$ függvény kezdeti szakasza \ln - \ln koordinátákban ábrázolva

eltekintve tulajdonképpen csillapítási tényező, ezért felhasználható a legkisebb idő-állandó kezdeti értékeként.

A bemutatott ábrákon már nem látható, de igen gyakori eset, hogy a mérés vége felé az áramerősség már nem vagy csak igen kis mértékben változik. Ha történetesen az utolsó három mérési adat azonos értékű, akkor a Lerner-féle kezdetiérték-beállító eljárás a legkisebb csillapítási tényezőre zérus értéket ad. Ez pedig a lépésköz-meghatározó algoritmuson keresztül az egész eljárást tévútra vezet. Ennek kiküszöbölésére a legnagyobb időállandó kezdeti értékét a mérés időtartamával egyező értékűre vesszük. Ez ugyan minden bizonnyal elég rossz közelítés, de legalább semmilyen körülmények között sem hat károsan az eljárás működésére.

A többi időállandó kezdeti értékét a Lerner-féle módszerhez hasonlóan geometriai sor szerint vesszük fel. Az intenzitások kezdeti értékét — jobb híján — a szűrő-eljárás által meghagyott első adatból határozzuk meg úgy, hogy az intenzitások egymás közt egyenlő nagyságúak legyenek, és összegük az első megmaradt mérés értékével egyezzen meg.

Az ismertetett iterációs eljárást különböző generált, mesterséges „zajokkal” terhelt adatsorokkal, valamint valóságos mérésből származó, kevés zajt tartalmazó adatokkal is kipróbáltuk. A módszer minden, általunk kipróbált esetben eredményhez vezetett. Az eljárás külön előnye, hogy nem követeli meg az egyenlő időközökkel való mintavételezést. A módszer sebessége elfogadható. A futási idő $1,5 \mu\text{s}$ átlagos utasítás-végrehajtási idejű, de gyors ($4 \dots 6 \mu\text{s}$ /utasítás) lebegőpontos aritmetikával rendelkező kisszámítógépen négy paraméterpár meghatározása esetén $2,5 \text{ min}$, hat paraméterpár esetén pedig 7 min volt.

Irodalom

- [1] Németh E.: Polarisation grosser Zeitkonstanten in Isolierstoffen. ISH. München, 1972.
- [2] Csépes—Kalocsay—Schmidt: A nagyfeszültségű olaj—papír szigetelési rendszerek ... VKI Közlemények, 1982.
- [3] Lerner, L. G.—Szigyelnyikov, A. V.—Szmirnova, T. Sz.: Metodika approkszimacii ekszperimentalno ... VNII Energomas Közlemények, 1976.

VIZSGÁLATOK ÉS VIZSGÁLÓKÉSZÜLÉKEK

27.

Mikroszámítógépes vezérlésű patkány-vérnyomásmérő rendszer

*BÍRÓ LAJOS—DANITZ BÉLA (GYÓGYSZERKUTATÓ INTÉZET)—
GLOFÁK F. PÉTER*

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben farmakológiai kutatások hatékonyságának növelésére készített berendezést ismertetünk.

A programozható, automatikus működésű berendezés segítségével egyidejűleg 12 kísérleti állat vérnyomása és pulzusszáma mérhető. Az ellenőrzött és kiértékelt mérési eredményeket sornyomtató rögzíti. A 12 csatornán egyidejűleg folyó mérést egyetlen mikroprocesszor irányítja. A mérések paraméterei széles határok között állíthatók.

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ КРОВЯНОГО ДАВЛЕНИЯ КРЫС С УПРАВЛЕНИЕМ НА МИКРО-ЦВМ

Л. Биро—Б. Данитз (Институт фармакологии)—Ф. П. Глофак

Резюме

В статье излагается устройство, изготовленное для повышения эффективности фармакологических исследований.

С помощью программируемого автоматически работающего устройства измеряется кровяное давление и число пульса одновременно 12 подопытных животных. Контролируемые и обработанные измерительные данные регистрируются печатающим устройством. Одновременные измерения на 12 каналах управляются единственным микропроцессором. Параметры измерений регулируются в широких пределах.

MIKROPROZESSORGESTEUERTES SYSTEM ZUR MESSUNG DES BLUTDRUCKES VON RATTEN

L. BÍRÓ—B. DANITZ (FORSCHUNGSINSTITUT FÜR ARZNEIMITTEL-FORSCHUNG)—P. F. GLOFÁK

Zusammenfassung

In dem Artikel wird eine zur Erhöhung der Effektivität der pharmakologischen Forschungen konstruierte Einrichtung beschrieben. Mit Hilfe der programmierbaren, automatisch funktionierenden Einrichtung kann der Blutdruck und Puls von 12 Versuchstieren gleichzeitig gemessen werden. Die kontrollierten und ausgewerteten Messergebnisse werden auf einem Zeilendrucker ausgegeben. Die an zwölf Kanälen gleichzeitig durchgeführten Messungen werden durch einen einzigen Mikroprozessor gesteuert. Die Messparameter können innerhalb weiter Grenzen eingestellt werden.

MICROCOMPUTER-CONTROLLED SYSTEM FOR MEASURING BLOOD PRESSURE OF RATS

BY L. BÍRÓ – B. DANITZ (INSTITUTE FOR DRUG RESEARCH) –
– P. F. GLOFÁK

Summary

The paper describes an equipment designed to increase the efficiency of pharmacological research work. This programmable equipment of automatic operation can be used for measuring the blood pressures and heart-rates of 12 experimental animals simultaneously. The checked and evaluated measurement results are recorded by a line printer. Simultaneous measurements in the 12 channels are controlled by a single microprocessor. The measurement parameters are variable over wide limits.

1. Bevezetés

Minden új gyógyszer bevezetését nagy számú vizsgálat előzi meg. A kívánt hatás mellett vizsgálni kell az esetleges mellék-, ill. kölcsönhatásokat is. A gyógyszerek nagy csoportjától a vérnyomás csökkentését, esetleg növelését várják, de a nem kifejezetten ilyen célú gyógyszereknek is lehetnek a vérnyomást befolyásoló hatásai.

A hatóanyag-kutatáshoz használt állatkísérletek statisztikus jellegűek, sok állaton hosszú időn át kell a kísérleteket folytatni. Ehhez olyan vérnyomásmérő készülékre van szükség, amely lehetővé teszi, hogy a kezelés alatt több héten vagy hónapon keresztül bármely időpontban a kísérleti állatok vérnyomását megmérhessék az állat károsodása nélkül. További követelmény, hogy a méréseket minél kevesebb élőmunka-ráfordítással, gyorsan és pontosan lehessen elvégezni, és az eredmények statisztikailag kiértékelve álljanak rendelkezésre.

2. A vérnyomásmérés problémája, a mérés elve

Kísérleti állatokon alapvetően két ismert úton lehet vérnyomást mérni. Az egyik az ún. véres módszer, ahol az állat testébe műtét útján bevezetett szondával történik a mérés. A másik lehetőség a kísérleti állat verőerén érzékelni a vérnyomást. Itt kell megjegyeznünk, hogy esetünkben a szisztolés vérnyomásérték mérése a cél. Alapvetően praktikus okokból a] humán vérnyomásmérésnél is alkalmazott Korotkov-módszert használjuk. Itt a szisztolés vérnyomás értéke az a nyomás érték, amelynél verőérben a pulzálás megindul.

Kísérleti állatokon, esetünkben patkányokon a mérésre csak egyetlen verőér van jól hozzáférhető helyen, ez a farokartéria. Ennek sajnos van egy rossz tulajdonsága, ami abból adódik, hogy a patkánynak a farka a hőleadó szerve. Itt a hőmérséklet függvényében kezdetben csak szaggatott pulzálást lehet érzékelni, majd a hőmérséklet emelkedésével a véráramlás folyamatossá válik.

Másik probléma, hogy az érzékelők által szolgáltatott jelszint nagyon kicsi, azaz rossz a jel–zaj viszony, esetenként pl. farokcsapdosáskor a zaj erősebb a jelnél. A biológiai adottságokból adódó szaggatott pulzáláson az állatnak 32...35 °C-ra melegítésével segítünk. A nagy zavar szintbe ágyazott hasznos jelet és szoftver úton szűrve tesszük egyértelműen kiértékelhetővé. Egy további problémát – a hatékony, gyors, nagyszámú mérést – a mérőcsatornák számának növelésével és ezek mikroszámítógépes felügyeletével oldottuk meg.

A következőkben egy ilyen vérnyomásmérő rendszert ismertetünk.

3. A vérnyomásmérő rendszer felépítése

A rendszer egységei:

- a kombinált érzékelő- és elszorítómandzsetták;
- a pulzusfogadó, erősítő- és nyomásvezérlő egység;
- a mikroprocesszoros, programozható vezérlő- és adatfeldolgozó egység;
- a mérési adatokat rögzítő nyomtató;
- a kísérleti állatok hőntartását biztosító melegítőrekeszek.

Az indirekt (vér nélküli) érzékelést a kísérleti állat farkára elhelyezett fotoelektromos érzékelő biztosítja. Előnye, hogy a nyomásmérésen alapuló érzékelőkkel szemben az elszorító és az érzékelő funkció egyetlen mandzsettában oldható meg. Az egymandzsettás piezoelektromos érzékelőkkel összehasonlítva a rázással szembeni érzéketlenség tűnik ki.

Az érzékelő- és pneumatikaegység számos feladata közül egyik az érzékelőktől kapott nagyon kis szintű jelek erősítése és a zavarójelek kiszűrése. A kellően felerősített pulzusjelek egymástól függetlenül egyidejűleg megfigyelhetők az előlapon elhelyezett kijelzőkön (fényjelzés). Egy választható csatornán hangjelzés is adható. A mandzsettákban levő nyomás és a kiválasztott állat pulzusszáma mutatóműszerről is leolvasható, így a kompresszor kézi vezérlésével programtól függetlenül is végezhető mérések. A pulzusjelek az érzékelő- és pneumatikaegység áramgenerátoros kimenetein keresztül jutnak el a központi egységbe. A nyomásérzékelő villamos jelét szigetelőerősítő viszi át, a program szerinti kompresszorvezérlés jelét pedig optikai csatolóáramkör fogadja.

A központi vezérlő- és adatfeldolgozó egység közös billentyűzeten keresztül biztosítja a mérések paramétereinek beállítását (adatbevitelt), a bevitt adatok kiolvasását, ill. a mindenkori nyomásérték számjegyes leolvasását. Ellenőrzi, hogy a méréshez szükséges összes paraméter bevitele megtörtént-e. Ellenőrzi a bevitt adatok helyességét (megvizsgálja, hogy az egyes értékek megadott határok között vannak-e). A helyesnek elfogadott paraméterekkel automatikusan ellátja a szükséges vezérlési feladatokat. A nyomás- és a pulzusjelek alapján egymás utáni lekérdezéssel, de a lekérdezési sebesség miatt gyakorlatilag egyidőben mind a 12 csatornán meghatározza a szisztolés vérnyomás értékét.

Mellékszolgáltatásként a pulzusszámértékeket is előállítja. Több mérésből álló mérési sorozat esetén átlagot képez, és megvizsgálja az egyes eredmények átlagtól való eltérését. Ha a mérések megadott százaléka a hibahatáron belül van, az átlagot fogadja el vérnyomásértéknek. Ellenkező esetben új mérési sorozatot indít. A feldolgozott és rendezett adatokat sornyomatón rögzíti. A pneumatika esetleges hibájából, de főleg kezelői figyelmetlenségéből származó tömitetlenség esetén hibajelzést ad. Hibajelzés történik akkor is, ha a mérési idő lejártakor érvényes adat nincs és a nyomás egy meghatározott érték alá nem csökkent le (ez esetben ugyanis a mandzsettában uralkodó nyomás a vérnyomás értéket meghaladja). Az érzékelőerősítők sávszűrő jellege miatt mind a valószínűnél kisebb, mind a nagyobb frekvenciájú jelek erősen csillapítva juthatnak csak át, ennek ellenére előfordulhat, hogy az állat mozgásából származó jelek a pulzusjelnél jóval nagyobb amplitúdóik révén hibás pulzusjelként a központi egység bemenetein megjelennek. Ezeket a hibás jeleket a program felismeri és csak a folyamatos pulzus megindulását veszi figyelembe.

A nyomtató soros üzemmódban dolgozik együtt a központi egységgel. Az egyes karaktereket ASCII kódban fogadja. A regisztrátum a beállított paramétereken kívül az összetartozó csatornaszám, mérésazonosító szám, vérnyomás- és pulzusszámértékeket tartalmazza. Tetszőleges számú másolat készítésére is van lehetőség.

A pontos pulzusérzékelés feltétele az előkondicionált állatok megfelelő hőmérsékleten tartása. A melegítőrekeszekben kb. $\pm 0,5$ °C pontossággal beállítható az optimális hőmérséklet. Biztonsági okokból a melegítők törpefeszültségről üzemelnek.

4. A vérnyomásmérő rendszer működése

Mint már említettük, a berendezés patkányok szisztolés vérnyomását méri. A mérés a következő módon folyik le. Kézi vagy programvezérléssel a kompresszor addig növeli az érzékelő- és elszorítómandzsettákban a nyomást, amíg a pulzusok meg nem szűnnek. Kézi üzemben a csatornánkénti kijelzők adnak tájékoztatást, de a kézi üzem csak egyedi mérésekre szolgál. Automatikus üzemben a mérés kezdetén bevíhető az a kívánt maximális p nyomásérték, amelynél a pulzálás már mindegyik állatnál biztonsággal megszűnik. A pillanatnyi nyomásértéket az érzékelő- és pneumatikaegység villamos analóg jelként szolgáltatja a központi egységnek, amelyben egy A–D átalakító teszi át a processzor által feldolgozható digitális formába. A maximális nyomás elérése után a nyomás csökkenni kezd. Az egyes csatornákon sorra megjelennek a pulzusok. A folyamatos pulzálás kezdetén uralkodó nyomások a szisztolés vérnyomások, amelyek a rendszer írható–olvasható tárába (RAM) kerülnek. A vérnyomás megállapítása után kerül sor a pulzusszám mérésére, amelynek során a program ellenőrzi a pulzálás folytonosságát. Ha az állat mozgásából (farokcsapás) származott az első pulzus, a korábban elraktározott vérnyomásértéket hibásnak minősíti és új értékkel helyettesíti.

Egy mérés beállítható T_1 ideig tart. Ennek elteltével a szintén beállítható C cikluszámtól függően új mérési ciklus indul. Ha a beállított és végrehajtott ciklusok száma megegyezik, a csatornánként és ciklusonként rendezett formában tárolt adatok feldolgozása kezdődik. Az átlagolás és szórásvizsgálat után kapott eredményeket a nyomtató a már ismertetett módon rögzíti. Órás léptékben beállítható T_2 időnként a C ciklusból álló mérési sorozat automatikusan ismétlődik.

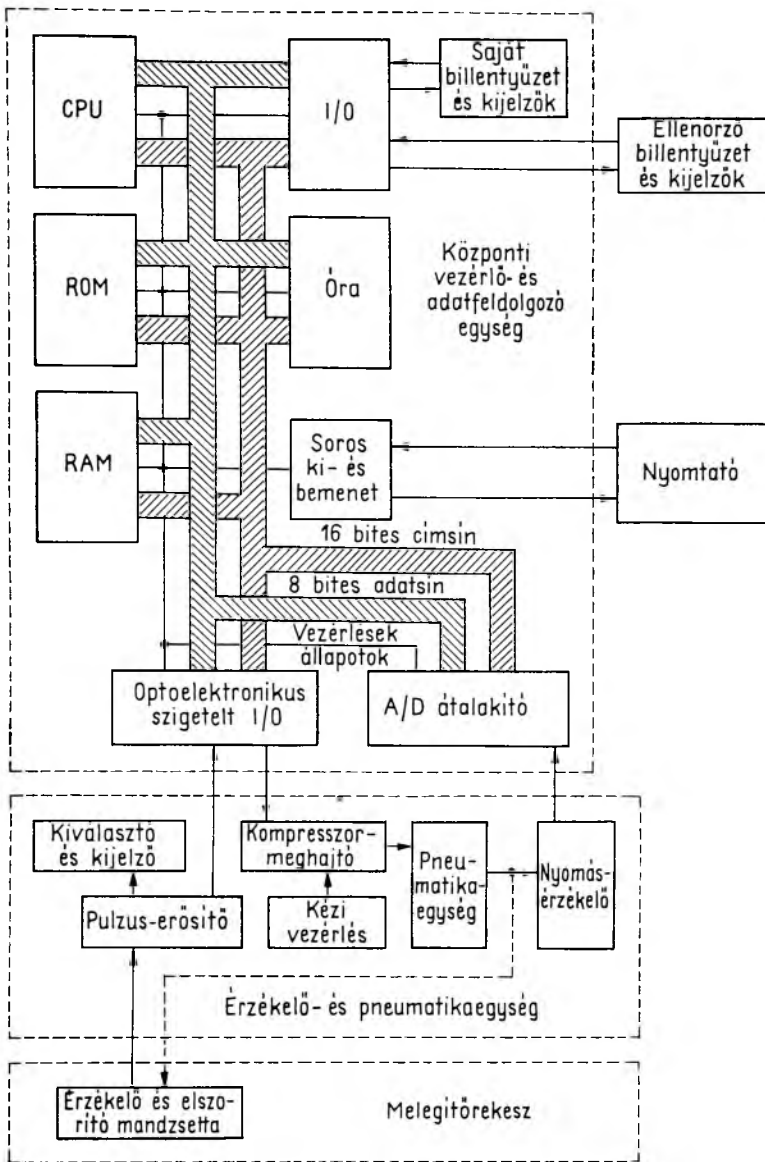
5. Áramköri megoldások

A rendszer felépítését a 27-1. ábra mutatja. A diszkrét elemekből, műveleti erősítők-ből és TTL integrált áramkörökből felépített érzékelő- és pneumatikaegységből a pulzuserősítő áramkörök érdemelnek különösebb figyelmet. A rendkívül kis amplitúdójú és a különböző zavarójelekre szuperponált hasznos jelek miatt nagy erősítésű és szelektivitású áramkörökre volt szükség. A bemeneti fokozatokban a kis zajfeszültségre is törekedni kellett. Kölcsönhatások elkerülése érdekében minden csatorna pulzuserősítője külön kártyán helyezkedik el. A kölcsönhatások további csökkentésére az egyébként stabilizált feszültségekkel táplált kártyákon saját feszültségstabilizátorokat is elhelyeztünk.

A mikroprocesszoros központi egységben egyetlen 8 bites mikroprocesszor látja el a 12 csatorna vezérlési és adatfeldolgozási feladatait. A 64 kbyte címzésére alkalmas CPU kártya pufferáramkörökön keresztül csatlakozik a 16 bites cím- és a 8 - bites adatsínre.

A villamosan programozható, csak olvasható tárat tartalmazó EPROM kártyák tárolják a programot, míg az írható–olvasható tárban (RAM kártya) az átmeneti adatok és a mérési eredmények találhatók.

A be-, ill. kimeneti kártyák részben a kezelőszervek, kijelzők, részben pedig a külső egységek és a közös cím- és adatsín közti kapcsolatot biztosítják. Mindegyi-



27-1. ábra.

kük teljesen címzett és pufferáramkörökön keresztül csatlakozik a sínre, így sokoldalúan használható más feladatok ellátására nagyterjedelmű rendszerekben is.

Az időzítéseket biztosító óráramkorból a relatív idő 100 μs ...24 h között 100 μs lépésekben olvasható ki.

6. A program néhány jellemzője.

A program és az áramköri megoldások kapcsolata

A program főbb részei:

- adatbevitel, kiolvasás, ellenőrzés,
- mérés a megadott paraméterekkel,
- adatkiértékelés,
- nyomtatás,
- egyéb programrészek.

A mérés természetéből adódóan a mérőprogramnak gyorsnak és kézben tartható időbeli lefolyásúnak kell lennie. Kb. 0,1 s idő alatt 12 csatornán kell végrehajtani a következő feladatokat:

1. Megállapítani, hogy
 - volt-e pulzus,
 - a pulzus első pulzus volt-e,
 - ha nem első pulzus, akkor az előtte beérkezett pulzus(ok) elfogadható(ek)-a (farokcsapás).
2. Megállapítani és a megfelelő tárrekeszbe beírni az első pulzus észlelésekor uralkodó nyomást.
Téves pulzus felismerésekor a már beírt nyomásértéket törölni, és a pulzusfigyelést újratekdeni.

3. Az egymástól teljesen független időpontban beérkező első pulzusoktól kezdve meghatározott időtartamig számolni a pulzusokat (pulzusszám megállapítása).

Mint a feladatokból kitűnik, a mérőprogram gépi kódban valósítható meg, és még ekkor sem lehet az időzítéseket a programra bízni, hanem külön óráramkört kell alkalmazni. A nyomtatóprogram órát ugyan nem igényel, de elfogadható pontosságú időzítést gépi kódban lehet elérni. Ami az adatrendező, áthelyező és kiértékelő programrészt illeti, a program BASIC szinten egyszerűbben megírható, de nagyobb tárkapacitást és különösen a ciklusutasítások esetén hosszú futási időt igényel. Ugyanez vonatkozik az adatbevivő, kiolvasó és ellenőrző programrészeire is.

Azt is figyelembe véve, hogy egy viszonylag egyszerű, a BASIC programok értelmezését lehetővé tevő fordítóprogram önmagában mintegy 4 Kbyte tárkapacitást igényel, a teljes programot gépi nyelven írtuk meg (a teljes program 5 Kbyte terjedelmű).

Az alkalmazott mikroprocesszor a National Semiconductor cég SC/MP II. típusa. Sínthől független be- és kimenetei speciális kiegészítő áramkörök nélkül biztosítják az egyszerű soros jelforgalmat. A három indexregiszter közül P1-et általában periféria hívásra, P2-t stackregiszterként, P3-at pedig rutinhívásra használjuk.

A be- ill. kimeneti kártyák címeit úgy osztottuk ki, hogy indexelt címmel, egy indexregiszter-állítással az összes periféria elérhető.

7. Általános megjegyzések

Egy berendezés megbízhatóságát többféle módon lehet definiálni. A sok diszkrét alkatrészt tartalmazó berendezésekben az egyes alkatrészek megbízhatóságából adódó, két meghibásodás közti átlagos időtartam lehet jellemző a berendezés megbízhatóságára. A nagy integráltsági fokú áramköröket tartalmazó mikroprocesszoros rendszerekben az egyes alkatrészek meghibásodásának gyakorisága kisebb számuk miatt kisebb, de a hibafelderítés a nagyobb bonyolultság miatt nehezebb. Itt a meg-

bizhatóság a gyors hibabehatárolással jellemezhető. A gyors hibabehatárolás két módon érhető el.

1. Az áramköri felépítés olyan, hogy a spontán alkatrészhibákat kivéve a meghibásodott alkatrész könnyen felismerhető legyen, ill. külső eredetű zavarójelek csak meghatározott alkatrészek hibáját okozhassák (pl. az egyes kártyák puffer áramkörökön keresztül csatlakoznak a közös sínre).
2. Billentyűzetet és kijelzőt tartalmazó vizsgálóáramkör csatlakoztatható a rendszerhez. Segítségével ellenőrizhetők a perifériák, a tároló-tartalmak, és futtathatók egyes programrészletek. Esetünkben egyetlen dugaszolható integrált áramkör cseréjével megoldható, hogy a rendszerprogram vagy a vizsgálóprogram fusson.

Irodalom

- [1] Dowd, A. D. — Jones, R. D.: A method for recording baby rat systolic blood pressures. *Journal of Applied Physiology*, Vol. 25, H 1968, máj. 6. sz.
- [2] SC/MP Microprocessor applications handbook, National Semiconductor, Pub. No. 420305239—001 A, February, 1977.

28.

Akciós potenciál és mechanogram jeleket feldolgozó mikroprocesszoros készülék

BOKOR ISTVÁN—GLOFÁK F. PÉTER

ÖSSZEFOGLALÁS

Az intra- és extracelluláris akciós potenciál, valamint a szívkontrakciót jellemző mechanogram jelek bizonyos paramétereinek (frekvencia, nagyság, meredekség stb.) mérése, kiértékelése fontos szerepet játszik a keringési rendszerre ható gyógyszerek kutatásában. A készülék összesen 11 funkcióban, beállítható periódusszámon keresztül méri az egyes periódusok jellemzőit, és a mérés végén kiírja a mért mennyiségek átlagértékét az empirikus szórással együtt. A cikk ismerteti a mérendő mennyiségeket, a főbb mérési eljárásokat, és a készülék elvi felépítését.

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ УСТАНОВКА ОБРАБОТКИ ПОТЕНЦИАЛА ДЕЙСТВИЯ И МЕХАНОГРАММ

И. Бокор—Ф. П. Глофак

Резюме

В исследовании лекарств, воздействующих на сердечно-сосудистую систему играют важную роль измерение и обработка определенных параметров (частота, величина, крутизна, и т. д.) внутриклеточных, внеклеточных потенциалов действия, а также механографических сигналов, характеризующих сердечных контаркций. Установка измеряет характеристики отдельных периодов в 11 функциях, с устанавливаемым количеством периодов — а в конце измерения записывает средние значения измеренных величин вместе с эмпирическим разбросом. В статье излагаются измеряемые величины, важнейшие методы измерения и принципиальное построение установки.

MIKROPROZESSOR-GESTEUERTES GERÄT ZUR VERARBEITUNG VON AKTIONSPOTENTIAL UND MECHANOGRAMM-SIGNALEN

I. BOKOR—P. F. GLOFÁK

Zusammenfassung

Die Messung und Auswertung bestimmter Parameter (Frequenz, Grösse, Steilheit etc.) der Signale des intra- und extrazellulären Aktionspotentials sowie der für die Herzkontraktion charakteristischen Mechanogramm-Signale spielen in der Forschung der auf das Kreislaufsystem einwirkenden Pharmaka eine wichtige Rolle. Mit Hilfe des Gerätes können in insgesamt 11 Funktionsarten, mit einstellbarer Periodenzahl die Charakteristika der einzelnen Perioden gemessen werden. Am Ende der Messung wird der Durchschnittswert der gemessenen Grössen zusammen mit dem Wert der empirischen Streuung ausgeschrieben. In dem Artikel werden die zu messenden Grössen, die hauptsächlichlichen Messmethoden und der prinzipielle Aufbau des Gerätes beschrieben.

Summary

The measurement and evaluation of intra- and extracellular action potentials and certain parameters (frequency, magnitude, slope etc.) of mechanogram signals typical of cardiac contractions, are an important part in the research of pharmaceutical products, acting on the circulatory system. The instrument measures, in altogether 11 functions, the characteristics of individual cycles through a preset number of cycles; and at the end of the measurement, it displays the average value of measured quantities, including the empirical scattering. The paper describes the quantities to be measured, the principal measurement procedures and the design features of the instrument.

1. Bevezetés

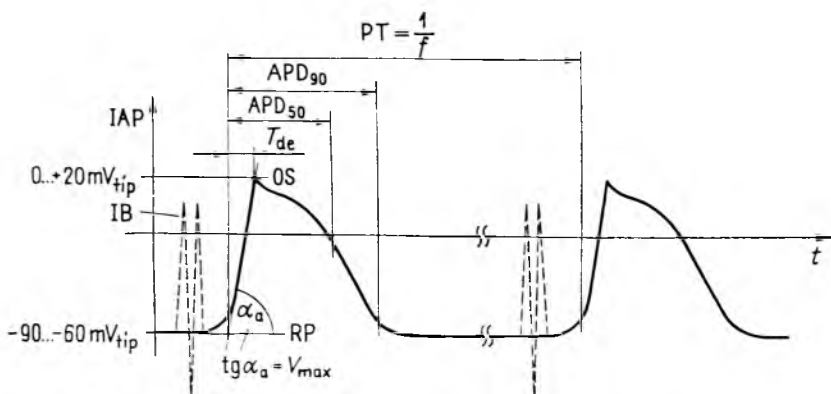
Az intra- és extracelluláris akciós potenciál-, valamint a szívkontrakciót jellemző mechanogram-jelek bizonyos paramétereinek (frekvencia, amplitúdó, maximális felfutási meredekség stb.) mérése, azok statisztikai kiértékelése fontos szerepet játszik a keringési rendszerre ható gyógyszerek kutatásában. A fenti mérésekhez szükséges mérőátalakítók már régóta a kutatóorvosok rendelkezésére állnak, azonban a szükséges paramétereket mérő berendezésekben nagy a hiány, és különösen nehézkes a statisztikai kiértékelés a hagyományos módszerekkel. A hagyományos statisztikai feldolgozás feltételez valamilyen paramétermérő készüléket és regisztrálóberendezést, a regisztrált adatok általában számítógépes feldolgozásra kerülnek. Ez az eljárás sok berendezést, és nagy aszisztensi munkát igényel.

Az akciós potenciál és mechanogram-jeleket mérő és feldolgozó berendezés a mérőátalakítókra csatlakoztatható, a mérést automatikusan elvégzi, majd sornymatatóra kinyomtatja az eredményeket.

Ingerelt preparátum esetén a gyógyszerek hatása lemérhető bizonyos küszöbértékek (küszöbinger, refrakter periódus) változásában. A készülék ezek mérésére is alkalmas, a küszöbértékek megmérése sokkal megbízhatóbb, mint a hagyományos, oszcilloszkópos megfigyelés.

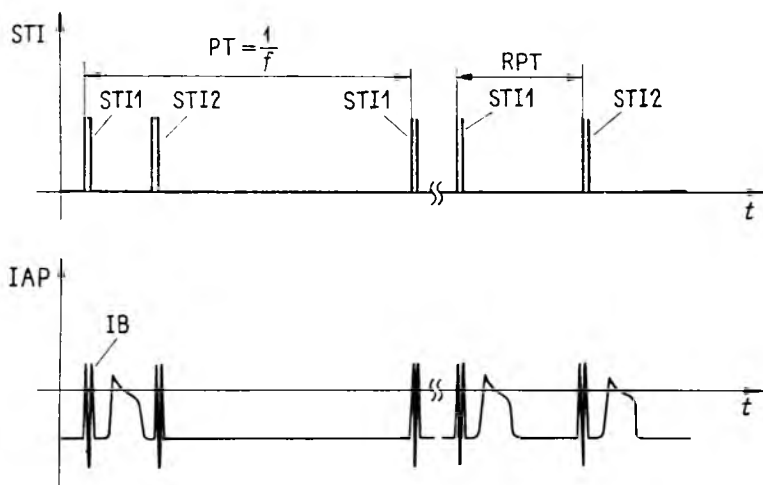
2. A mérendő mennyiségek

A szívizomsejtbe szúrt elektródról vett kváziperiodikus intracelluláris akciós potenciál jel tipikus lefolyása a 28-1. ábrán látható. (A másik elektród a szívizomdarabot körülvevő fiziológiás sóoldatba van helyezve). Mélni kell az intracelluláris akciós potenciál (továbbiakban IAP) nyugalmi értékét, az ún. nyugalmi membránpotenciált (RP), a maximális felfutási meredekséget (V_{max}), a depolarizációs túllövést (OS), az amplitúdót (OS-RP), az 50%-os repolarizációs időt (APD_{50}). Ez utóbbi az az idő, amely a depolarizáció kezdetétől eltelik addig, amíg a repolarizáció eléri az amplitúdó 50%-át; vagyis $OS-IAP(t) = 0,5 (OS-RP)$ ahol $IAP(t)$ -n az IAP jel időfüggvényt értjük. Mélni kell ezen kívül még a 90%-os repolarizációs időt (APD_{90}), amely időpontot az $OS-IAP(t) = 0,9(OS-RP)$ kifejezés határoz meg, és az f frekvenciát. Fenti mennyiségeket 1...99-ig beállítható periódusszámon keresztül kell mélni, majd ezek átlagát kell képezni az empirikus szórással együtt. A mérés elvégezhető spontán működő és ingerelt preparátumon is. Ingerelt esetben az IAP jelben megjelenik az ábrán



28-1. ábra. Az intracelluláris akciós potenciál jel (IAP) tipikus lefolyása és a mérendő mennyiségek

t idő; PT periódusidő; f frekvencia; APD_{90} 90%-os repolarizációs idő; APD_{50} 50%-os repolarizációs idő; T_{de} depolarizációs idő; OS depolarizációs tulloves; IB ingerbetörés; α_a a maximális depolarizációs meredekséghez tartozó hajlásszög; V_{max} maximális depolarizációs meredekség; RP nyugalmi membrán potenciál



28-2. ábra. A refrakter periódus értelmezése

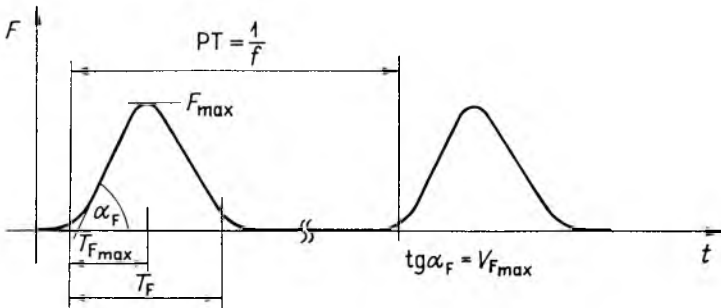
STI ingerlő impulzus időfüggvény; STI1 első ingerlő impulzus; STI2 második ingerlő impulzus; RPT refrakter periódus

szaggatott vonallal jelölt IB ingerbetörés, amely az ingerlő elektródok által az IAP jelben keltett zaj.

Ingerelt preparátumon mérni kell az ún. refrakter periódust (28-2. ábra). E paraméter mérésekor a preparátumot kettős impulzusokkal ingerlik (az ingerlő impulzusok STI időfüggvényét l. az ábra felső részén). A mérés kezdetekor csak az STI1 első impulzusa van IAP válasz, a STI2 impulzusra nincs (STI1 és STI2 közti idő a PT periódusidő töredéke). A két impulzus közti időt fokozatosan növelik addig, amíg a STI2 impulzusra is bekövetkezik IAP válasz. Az ingerlő impulzusok közti idő e háttérsethez tartozó értéke az RPT refrakter periódus.

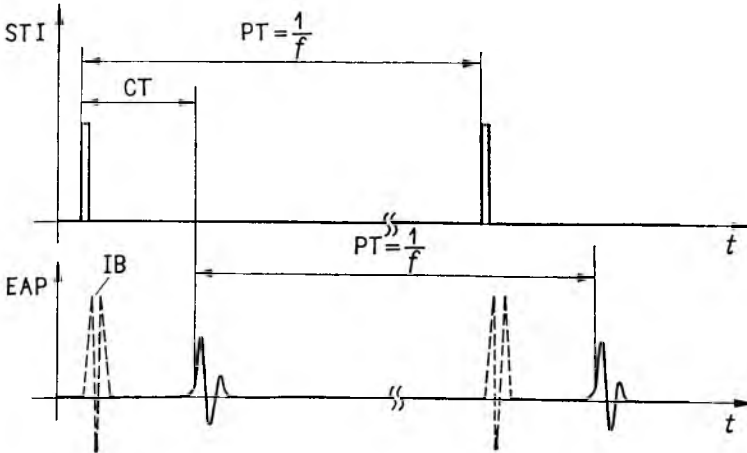
A szívizomdarabhoz mechanikusan hozzáerősített nyúlásmérő bélyeges mérőátalakító kontrakciós erővel arányos F jelalakja a 28-3. ábrán látható. Mélni kell az erő maximális értékét (F_{\max}), a maximális kontrakciós meredekséget ($V_{F_{\max}}$), a maximális kontrakciógigt elttét ($T_{F_{\max}}$), a kontrakciós időt (T_F) és az f frekvenciát.

A szívizomdarab felületére helyezett elektródról elvezetett extracelluláris akciós potenciál jel (EAP) a 28-4. ábrán látható (a szaggatott vonallal jelölt IB ingerbetörés ingerelt esetben jelenik meg az EAP jelben). Az ábrán rajzolt EAP jelkomplexum nem tipizálható, hisz az EAP jel zaj jellegű feszültség. Spontán működő preparátum esetén mérendő az f frekvencia, ingerelt esetben az ingerlő impulzus és az EAP válasz közti vezetési idő (CT), és a frekvencia (ilyenkor a frekvenciát az ingerlőjelből is meghatározhatjuk). Az IAP jelnél elmondottakhoz hasonlóan itt is kell mélni refrakter periódust. Mélni kell még küszöbingert is, amelyet a következésképp határoznak meg: az ingerlő impulzusok amplitúdóját olyan kicsire választják, hogy ne következzen be EAP válasz, majd lassan növelik az amplitúdót. Az ingerlő impulzusnak az az értéke a küszöbinger, amikor éppen megjelenik az EAP válasz.



28-3. ábra. A kontrakciós erő időfüggvényének tipikus jelalakja és a mérendő mennyiségek

F kontrakciós erő; F_{\max} maximális kontrakciós erő; α_F a maximális kontrakciós meredekséghez tartozó hajlásszög; $V_{F_{\max}}$ maximális kontrakciós meredekség; T_F kontrakciós idő



28-4. ábra. Az extracelluláris akciós potenciál jel (EAP) CT vezetési idő

3. A mérések elve

A mérési elvet az IAP jel mérésén mutatjuk be. Tekintve, hogy az IAP jel T_{de} depolarizációs felfutási ideje (l. a 28-1. ábrát) 100 μ s rövid is lehet és erre a szakaszra vonatkozóan maximális meredekséget kell megállapítani, a kézenfekvőnek látszó A/D átalakítót alkalmazó, mikroprocesszor által vezérelt mintavételező eljárás a hozzáférhető A/D átalakítók és mikroprocesszorok lassúsága miatt egyszerűen nem alkalmazható. Számba véve egy esetleges hardver-mintavételezés igen nagy munka- és anyagszükségletét, egy analóg előfokozat beépítése mellett döntöttünk. Ez az egység minimum- és maximumképzőket, mintavevő- tároló- és komparátoráramköröket tartalmaz.

Tegyük fel, hogy a mérés i -edik ciklusában vagyunk ($1 \leq i \leq 99$), és a megelőző $i-1$ -edik periódusban analóg minimumképzővel meghatároztuk a nyugalmi membrán potenciál RP_{i-1} értékét, a maximumképzővel pedig a depolarizációs túllövés OS_{i-1} értékét, az $AP_{i-1} = OS_{i-1} - RP_{i-1}$ értékét analóg mintavevő-tárolóval tároltuk, majd „nulláztuk” a minimum- és a maximumképzőt, azaz mérőkész állapotba hoztuk őket. Folyamatosan képezzük az IAP- RP_i értékét, és ha ez eléri a megelőző priódus AP_{i-1} amplitúdójának kb. 20%-át, egy komparátor billen (28-5. ábra), a komparátor kimenőjeléből formált logikai jel az ISL1 jel. Az ISL2 logikai jel hasonló módon képződik, azonban a billenés akkor következik be, ha $IAP - RP_i > 0,7 AP_{i-1}$ feltétel bekövetkezik. Nyomatékosan hangsúlyozzuk, hogy a „20%” és „70%” a megelőző periódus amplitúdójára vonatkoztatott értékek.

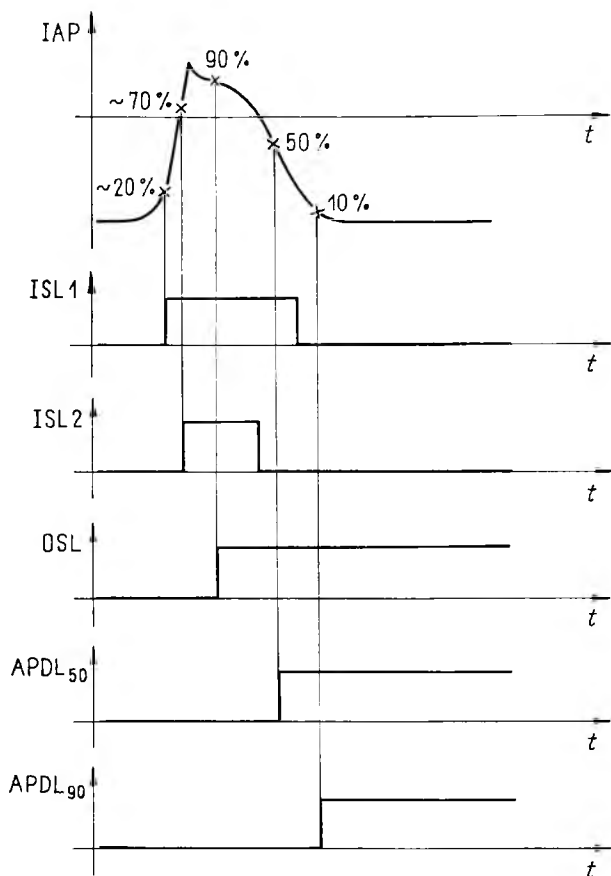
A depolarizációs túllövés pontjának elérése után az $AP_i = OS_i - RP_i$ i -edik periódusbeli amplitúdóérték meghatározott, tovább már nem változik. A többi logikai jelben (OSL, APDL₅₀, APDL₉₀) a következő feltételek teljesülésekor következik be 0 \rightarrow 1 átmenet:

OSL:	$IAP - RP_i < 0,9 AP_i$,
APDL ₅₀ :	$IAP - RP_i < 0,5 AP_i$,
APDL ₉₀ :	$IAP - RP_i < 0,1 AP_i$.

Mind egyik logikai jelhez tartozik egy tár, ezek kimenetét tárolt logikai jeleknek nevezzük és T index-szel jelöljük. A logikai jelek 0 \rightarrow 1 átmenetekor 1-be billenek, a CPU logikai állapotukat bármikor leolvashatja, és a CPU-val törölhető. Az OSL1T tárolt logikai jel kivételével valamennyi tárolt logikai jel egy időmérő egységet vezérel, azaz 0 \rightarrow 1 átmenetükkor az addig eltelt idő beíródik a tárba. Az óra nullázását az ISL1T jel végzi, e jel 0 \rightarrow 1 átmenetének időpontját tekintjük a periódus kezdetének.

Az ISL1T és ISL2T jelek analóg mintavevő-tárolókat vezérelnek, amelyek bemenő jele az IAP jel, és a logikai jelek 1-es állapotában tartó üzemmódba kerülnek. Az $AP_i = OS_i - RP_i$ jel az AP_{i-1} értéket képező mintavevő-tárolóba van vezetve, a követ-tart állapot a CPU-val vezérelhető.

A periódus jellemzőinek meghatározása ezek után a következőképpen történik: A tárolt logikai jelek a megelőző periódus végén törölődtek. Az ISL1T 0 \rightarrow 1 átmenete jelzi a periódus kezdetét, ekkor tárolódik a megelőző periódusideje, majd az időmérő óra nullázódik. Arra, hogy a periódus kezdetét a megelőző periódus amplitúdójához viszonyítva határozzuk meg, az jogosít fel minket, hogy két periódus amplitúdója közt nagy különbség nem lehet (ha van, az nem fiziológiás jelenség, hanem mérési hibára, legtöbbször az elektród sejtéből való kiugrására utal, és ilyenkor a szoftver gondoskodik a mérés leállításáról), másrészt mivel a készüléket gyógyszer hatása nélküli és gyógyszer hatása alatti paraméterek összehasonlítására használják, a fontos csak az, hogy a perióduskezdét mindig ugyanolyan módon legyen meghatározva. Az ISL1T 0 \rightarrow 1 átmenetekor tárolódik az IAP jel e pillanatbeli értéke is, hisz mint



28-5. ábra. Az IAP jelből képzett logikai jelek

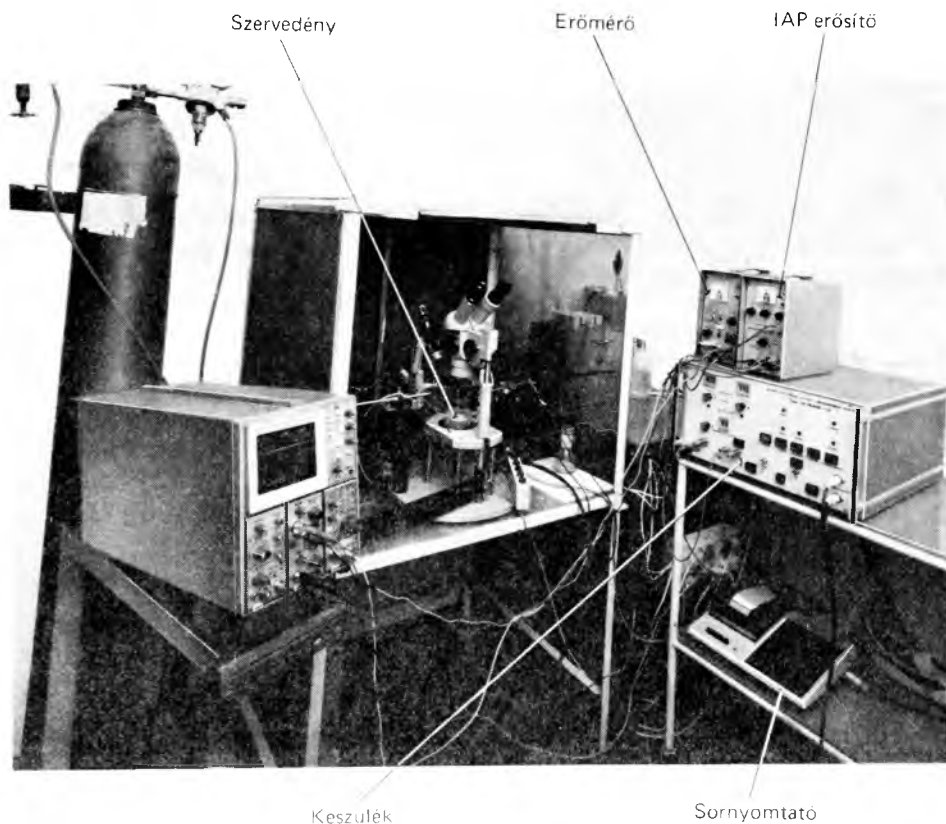
ISL1, ISL2, OSL, APDL₅₀, APDL₉₀ logikai jelek, értelmezésüket l. a szövegben

mondottuk, az ISL1T analóg mintavevő-tárolót is vezérel. ISL2T 0→1 átmenetekor tárolódik az addig eltelt idő és ez e pillanatbeli IAP érték. Ezáltal meghatározottak a meredekség számításához szükséges adatok, és mivel ezen a szakaszon az IAP jó közelítéssel egyenes, egyben a maximális meredekség közelítő értékét tudjuk majd meghatározni. Az OSLT 0→1 átmenete a CPU-nak ad felvilágosítást arról, hogy az IAP görbe már a csökkenő ágban van, az APDL₅₀T, APDL₉₀T jelek 0→1 átmenetekor tárolódnak a még hiányzó időadatok.

Látjuk, a periódus jellemzőinek meghatározása a CPU-tól majdnem függetlenül megtörténik. A CPU eközben különböző vizsgálódásokat végez: tipikusak-e az amplitúdó- és időértékek, a jel tipikusan zajlik-e stb. Továbbá természetesen a már meghatározott, binárisan rendelkezésre álló időadatokot RAM területre tárolja, és az A/D átalakítóra kötött analóg jelek konvezióját vezérli, majd tárolja azokat. Az APDL₉₀T 0→1 átmenete után, ha az összes periódusjellelmezőt már tárolta, az AP_{i-1} mintavevő-tárolót úgy vezérli, hogy az átvegye az AP_i értéket, majd törli a minimum-, maximumképzőket, a tárolt logikai jeleket nullázza, és várja a következő periódus kezdetét.

Hasonló módon történik a mérés ingerelt esetben, ilyenkor azonban a CPU számára a fő vezetőjel az ingerlő impulzusokból képzett logikai jel, ill. annak tárolt értéke. A lényeges különbség az, hogy az ingerbetörést (l. a 28-1. ábrát) pontosan követni kell a CPU-nak (ez a minimum-, maximumképző periodikusan való törlésével, majd A/D váltón keresztül történő leolvasásával szoftver úton történik), mert az ingerbetörést követően rövid idő áll rendelkezésre a minimum-, maximumképzők, tárolt logikai jelek törlésére.

Bár a mechanogram időbeli változása nem gyors, ezáltal lehetőség volna a mintavételező-tároló eljárás alkalmazására, mérése mégis az IAP jelre elmondottak szerint történik. Ennek oka, hogy az alkalmazott alkatrészek több azonos funkciójú egységet tartalmaznak, így számottevő alkatrésztöbblet nem keletkezett, másrészt az IAP jelre megírt szubrutinok alkalmazhatók lettek, ezáltal a programozási munka csökkent. Az EAP jelnél csak időket kell mérni, az időmérés elve megegyezik az IAP jelnél történő időméréssel. (Az időmérő egység multiplexelt bemenetei miatt itt alkatrésztöbblet nem jelentkezett.)



28-6. ábra. IAP és kontrakciós erő mérésére összeállított elrendezés a Kőbányai Gyógyszerárugár Farmakológiai Kutató Központjában

4. A készülék felépítése, működése

A készülék központi egysége SC/MP mikroprocesszorra épül, amely kezeli a memóriaterületeket, az A/D átalakítót, az időmérő egységet, az aritmetikai processzort és az analóg fokozatot csatoló egységet. A sornyomtató 20 karakteres alfanumerikus nyomtató.

Az előlapon levő kezelőszervek három csoportba oszthatók: beállítószervek, funkciókapcsolók, üzemmódkapcsolók. A beállítószervek erősítésállító kapcsolókból, eltolás-potenciométerből és ciklusszámállító kapcsolókból állnak. A funkciókapcsolókkal lehet kiválasztani az adott mérési funkciót (pl. spontán IAP, ingerelt IAP és mechanogram stb.).

Az üzemmódkapcsolók a gépnek öt üzemmódját határozzák meg:

CLEAR: a készülék mérőkész állapotban van.

LEARN: a berendezés ellenőrzi, hogy a megfelelő bemeneteken tipikus nagyságú, frekvenciájú, lefolyású stb. jel érkezik-e ha nem, különféle hibajelzéseket ad, és az ellenőrzést periodikusan végzi a hibamentes állapotig, majd ezt kijelzi. Ebben az üzemmódban célszerű a mérőátalakítók erősítését, eltolását, stb. állítani.

EXECUTE: a LEARN üzemmódbeli ellenőrzések elvégzése után hiba nélküli esetben automatikusan megtörténik a mérés, a mérés végét a készülék kijelzi.

COUNT AND WRITE: ebben az üzemmódban megtörténik az adatok feldolgozása és az eredmények kiírása.

STOP: a készülék eredeti állapotának megtartása mellett várakozó állapotba kerül.

A fenti üzemmódkapcsolók távirányítóra is ki vannak vezetve. A berendezés előlapon levő kijelzései LED-es kijelzések, az előlapról nem értelmezhető hibafajta szövegesen kiíródik a sornyomtatóra.

A 28-6. ábrán egy felvételt látunk, amely a Kőbányai Gyógyszerárugyár Farmakológiai Kutató Központjában készült. A felvétel IAP és kontrakciós erő mérésére összeállított elrendezést mutat.

Irodalom

[1] *Katz, A. M.*: Physiology of the Heart. Raven Press, 1977.

[2] *Hoffman—Cranefield, B. F.*: Electrophysiology of the Heart. Mc Graw-Hill, 1960.

[3] SC/MP Microprocessor Applications Handbook. National Semiconductor, 1977.

29.

Villamos készülékek méréstechnikája

DR. CSÁTHY KÁROLY

ÖSSZEFOGLALÁS

A készülékfejlesztést szolgáló, 1966 óta működő nagyteljesítményű laboratórium mérési lehetőségei. Különbféle áramtranziensek méréséhez szükséges MHz-es határfrekvenciájú árammérő eszközök. Nagyfrekvenciás feszültségosztók. A regisztrálóberendezések fejlődése: mérőerősítővel kiegészített hurkos oszcillográfok, analóg mérőmagnók, digitális tranzienrekorderek és tárolóoszilloszkópok. A zavarmentes mérővezetékrendszer kialakítása. Számítógép alkalmazása a mérés technikában. Megvalósított számítógépes mérési adatgyűjtő és -feldolgozó rendszer. Számítógép segítségével megoldott mérési és kiértékelési feladatok. A fejlődés további irányai.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЙ

Др. К. Чату

Резюме

Измерительные возможности лаборатории больших мощностей, работающей с 1966 с целью совершенствования приборов. Средства измерения токов — для измерения различных переходных токов — с предельной частотой порядка МГц. Высокочастотные делители напряжения. Развитие регистрирующих устройств: петлевые осциллографы, дополненные с измерительными усилителями, запоминающие катодно-лучевые осциллографы, аналоговые измерительные магнитофоны, цифровые регистрирующие устройства переходных процессов и запоминающие осциллографы. Бесшумное оформление системы измерительных проводов. Применение вычислительной машины в измерительной технике. Реализованная измерительная система сбора и обработки данных с вычислительной машиной. Решенные с помощью вычислительной машины измерительные и оценочные задания. Дальнейшие направления развития.

MESSTECHNIK ELEKTRISCHER SCHALTGERÄTE

DR. K. CSÁTHY

Zusammenfassung

Die Messmöglichkeiten des seit 1966 funktionierenden Hochleistungslaboratoriums zur Schaltgeräteentwicklung. Messgeräte mit einer Grenzfrequenz im MHz-Bereich, die zur Messung diverser Stromtransienten notwendig sind. Hochfrequenz-Spannungsteiler. Entwicklungstendenzen der Registriereinrichtungen: mit Messverstärker ergänzte Schleifenoszcillographen, Kathodenstrahl-Speicheroszilloskopen, analoge Magnetbandgeräte, digitale Transient-Recorder und Speicheroszilloskopen. Strörfreie

Gestaltung des Messleitungssystems. Einsatz der Rechner in der Messtechnik. Das realisierte rechnergestützte Datenerfassungs- und Auswertungs-Messsystem. Die durch Rechner gelösten Mess- und Auswertungsaufgaben. Weitere Entwicklungstendenzen.

MEASURING TECHNIQS OF SWITCHGEAR

BY DR. K. CSÁTHY

Summary

Measurement capabilities of a short-circuit laboratory operating since 1966, intended for device development. Current-measuring equipments of MHz limit frequencies, for the measurement of various current transients. High-frequency voltage dividers. Progress in available recording means: loop oscillographs completed with measuring amplifiers, storage CRT oscilloscopes, analogue test tape recorders, digital transient recorders and digital storage oscilloscopes. Interference-free construction of the test lead system. Application of computers for measurements. Implemented computer data acquisition and evaluation system. Measurement and evaluation tasks solved by computer. Future trends of development.

1. Bevezetés

A VKI zárlati laboratóriuma létesítésének legfontosabb célkitűzése olyan berendezés létrehozása volt, amellyel a villamos készülékek zárlati vizsgálataihoz szükséges nagy (kb. 100 kA) áramok a kívánt ideig előállíthatók. A laboratórium 1966-ban történt üzembe helyezése óta szerzett tapasztalatok azonban azt mutatták, hogy a nagy áramok előállításának lehetősége önmagában még korántsem elegendő a kívánt igények kielégítéséhez. A villamos készülékek fejlesztését csak olyan laboratóriummal lehet eredményesen elősegíteni, ahol a nagy áramokon kívül a célnak megfelelő korszerű mérés-technika is rendelkezésre áll. E felismerés alapján hajtottuk végre a laboratórium mérőeszközeinek és mérési módszereinek állandó fejlesztését, és erről a ma is tartó folyamatról kívánunk most áttekintést adni. Az áttekintés csak vázlatos lehet, hiszen akármelyik probléma mélyebb tárgyalása is meghaladná e cikk kereteit. Célunk inkább az elért műszaki színvonal megismertetése, és tájékoztatás a villamos készülékek fejlesztéséhez ma már nélkülözhetetlen speciális vizsgálati és mérési lehetőségekről.

2. Áram- és feszültségtranziensek mérése

A zárlatok táplálása az országos energiahálózatból történik, így a stacioner zárlati áramok periódusszáma mindig 50 Hz. A be-, ill. kikapcsolási folyamatoknak megfelelően azonban különféle áramtranziensek lépnek fel, amelyeknek a frekvenciája jóval nagyobb 50 Hz-nél, így mérésükhöz is különleges eszközök kellenek.

A zárlati áram bekapcsolásakor fellépő egyenáramú összetevő átvitel szempontjából egy frekvenciával jellemezhető. Figyelembe véve az egyenáramú összetevő meredekségét és az adott hálózatban beállítható R/X értékeket, ez a frekvencia 50...1000 Hz tartományba esik, tehát indukciószegény söntökkel megfelelő pontossággal mérhető. Átlagos kivitelű áramváltó erre a célra nem alkalmas, mert az egyenáramú összetevő a vasmagot telítésbe viszi, és nagy, akár 50%-os amplitúdóhiba is felléphet. Erre a célra különleges, nem telítődő, epoxigyantával kiöntött 100 kA/25 A áttételű áramváltót fejlesztettünk ki. Méretezésének lényege a vasmag-keresztmetszet és a

szekunder időállandó alkalmas megválasztása úgy, hogy a gyakorlatilag beállítható leginduktívabb zárlati áramkör esetén se léphessen fel telítés és annak következtében meg nem engedhető hiba az áramváltóban.

Kikapcsolási folyamatoknál lép fel az ún. áramlevágás jelensége. Olvadóbiztosítóknál a kioldás után az ívelés kezdete meredek áramcsökkenéssel jár. Kis áramokkal (10...100 A) terhelt vákuummegszakítókban, ill. kontaktorokban az áram-nullátmenet előtt az áram igen nagy meredekséggel (1...10 A/ μ s) csökken nullára. A nagy meredekségű szakasz átviteli szempontból szintén frekvenciával jellemezhető. Méréséhez megfelelő határfrekvenciájú mérősöntöt vagy nagy határfrekvenciájú különleges áramváltót használunk. Típusa: Tektronix CT-5 high current transformer. Határfrekvenciája 1...20 MHz (áramtól függően).

Átviteli szempontból a legnagyobb frekvenciát az ún. utánfolyó áram mérése jelenti. A probléma kettős: nagy zárlati áramok után kis áramoknak ugyanazzal a sönttel való mérése és a nagyfrekvenciának megfelelő gyors lefolyású áramok mérése. E célra legcélszerűbb volt nagy határfrekvenciájú import söntöket alkalmazni. (Típus: ISM 50 D/5 és ISM 250 koax. sönt. Határfrekvencia: 170 MHz, ill. 1,7 MHz.)

A hálózattól történő táplálás miatt nemcsak az áramok, hanem a stacioner feszültségek periódusszáma is mindig 50 Hz. A zárlati áram megszűnése után a hálózati feszültség nem azonnal tér vissza, hanem a hálózati induktivitásokból és kapacitásokból álló rezgőkör saját frekvenciájának megfelelő tranziens feszültségrezgés közbeiktatásával. A feszültségtranziensek elméletileg egyfrekvenciás, a valóságban többfrekvenciás rezgések, frekvenciatartományuk néhány kHz-től több MHz-ig terjedhet, mérésükre tehát ennek megfelelően kell felkészülni. A feszültségtranziensek mérése általában feszültségosztókkal történik. Saját kifejlesztésű osztóink a határfrekvencia szerint két csoportba oszthatók:

- ellenállásosztók, indukciószegény, megfelelő terhelhetőségű ellenállásokból kialakítva, 15...20 kHz határfrekvenciával;
- kombinált ellenállás–kapacitás osztók, RC elemekből összeállítva úgy, hogy minden fokozatra fennálljon az $RC = \text{constans}$ egyenlőség. Ezek határfrekvenciája 150 kHz.

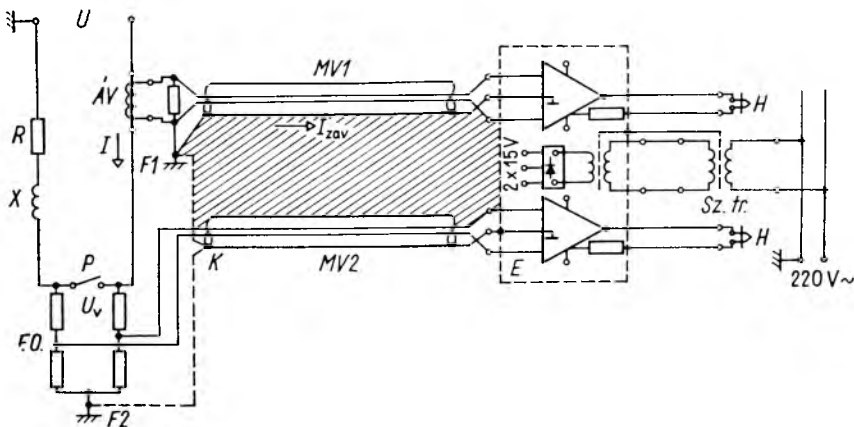
Ezen felüli határfrekvenciákhoz osztók kifejlesztése nem lett volna gazdaságos, inkább importból vettük meg. Típusa: Tektronix P6015, áttétel: 1000 : 1; max feszültség: 20 kV_{eff}. Határfrekvencia: 100 kHz...10 MHz.

3. MÉRŐVEZETÉK-RENDSZER

Megfelelő határfrekvenciájú sönt, feszültségosztó vagy más mérőjeladó alkalmazása csak akkor lehet sikeres, ha a jeladó és a -vevő (regisztráló) között zavarmentes mérővezeték-rendszer áll rendelkezésre. A zavarjelek nemcsak a mérési pontosság leromlását jelentik, hanem a műszerek szigetelését, sőt a kezelők biztonságát is veszélyeztetik. A zavarmentes mérőrendszerrel való komolyabb foglalkozást éppen az egyik értékes műszer meghibásodása initiálta. Az eset analizálása során ugyanannak a földelő körvezetéknek két pontja között 9 kV csúcsfeszültséget mértünk egy transzformátor kikapcsolásakor.

A zavarmentesség feltételeit kielégítő mérővezeték-rendszer kidolgozását a bő szakirodalom általános útmutatásain felül a helyi körülmények figyelembevételével a gyakorlati tapasztalatok alapján végeztük el. A zavarjelek kialakulásának leggyakoribb okai:

- transzformátorok kapcsolásából származó földpotenciál-lengések;
- motorok, relék, működtetőkevercek ki-, ill. bekapcsolása;



29-1. ábra. A mérőkörben a földelés nem átgondolt kialakítása földhurkot eredményez

U a vizsgálókör feszültsége; I a vizsgálókör árama; R , X teher a vizsgálókörben; P vizsgált kapcsoló; U_v visszatérő feszültség; $F.O.$ feszültségosztó; $F1$, $F2$ földelési pontok; AV áramváltó; $MV1$, $MV2$ 1. és 2. mérővezeték; K a 2. mérővezeték árnyékolásának kritikus földelési pontja; E erősítő; $Sz. tr.$ szigetelőtranszformátor; H oszcillográf-hurok; I_{zav} zavaróáram

- nagy zárlati áramok okozta beindukálások;
- kapacitív csatolások;
- hálózaton keresztül terjedő külső zavarok;
- nagyfrekvenciás zavarok.

A cél érdekében végrehajtott intézkedések:

- a földelőhálózat megerősítése, közvetlen mélyföldelés kialakítása;
- a labor területén levő összes működtetőkeres, nyomógomb és egyéb érintkező-pár kondenzátorral, dióddal, ellenállással, ill. ezek kombinációjával való áthidalása;
- a jeladó és a regisztrálóműszerek között a mérővezetékek befogadására alkalmas árnyékoló vascsövek lefektetése;
- mérővezetékhez alkalmazott vezetéktípusok kiválasztása. Ezek:
 - a) sodrott árnyékolt vezetékek,
 - b) kéterű árnyékolt vezetékek,
 - c) 75Ω hullámellenállású koaxiális, ill. triaxiális kábelek;
- a mérővezetékhez alkalmazandó szerelvények (dugaszok, csatlakozók) helyes kiválasztása,
- az elektronikus készülékek táplálására kis kapacitású hálózati szigetelőtranszformátor, ill. teljesen szigetelt önálló forgógépes áramellátó rendszer és bemeneti szűrők alkalmazása;
- a mérőáramkörök egy ponton történő földeléséhez szükséges feltételek biztosítása;

A mérőkörök és a földelések gondos kialakításának jelentőségét egyszerű példán mutatjuk be (29-1. ábra). A feladat: az R , X terhekből álló vizsgálati körben mérni kell a P megszakító érintkezőin az U_v visszatérő feszültséget és a kör I áramát. A feszültség-, ill. áramjeleket $MV1$ és $MV2$ árnyékolt mérővezetéken továbbítjuk az E kétszatornás erősítőbe. Amennyiben az $MV2$ vezeték árnyékolása a K , $F1$ pontok összekötésén keresztül van leföldelve, a vonalkázott területtel jellemzett földhurkok képződik. A zárt területen áthaladó fluxusok I_{zav} zavaróáramot indukálhatnak, amelynek hatása a mérendő jelekre szuperponálódó zavarjelekben nyilvánul meg. Ha a K

pontot F_2 -höz földeljük, a helyzet még rosszabb, ugyanis az F_1 és F_2 földpontok között kapcsolási műveletek hatására több 100, esetleg 1000 V-os feszültségimpulzusok alakulhatnak ki, amelyek a földhurkon át az erősítőbe jutva nemcsak zavarójeleket hozhatnak, hanem a szigetelőtranszformátornál vagy más helyen átütéseket is. Sajnos általános recept a zavarelhárításra nincs, így minden egyes mérési feladat végrehajtásánál külön ki kell választani a legmegfelelőbb megoldásokat. Sok esetben teljes zavarmentességet elérni nem lehet.

4. Regisztrálókészülékek

A villamos készülékek vizsgálataihoz hozzátartozik az áram- és feszültség időbeli lefolyásának regisztrálása részben a dokumentálás, részben a folyamatok tanulmányozásának céljából. A regisztrálás alapkészüléke még ma is a jól ismert hurkos oszcillográf. Laboratóriumunkban sikeresen használjuk a Siemens Oszcillomat U típusú oszcillográfot, amely 12 csatornáján egyszerre 0...15 kHz frekvenciájú jeleket rögzít 0...10 m/s sebességgel mozgó, nedves fotoeljárással előhívható, 200 mm széles papírra. E néhány jellemző adat egyben rámutat használatainak korlátaira is. A hurkok érzékenységet és frekvenciáját gyakorlatilag nem lehet tovább növelni. Előrelépést jelentett a csatornák egy-egy mérőerősítővel való kiegészítése. Legfőbb előnyei:

- nagy bemeneti ellenállás, tehát a jeladót nem terheli;
- differenciálbemenet;
- beépített áramkorlátozás a hurkok védelmére.

Kedvezőbb mérési tulajdonságokra a hurkos oszcillográf szerkezetének további finomításával már nem számíthatunk, lényeges változás csak merőben új konstrukciójú mérőkészülékektől várható. Egyik ilyen készülék az analóg mérőmagnó. Az általunk használt Philips Analog 7 típusú mérőmagnó hétcsatornás. Sávszélessége frekvenciamodulációs üzemmódban 0...10 kHz, közvetlen üzemmódban 0,250...100 kHz (–3 dB). A szalagsebességnek négy fokozata van: 30, 15, $3^3/4$ és 15/16 inch/s, ami 11 min, 22,5 min, 1,5 h és 6 h folyamatos regisztrálási időt tesz lehetővé. Bemenete közepesen nagy belső ellenállású (10 k Ω), aszimmetrikus. Kimenete 1 Ω -mal terhelve 1 V-ot ad. Tetszetőssé kivitelezhető, megbízható mechanikai szerkezete széleskörű alkalmazhatóságára utal. Legnagyobb előnyének a nem azonos sebességgel történt felvételtől, ill. lejátszásból adódó időtranszformáció megvalósítását tartjuk. Pl. hosszan tartó melegezésvizsgálatok jeleinek gyors visszajátszása közvetlenül kiadja a melegezési görbét, vagy ellenkező irányban: gyorsan változó, (nagyfrekvenciás) nagy sebességgel felvett jelek lassú sebességgel visszajátszva lassú X, Y írőkkel regisztrálhatók.

A használat során az alkalmazhatóság szempontjából számos kedvezőtlen tulajdonsága derült ki. A visszajátszás nem ad állóképet (hacsak nem használjuk a szalagot erősen koptató forgófejet), így az igen nagy számú felvett adat közül nehézkes megtalálni az értékesebb részleteket és bonyolult léptékhelyes regisztrátumokat készíteni. A nagy sávszélesség (100 kHz) kihasználhatóságát erősen korlátozza az a tulajdonsága, hogy nem terjed ki a 0...250 Hz tartományra. Így hiába rögzíthetők a nagyfrekvenciás feszültségtranziensek, a hozzájuk tartozó 50 Hz-es jel nem értékelhető. A csatornák nem teljesen függetlenek egymástól, mert egyik pontjuk közös földpont. Az egész mérőkör egy ponton való földelése e miatt sok esetben nem valósítható meg, csak optoelektronikus vagy más leválasztóelemek alkalmazásával. A bemenet belső zajai és minimális mértékű, de mégiscsak fennálló „nyávogás” különösen zavarérzékeny és tesztek az egész mérési áramkört.

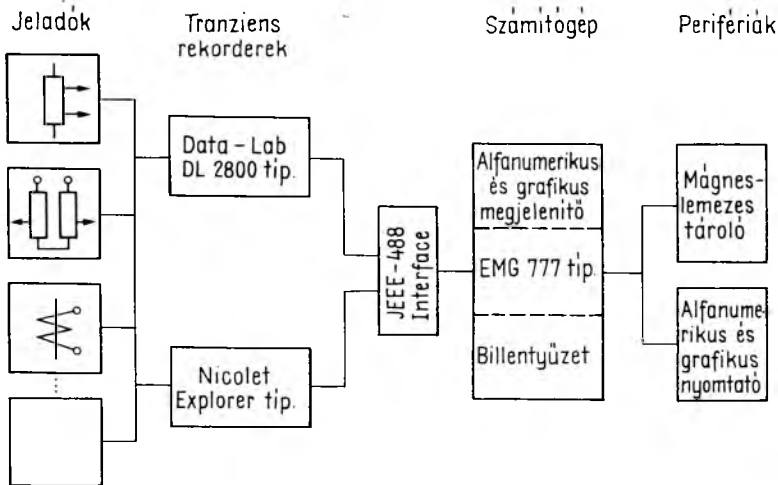
Mindezeket összevéve a mérőmagnó használata hurkos oszcillográf helyett erősen korlátozott, és csak néhány különleges esetben indokolt. A vélekedésnek tűnő meg-

oldást itt is, mint a műszaki élet számos területén a digitális technika, azon belül a tranziensrekorderek kifejlesztése hozta meg.

A tranziensrekorder a mintavételezési elv alapján működő, bonyolult felépítésű, többcsatornás elektronikus készülék. Mindegyik csatornának nagy belső ellenállású bemenete, erősítője, A – D átalakítója és tárolóegysége van. A mintavételezés a központi, 1 Hz...20 MHz frekvenciájú óragenerátor ütemében történik. A mérendő analóg jelek mintavételezési időpontokban vett értékeit digitális formában a tárolóegységben tárolja, ahonnan azok D – A segítségével az analóg regisztráló- vagy megjelenítőegységre közvetlenül vagy ismétlődő jelleggel kiadhatók, és így az egész felvett jelenségről állókép nyerhető. A tárból a digitális formában tárolt adatok lehívhatók, elsősorban számítógépes feldolgozás céljaira. A mérendő jelek vétele és tárolása folyamatos. Ha a tár megtelt, a készülék az első adatot eldobja, és a felszabaduló helyet felhasználva folytatja az adatok tárolását mindaddig, amíg egy belső vagy külső triggerjel hatására újabb adatot már nem tárol be. A triggerjel rendszerint olyan várt esemény hatására jelenik meg, amelynek bekövetkezési időpontját előzetesen nem ismerjük. A triggerjel és az adattárolás befejezése közötti idő előre beállítható, amivel elérjük azt, hogy a tárban a várt esemény előtti és utáni jeltartomány marad bent. Evvel a tulajdonságával a tranziensrekorder tárolós oszcilloszkópként működik, és kedvezőbb tulajdonságai miatt mindenben pótolhatja a hagyományos tárolós oszcilloszkópokat, amelyekben a kívánt jel előtti tartomány megjelenítése nem vagy csak igen kis mértékben érhető el. Ugyanakkor rendelkezik a hurkos oszcillográf és a legtöbb katódsugár-oszcilloszkóp minden előnyös tulajdonságával, sőt sok tekintetben messze túlszárnyalja azokat, így a korszerű laboratórium alapvető fontosságú mérő-, ill. regisztrálókészülékének tekintjük.

5. Számítógép alkalmazása a mérés technikában

Az első készülékvizsgáló laboratóriumok létesítése óta közel napjainkig a mérések alapja a hurkos oszcillográf volt, míg az eredményeket a regisztrátumok különféle metszékeinek a leolvásával, kézi munkával értékelték ki. Ez a pontatlan és időt rabló módszer ma már módosításra szorul. Az előbbieken kifejettük, hogy a regisztrálókészülékek között a tranziensrekordereket tekintjük a leghasználhatóbbaknak annál is inkább, mivel az adatokat digitális formában tárolják. Kézenfekvő tehát a gondolat, hogy az így tárolt adatokat digitális számítógépbe továbbítsuk és feldolgozzuk. Ez az irányzat érvényesül a fejlett ipari országok gyakorlatában is. A VKI már évek óta foglalkozik a számítógépes mérési adatgyűjtő és feldolgozó rendszerrel. A jelenlegi továbbfejlesztett rendszer tömbvázlatát a 29-2. ábra mutatja. A mérési rendszer lényege: a beérkező analóg jeleket kellő számú csatornával és átviteli tulajdonságokkal rendelkező tranziensrekorderek fogadják, digitális jelle alakítják át és tárakban tárolják. A rendszer az EMG777 típusú alfanumerikus és grafikus display-vel (kijelző) ellátott számítógép köré van telepítve. A számítógép perifériái: háttértár, alfanumerikus és grafikus nyomtató. A mért adatok kiértékelését és feldolgozását a számítógép végzi a következők szerint: a megfelelő lekérőprogram segítségével a tranziensrekorderben tárolt adatokat a saját tárába átvizsi, és rajzolóprogrammal a képpernyőn megjeleníti. A kapott kép azonos a hagyományos oszcillogrammal, így a hagyományos eszközökkel való regisztrátum készítése feleslegessé válik. A felvett görbék – adott határon belül – mindkét irányban tetszőleges felbontással és léptékben jeleníthetők meg, ezzel az érdekesnek mutató részletek külön is tanulmányozhatók. Az ún. kursor segítségével a görbék egyes pontjai közötti metszékek távolsága számszerűen leolvasható. A gép külön programmal elvégzi a bekottázást, feliratozást, a mérési



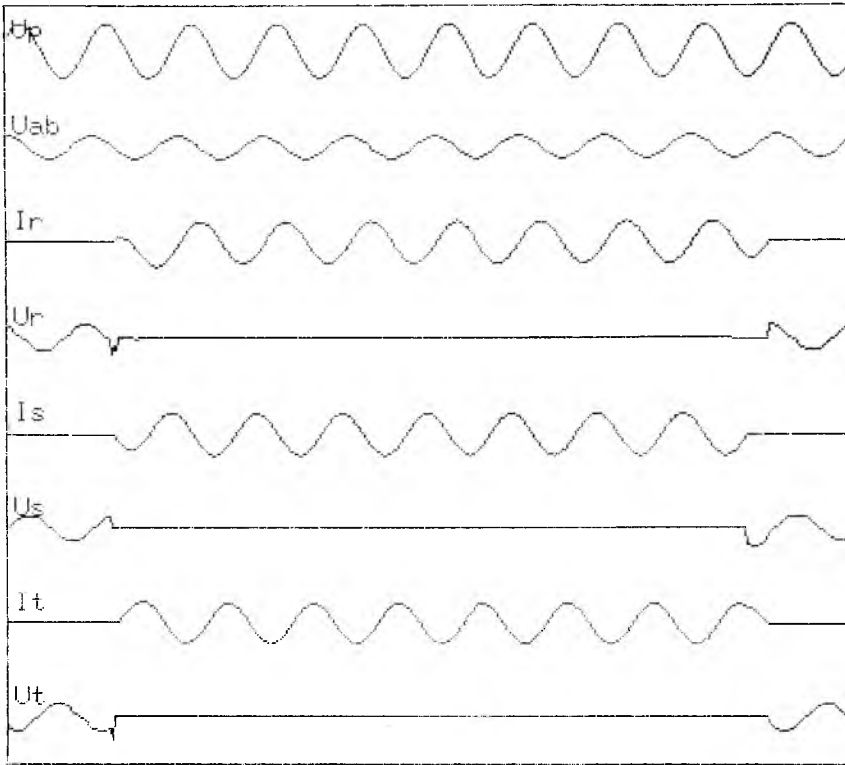
29-2. ábra. A zárlati laboratórium mérési adatgyűjtő és -feldolgozó rendszerének tömbvázlata

jegyzőkönyv számára alkalmas formátum kialakítását (29-3. ábra), és a megállapított értékekből kiindulva további jellemzők (i^2t , ivenergia, különféle eloszlások) kiszámítását. A gép nemcsak a kiértékelt, feliratozott oszcillogramokkal azonos ábrát nyomtatja ki, hanem az egész jegyzőkönyvet. Az összes adatot a háttértárban tárolja, és ezzel megoldja a műszaki dokumentumok helyigényes archiválását. A vázolt mérési adatgyűjtő és -feldolgozó rendszerünket különböző vizsgálati feladatok megoldására alkalmaztuk, nevezetesen:

- független zárlati áram és áramkör paramétereinek a meghatározására (bekapcsolási időpont, áram effektív- és csúcserő, $\cos \varphi$);
- szakaszolók zárlati szilárdságának vizsgálata;
- megszakítóképeség-vizsgálatok (egy és háromfázisú készülékek);
- kontaktorok és megszakítók kapcsolási túlfeszültségeinek meghatározása;
- olvadóbiztosítók megszakítóképeségének vizsgálata és Joule-integráljának meghatározása;
- áramváltók zárlati szilárdságának vizsgálata;
- áramváltók pontosságának meghatározása a túláramok tartományában;
- vasmagos fojtótekerccsek inductívitásának meghatározása a gerjesztőáram függvényében.

6. Összefoglalás

Az előzőekben igyekeztünk vázolni azokat a törekvéseket és eredményeket, amelyek elvezettek egy zárlati teljesítményét illetően korlátozott, de mérés technikailag magas szinten álló készülékvizsgáló laboratóriumhoz. Szakembereink és műszerparkunk lehetővé teszik a készülékfejlesztés területén felmerülő, gyakorlatilag bármilyen szabványos vizsgálat- vagy speciális fejlesztési mérés minden igényt kielégítő elvégzését, és változatlan áron állunk továbbra is tisztelt megrendelőink rendelkezésére.



IFZ (KA)	IRMAX (KA)	ISMAX (KA)	ITMAX (KA)	TIVR (MS)	TIVS (MS)	TIVT (MS)	TIV (MS)
0.428	0.615	0.573	0.59	8.6	0.95	6.9	8.6
EIVR (AWS)	EIVS (AWS)	EIVT (AWS)	UMAX (KV)				
3.404E+1	0.921E+0	4.113E+1	0.348				

29-3. ábra. A számítógép által kinyomtatott, kiértékelt és feliratozott oszcillogram

Irodalom

- [1] Vallo, D.–Thuot, M. E.: High power laboratory testing with a real-time computer. PAS-95. 1976. máj./jún. sz. p.: 982...987.
- [2] Nagyteljesítményű, kis- és középfeszültségű zárlati laboratórium továbbfejlesztése. Kutatási jelentés, 1980.
- [3] Corcoran, R. P.: Applications of digital data acquisition and analysis in high power laboratory testing. IEEE PES Winter Meeting, előadás, New York, 1980.
- [4] Fricke, H. W.: Übersicht über die wichtigsten Registriergeräte. ATM 1974. Juni, p.: 95...104.

- [5] *Gillies, D. A.:* Ramberg, H. C.: Methods for Reducing Induced Voltages in Secondary Circuits. PAS-86. 1967. July, p. 107...916.
- [6] *Schwab, A. J.:* Hochspannungsmesstechnik. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1969.
- [7] Type 777. Programozható Számológép. Felhasználói Kézikönyv, 1983.
- [8] *Dr. Csáthy K. – Rátkay Zs.:* Számítógép alkalmazása nagyteljesítményű zárlati vizsgálatok mérés technikájában. VKI Közlemények 1982. 8. Kötet, p. 307...315.
- [9] DATA-LAB Transient Recorder. Operating and Service Manual.

30.

Kis teljesítményű multiplexer ellenállás hőmérséklet-érzékelőhöz

DINA SÁNDOR – RIBÉNYI ANDRÁS – SZTRÓKAY ISTVÁN

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk ismerteti és analizál egy ellenállás hőmérséklet-érzékelőkhöz készült, új típusú, bipoláris analóg multiplexert. Az új áramkör vizsgálata megmutatja a kör előnyös villamos tulajdonságát, valamint kedvező technológiai integrálhatóságát. Az áramkört elsősorban hőmérsékletméréshez fejlesztették ki, de más jellemzők mérésére is használható. A cikk összefoglalóan megadja az áramkör jellemzőit.

МАЛОМОЩНЫЙ МУЛЬТИПЛЕКСЕР ДЛЯ РЕЗИСТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Ш. Дина—А. Рибени—И. Строкаи

Резюме

В статье описывается и анализируется биполярный аналоговый мультиплексер нового типа, разработанный для резистивных термометров. Исследование цепи доказывает хорошие свойства схемы, и указывает на возможности интегрирования. Схема в первую очередь была разработана для измерения температуры, но хорошо применяется и для измерения других величин. В ходе анализа нового мультиплексера в статье кратко описываются важнейшие характеристики схемы.

MULTIPLEXER VON KLEINER LEISTUNG FÜR WIDERSTANDS-TEMPERATURFÜHLER

S. DINA – A. RIBÉNYI – I. SZTRÓKAY

Zusammenfassung

Der Beitrag beschreibt und analysiert einen neuartigen bipolaren analogen Mittelstrom-Multiplexer vorgesehen zu Widerstands-Temperaturfühler. Die Untersuchung der Schaltung zeigt ihre günstigen elektrischen Eigenschaften und ihre gute technologische Integrierbarkeit. Die Schaltung wurde in erster Linie zwecks Temperaturmessung entwickelt, jedoch sie ist auch zur Messung anderer Grössen verwendbar. Der Bericht schliesst mit der zusammenfassenden Schilderung der Kenngrössen der Schaltung.

LOW POWER MULTIPLEXER FOR RESISTANCE TEMPERATURE SENSING ELEMENTS

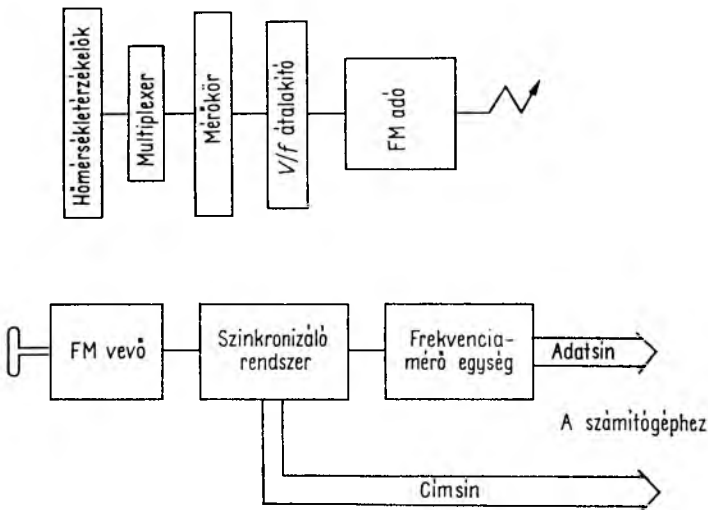
BY S. DINA – A. RIBÉNYI – I. SZTRÓKAY

Summary

The paper analyses a new type of bipolar transistor analog multiplexer for resistance temperature sensing elements. The analysis shows that the new circuits has very great advantages in electric characteristics and it can be integrated too. The circuit has been developed for temperature measuring systems but it can be used in any other field. The paper analyses the new type multiplexer, and presents measured parameters of the circuit.

1. Bevezetés

Az elektronikus módszereket mind szélesebb körben alkalmazzák a technikai és a tudományos életben az egyes jelenségek megfigyelésére és mérésére. Nagyon sok esetben fontos, hogy e rendszerek teljesítményfelvétele kicsi legyen, mivel a telepes üzemet a rendszer működéséhez biztosítani kell. Ilyen problémákkal igen gyakran találkozunk a földi alkalmazások során és az űrkutatásban is. A feladat szerint megbízhatóan mérni kell egy nagy teljesítményű forgógép forgórészének hőmérsékletét üzem közben. A nagy teljesítményű gépben nincs csatlakozási lehetőség, amely a mérőrendszert táplálná, ugyanakkor a mérőrendszert ellenállóvá kell tenni a mechanikai igénybevételekkel és az elektromágneses zavarokkal szemben. A kifejlesztett mérőrendszert a 30-1. ábra mutatja. A rendszer fejlesztése közben számtalan nehezen megoldható műszaki kérdés merült fel [1], mint pl. a célnak megfelelő multiplexer-áramkör fejlesztése.



30-1. ábra. A teljes forgórész-hőmérséklet mérő rendszer blokkvázlata

2. Méréstechnikai problémák

A legfontosabb kiindulópont a megfelelő hőmérséklet-érzékelő elem kiválasztása.

Termopár alkalmazásakor hidegpont-kompenzátort és különleges multiplexert kell használni. Ellenállás hőmérséklet-érzékelő esetén az áramkörünk egyszerű lehet, az érzékenység is megfelelő, de multiplexelésre általában jelfogót használnak, hogy közepes áramú munkapontban a multiplexeren eső feszültség ne okozzon jelentős hibát.

A fenti érvek tették indokolttá a multiplexer fejlesztését úgy, hogy az egység a gép forgórészébe beépíthető legyen. A 30-1. táblázatban a különböző hőmérséklet-érzékelők jellemzőit mutatjuk be, kiegészítve a táblázatot a még nem tárgyalt félvezetős és termisztoros típusokkal. A félvezetős érzékelők napjainkban terjednek, de a beszerzési nehézségek miatt alkalmazásukat elvetettük. A termisztorok jelentős hátránya, hogy karakterisztikájuk nem lineáris. A 30-2. táblázatban a különböző típusú multiplexerek fontosabb jellemzőit hasonlítjuk össze.

Az elmondottakból következik, hogy méréstechnikai szempontból a legelőnyösebb érzékelőelem az ellenállás-hőérzékelő, de ebben az esetben célszerű a bipoláris multiplexer alkalmazása.

30-1. táblázat

Különböző hőmérséklet-érzékelők összehasonlítása

	Mérési tartomány, °C	Pontosság, %	Mérőáram	Kimeneti feszültség	Ár
Ellenállás	- 100...1000	0,01...1	mA	mV/°C	alacsony
Termopár	- 200...3000	0,01...1	-	10 μ V/°C	közepes
Félvezetős	- 50... 150	0,1 ...1	μ A	mV/°C	alacsony
Termisztor	- 50... 500	1 ...2	mA	50 mV/°C	közepes

30-2. táblázat

Különböző típusú multiplexerek összehasonlítása

Típus	Maximális kapcsolóáram	R_{on} , Ω
CMOS	10 mA	100
Jelfogó	néhány A	igen kicsi
Bipoláris tranzisztor	100 mA	kicsi (≈ 1)

2.1. Az áramkör analízise

A bipoláris tranzisztorokból felépített multiplexereknek számos előnyös tulajdonságuk van, de az utóbbi időben ezeknek az eszközöknek az ilyen típusú felhasználására csak indokolt esetben kerül sor [2].

Az általunk használt áramkört ilyen eszközök felhasználásával építettük fel, mivel különleges tulajdonságok kihasználására van szükség. A konstrukció kialakításakor a következő szempontokat tartottuk szem előtt:

- szimmetrikus felépítésű áramköröket használtunk,
- olyan kevés elemet alkalmaztunk, amilyen keveset csak lehetett.

A teljes áramkör jellemzőinek tárgyalása előtt a 30-2. ábra segítségével vizsgáljuk meg a bipoláris tranzisztor telítési feszültségét [3]:

$$U_S = U_T \ln \left\{ \frac{1 + \frac{I_C}{I_B} (1 - A_R)}{1 - \frac{I_C}{I_B} \frac{1 - A_F}{A_F}} \right\} + I_E r_{ee'} + I_C r_{cc'}$$

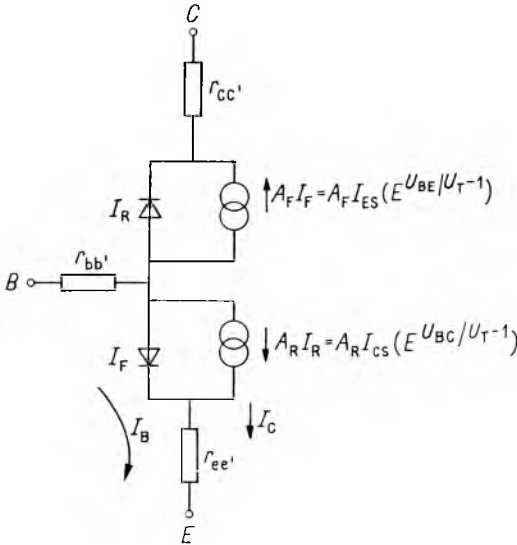
A kollektoráram igen kis értékénél a telítési feszültség a következő:

$$U_{SF} = U_T \ln \frac{1}{A_R} + I_E r_{ee'}$$

Inverz üzemben a telítési feszültség értéke:

$$U_{SR} = U_T \ln \frac{1}{A_F} + I_C r_{cc'}$$

$$\text{ahol } U_T = \frac{kT}{q}$$



30-2. ábra. Egy npn-bipoláris tranzisztor helyettesítő képe

A jelenleg használt tranzisztorokban az emitter a legerőteljesebben doppolt réteg, ezért a tipikus emitter-ellenállás(r_{ee}) a kontaktus-ellenállásból áll (nagyságrendileg $0,1 \Omega$). A diszkrét epitaxiális tranzisztorok kollektor-ellenállása $0,1 \Omega$ vagy kisebb, ez az ellenállás normál integrált áramkörüi tranzisztoroknál nagyobb, általában 10Ω körüli érték. A következő tipikus értékekkel számolva a telítési feszültség értékére a következőt kapjuk:

Ha $A_F = 0,99$ és $A_R = 0,2$; $T = 300 \text{ }^\circ\text{C}$; $U_T = 26 \text{ mV}$; $I_E = 10 \text{ mA}$; $I_C = 10 \text{ mA}$, akkor:

$$U_{SF} = 26 \ln \frac{1}{0,2} + 10 \text{ mA} \cdot 0,1 = (41,85 + 1) \text{ mV} = 42,85 \text{ mV};$$

$$U_{SR} = 26 \ln \frac{1}{0,99} + 10 \text{ mA} \cdot 0,1 = (0,26 + 1) \text{ mV} = 1,26 \text{ mV}.$$

A BC 182 típusú tranzisztoroknál hasonló értékeket mértünk. Az áramkörünkben az inverz üzemmód jobb eredményeket adott.

A telítési feszültség erősen hőmérsékletfüggő, amely kedvezőtlen tulajdonság. A teljes hőmérsékletfüggés a következő:

$$\Delta U = \left(U_T \ln \frac{1}{A_F} - \frac{U_T}{A_F} T \frac{dA_F}{dT} + I_B \frac{dr_{cc'}}{dT} \right) \frac{\Delta T}{T}.$$

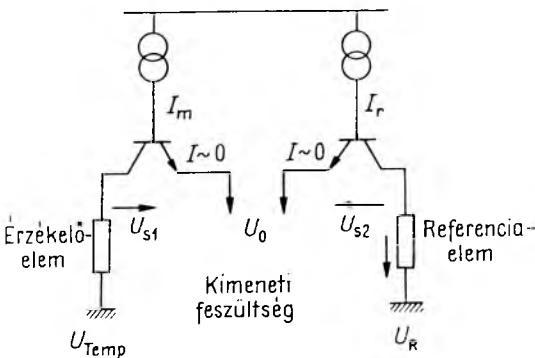
A tipikus értékek a következők:

$$\frac{dA_F}{dT} \approx 0,5\%/^\circ\text{C}, \text{ és } \frac{dr_{cc'}}{dT} \approx 0,1\%/^\circ\text{C}.$$

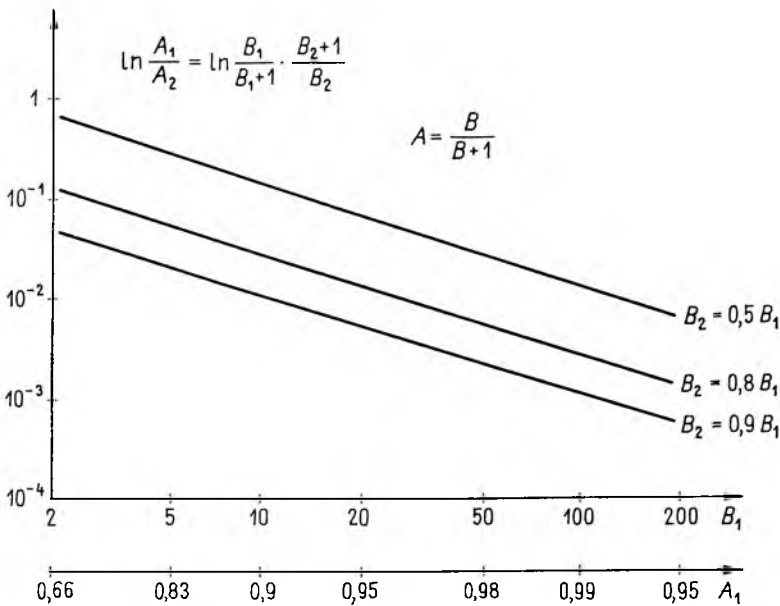
Ezekkel a tipikus értékekkel ΔU kifejezésében az utolsó két tag elhanyagolható, és a telítési feszültség hőmérsékletfüggése kb. $0,3\%/K$ -re adódik. Szimmetrikus áramkört építve a hasznos jel a két eszköz különbségéből adódik, így a hőmérsékletfüggés számottevően csökkenthető. A 30-3. ábrán látható a multiplexer-áramkör alapstruktúrája. Ennél az áramkörnél hibát csak a két telítési feszültség különbsége okoz:

$$U_{\Delta S} = U_{S1} - U_{S2}$$

és ennek a hőmérsékletfüggése, ha a $I_B = I_{B1} = I_{B2}$:



30-3. ábra. A multiplexer alapelrendezése



30-4. ábra. Az $\ln \frac{A_1}{A_2}$ a B_1 és B_2 függvényében

$$\Delta U_{\Delta S} = U_{\Delta S1} - U_{\Delta S2} = U_T \left\{ \ln \frac{A_{F2}}{A_{F1}} - \frac{U}{T} \left(\frac{1}{A_{F1}} \frac{dA_{F1}}{dT} - \frac{1}{A_{F2}} \frac{dA_{F2}}{dT} \right) + I_B \left(\frac{dr_{cc'1}}{dT} - \frac{dr_{cc'2}}{dT} \right) \right\} \frac{\Delta T}{T},$$

közelítőleg

$$\Delta U_{\Delta S} = \left(U_T \ln \frac{A_{F2}}{A_{F1}} \right) \frac{\Delta T}{T}.$$

Ezt az összefüggést mutatja a 30-4. ábra.

A gyakorlatban használt áramkörök esetén $U_{\Delta S}$ kb. 1 mV, és a $\Delta U_{\Delta S}$ hőmérsékletfüggések különbsége kisebb, mint 1 mV a teljes hőmérséklet-tartományban ($-20^\circ\text{C} \dots 80^\circ\text{C}$).

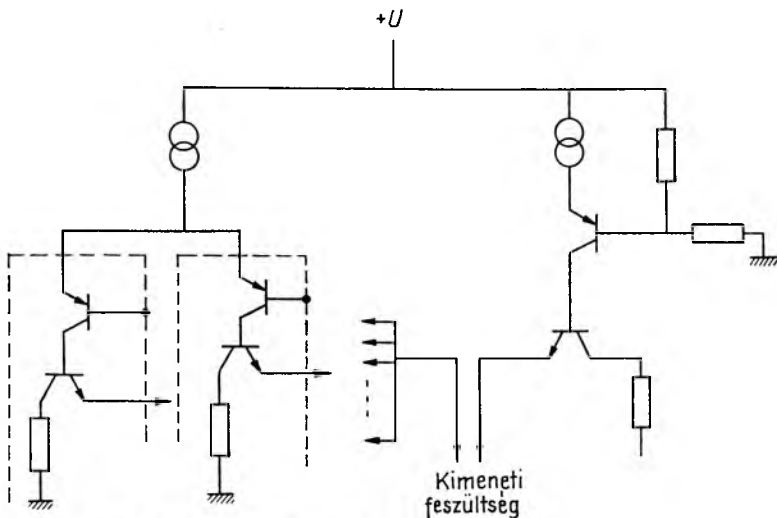
A tranzisztorokat válogatva vagy integrált áramköri technológiával előállítva elérhetjük, hogy a telítési feszültség különbsége 0,1 mV vagy annál kisebb legyen. A 30-3. ábrán látható kapcsolás kimeneti feszültsége:

$$U_{\text{out}} = U_{\text{temp}} - U_{S1} - (U_R - U_{S2}) = I_m R_{\text{temp}} - (U_{S1} - U_{S2}) - I_R R_r.$$

Ha a két áramgenerátornak közös a referenciaeleme, akkor az $I_m - I_r$ nagyon kis értékű lesz az egész működési tartományban (az üzemi hőmérséklet- és tápfeszültség-tartományon belül), így a kimeneti feszültséget a következő kifejezés adja (az áramkörnek jó a közös móduselnomása):

$$U_{\text{out}} = I_m (R_{\text{temp}} - R_r) - \Delta U_s = I_m \Delta R - \Delta U_s.$$

A kifejezésből látható, hogy a kimeneti feszültség arányos a referencia- és az érzékelőelem ellenállásának különbségével, valamint a mérőárammal. Ez az ok, ami miatt az áramkör nem igényli, hogy különösen jó áramgenerátort alkalmazzunk.



30-5. ábra. A teljes áramkör vázlata

Esetünkben a ΔU_S elhanyagolható. A multiplexer kapcsolórésze, a pnp tranzisztorok és az áramkör fontosabb elemei a 30-5. ábrán láthatók. Ha a pnp-tranzisztorok bázisára nyitóirányú feszültség jut, áram folyik az érzékelőelemen keresztül. A bázispont ellenállásosztón keresztül TTL vagy CMOS körökhöz kapcsolódhat. Az általunk használt megoldásban CMOS áramköröket építettünk be.

2.2. Összefoglalás

A rendszer főbb jellemzői a következők:

- A hőmérséklet-érzékelő elem ellenállás (ellenállás-hőmérő).
- A mérési tartomány $0 \dots 250 \text{ }^\circ\text{C}$, de ez elemcsere esetén változtatható.
- Áram csak az aktív mérőelemen folyik.
- A feszültségmérés hibája kisebb, mint 1 mV .
- A teljes rendszer mérési pontossága jobb, mint $0,3 \text{ K}$ a teljes működési hőmérséklet-tartományban.
- A mérési pontok száma 128, de ez az érték praktikus határok nélkül bővíthető.
- A rendszer TTL vagy CMOS logikai áramkörökről vezérelhető.
- A teljes rendszer csak egyetlen erősítőt tartalmaz, és ez az erősítő közvetlenül képes hajtani a feszültség–frekvencia átalakítót.
- A teljes rendszer egyetlen tápfeszültségről üzemeltethető.
- Bár a jelen alkalmazásban az áramkör nagyfrekvenciás átvitele nem fontos jellemző, de az áramkörnek ez a tulajdonsága is igen kedvező [4].
- Az áramkör diszkrét elemekből készült, de a rendszer könnyen integrálható; mivel a pnp-tranzisztor nem kritikus eleme a rendszernek, ez utóbbi készülhet laterális technológiával.

Szeretnénk kiemelni, hogy az áramkörben használt tranzisztorok válogatás nélkül épültek be, és ezek az eredmények így adódtak. Az áramkör hibája a teljes működési hőmérséklet-tartományban kisebb, mint 1 mV , míg a teljes rendszer más tényezőkből adódó pontossága jobb, mint $0,3 \text{ K}$. A teljes hibánál a multiplexer által okozott hiba

50 mK, amely elhanyagolható. Más felhasználási területeken, ahol ennek a hibának a nagysága kritikus, ez az érték a tranzisztorok válogatásával vagy integrált áramkörüi technológia alkalmazásával tovább csökkenthető.

Irodalom

- [1] *Dina Sándor*: Sok-mérőhelyes, galvanikus kapcsolat nélküli távhőmérő-rendszer és a mért adatok feldolgozási lehetőségei. VKI Közlemények 8., 1982.
- [2] *Analog Devices*: Data acquisition components and subsystems, 1980.
- [3] *Getreu, I. E.*: Modeling the bipolar transistor Elsevier Scientific Publishing. Company, 1978.
- [4] *Ribényi András*: Jelkapcsoló áramkörök. EMG Review '72, 54...60.

31.

1000 V alatti aszinkron motorok élettartam-vizsgálatának korszerű módszerei

HORVÁTH ÁRPÁD

ÖSSZEFOGLALÁS

A villamos gépek korszerű gyártástechnológiájában a nagy teljesítményű szigetelő-, tekercsfelhajtó és tekercsbehúzó automaták és az állandóan fejlesztés alatt álló gép-konstrukciók új problémákat vetettek fel.

Gyors és megbízható módszerrel kell rendelkezni ahhoz, hogy megállapítsuk az újonnan bevezetett konstrukciók, szigetelőanyagok és alkatrészek alkalmazhatóságát. A Villamosipari Kutató Intézet egy új vizsgálati módszert alkalmazott, amelyet a szakirodalomnak megfelelően komplett motorok reverzáló tesztjének nevezett el. A módszer bevezetésének elsősorban az volt a célja, hogy az új szigetelőanyagokból felépített szigetelési rendszer élettartamát vizsgálja, de egyben választ ad az egész gép mechanikai egyenszilárdságára, valamint jól alkalmazható a gyors minőség-ellenőrzési feladatokra is.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

А. Хорват

Резюме

В современной технологии производства электрических машин появились новые проблемы из-за применения мощных автоматов нанесения изоляции, изготовления и установления обмоток, а также непрерывно развивающихся конструкций машин.

Изготовители вынуждены иметь быструю и надежную методику для определения применимости вновь введенных конструкций, изоляторов и деталей.

В НИИ электротехнической промышленности применена новая методика испытания, которую по специальной литературе назвали резервирующим тестом комплектных двигателей. Первичной целью введения методики являлось ресурсное испытание системы, построенной из новых изоляторов, но методика одновременно даст ответ на постоянную стойкость полной машины и методика также хорошо применима для выполнения задач контроля качества.

MODERNE METHODEN ZUR LEBENSDAUERPRÜFUNG VON ASYNCHRONMOTOREN UNTERHALB 1000 V

Á. HORVÁTH

Zusammenfassung

In der modernen Fertigungstechnologie der elektrischen Maschinen ist es durch die Hochleistungsautomaten zum Isolieren, Wickeln und Einlegen der Wicklung und durch die ständig im Weiterentwicklungsstadium befindlichen Maschinenkonstruktionen zu neuen Problemen gekommen.

Man muss über eine schnelle und zuverlässige Methode zur Feststellung der Anwendbarkeit der neu eingeführten Konstruktionen, Isoliermaterialien und Teile verfügen. Von dem Forschungsinstitut der Elektroindustrie (VKI) wurde eine neue Prüfmethode angewandt, die der Fachliteratur entsprechend Reversiertest für komplette Motoren genannt wurde.

Das Ziel der Einführung der Methode war in erster Linie die Lebensdauerprüfung von Isoliersystemen, die aus neuen Isolierstoffen aufgebaut wurden. Durch diese Prüfung erhält man gleichzeitig Angaben zur mechanischen Festigkeit der gesamten Maschine. Sie kann auch gut zu schnellen Qualitätskontrollaufgaben angewandt werden.

UP-TO-DATE METHODS OF LIFE TESTING OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS BELOW 1000 V

BY Á. HORVÁTH

Summary

The high-output automatic insulating, winding and coil pull-in machines and the continuously improved machine designs have raised new problems in the contemporary production technology of electric machines.

A rapid and reliable method is required for determining the applicability of recently introduced designs, insulants and components.

The Research Institute of Electric Industry (VKI) has adapted a new testing method named, in accordance with the technical literature, „reversing test of complete motors”.

The primary objective of introducing this method has been the life testing of insulation systems employing new insulants; at the same time, it will provide information on the mechanical strength of machine as a whole, and is readily applicable in quick quality inspections, too.

1. Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben világszerte nagy fejlődés indult meg a villamos gépek korszerű gyártástechnológiájában és így hazánkban is. Az ezen a területen végbement fejlődés kihatással van az ipar egészére is, hiszen villamos gépek nélkül az ipari termelés egyrészt a gépek szerkezeti elemeire, az anyagtakarékos motorok kifejlesztésére, másrészt a szigetelőanyagok hő- és mechanikai szilárdságának emelésére irányult.

Az állandó fejlesztés csak akkor lehetséges, ha a fejlődéssel párhuzamosan a vizsgálati módszereink is pontosabbá válnak. Gyors és megbízható módszerrel kell rendelkezünk ahhoz, hogy megállapíthassuk újonnan bevezetett anyagok és alkatrészek alkalmazhatóságát. A vizsgálatok során ellenőrizzük pl. a szigetelt huzal minőségét és kopásállóságát, a horonybéléshez szükséges fólia vastagságát és mechanikai szilárdságát, a pajzsok vastagságát és kialakítását, az extrudált alumínium ház illesztését a lemezcsoomaghoz, valamint azt, hogy a vizsgált rendszer mennyire illesz-

kedik az új gyártástechnológia bevezetéséhez anélkül, hogy a késztermék minősége, élettartama csökkenne. Nem elég az új szerkezeti anyagok, szigetelőanyagok egy-egy jellemzőjének meghatározása, a kölcsönhatásukat, az összeférhetőséget és a hőállóságot is kell vizsgálni a valóságos komplex igénybevételek mellett. Erre szolgál a gyorsított élettartam-vizsgálat [10], [11].

2. Konkrét gyakorlati példák a gyorsított élettartam-vizsgálatra

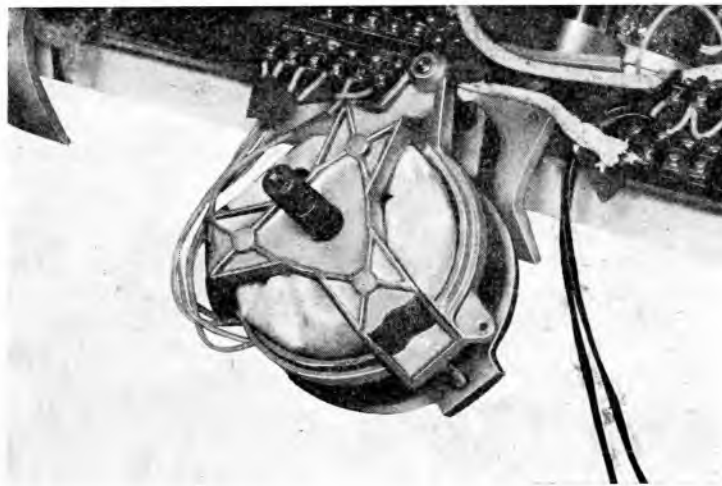
A gyorsított, korszerű és korrekt élettartam-vizsgálat kérdése először a *nagy teljesítményű szigetelő-, tekercsfelhajtó és tekercsbehúzó automaták* alkalmazásával és az új, modern gépkonstrukciók bevezetésével került előtérbe. A korszerűbb gyártástechnológia bevezetése visszahatott a szigetelőanyagok fejlesztésére. A nagy sebességek következtében fellépő nagyobb erőhatások miatt a szigetelőanyagok mechanikai szilárdságát kellett növelni. A hagyományos huzal-, ill. horony-, fázis-, és fejszigetelő anyagok az esetek többségében nem tudták elviselni a megnövekedett igénybevételeket [2].

Az egységnyi tömegre jutó motorteljesítmény növelésére létrehozták az *anyag-takarékos motorokat*.

Az anyagmegtakarítás kiterjedt a gép minden részére, és pedig a rézhuzalra, pajzsra, lemezestre, házra. Az anyagtakarékoság kiterjedt bizonyos szigetelőanyagok elhagyási lehetőségének vizsgálatára is. Így az Ipari Műszer Művek megbízásából végzett kutatás célja volt annak a megállapítása, hogy a KU 534 F7 n 1 típusú mosógépmotorból a fázisszigetelő elhagyása nem veszélyezteti-e a gép üzembiztonságát, ill. az élettartam megfelel-e az elvárásoknak (31-1. és 31-2. ábra).

A fázisszigetelő elhagyásából a következő előnyök származnak:

- A technológiai folyamat egyszerűbb.
- Tökés importból származó anyag takarítható meg.
- Évenként két személy munkájával azonos élőlátás takarítható meg a jelenlegi darabszám figyelembevételével.



31-1. ábra. A KU 534 F7 n 1 típusú motor élettartam-vizsgálata



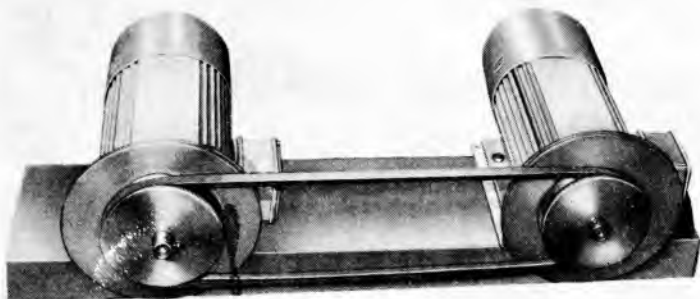
31-2. ábra. A KU 534 F7 n 1 típusú motorok élettartam-vizsgálata a vezérléssel együtt

A megszokott és hagyományossá vált *szigetelési rendszerek új anyagokkal való helyettesítésére* nagy erőfeszítések indultak meg. Az ipar minden területén előtérbe került a tőkés import helyettesítése hazai, ill. szocialista országokban gyártott anyagokkal. Ez a kérdés a motorgyártásban azért is döntő jelentőségű, mert Magyarországon a szigetelőanyagok gyártása — az impregnálóakkokon és -gyantákon kívül — megszűnt. Az új anyagok szükségessé teszik a *társíthatóság* megállapítására élettartam-vizsgálatok elvégzését.

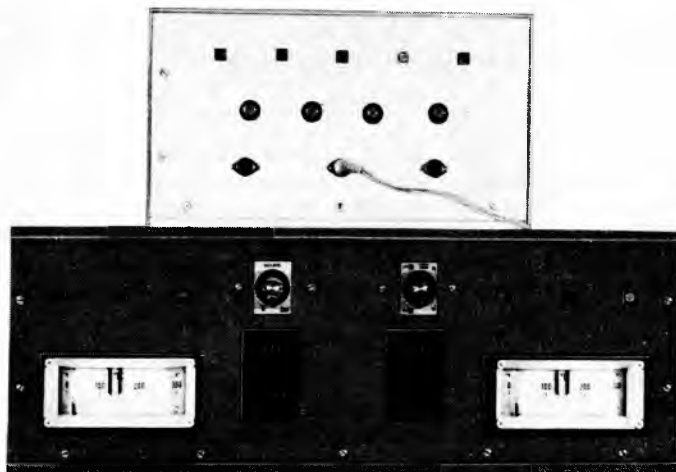
Az IMI és az EVIG új *motorsorozatot* dolgozott ki a nemzetközi előírások és tapasztalatok figyelembevételével. Az új motorsorozat bevezetésével egyidőben jelentős technológiai változtatást hajtottak végre. A változtatás kiterjedt pl. a motoroknál extrudált alumínium ház bevezetésére, a pajzsokra, ill. az egyéb alkatrészekre (31-3. és 31-4. ábra). Az új gyártástechnológia kialakításával jelentős anyag- és élőmunka-megtakarítást érnek el. Az általunk elvégzett vizsgálatok célja annak megállapítása volt, hogy a méretek és a kialakítások módjai dinamikus erőhatások esetén a mechanikai előírásoknak megfelelnek-e. Lényeges követelmény volt az is, hogy az élettartam-vizsgálatok rövid idő alatt befejeződjenek.

A vizsgálat a következőkre terjedt ki:

- az extrudált csőház falvastagságának ellenőrzése;
- a talp méretének (elsősorban a nyakméret) ellenőrzése;
- a pajzs falvastagságának ellenőrzése;
- a ház és a hidegen bepréslt lemezcsomag közötti illesztés és az egyéb illesztési felületek minőségének ellenőrzése;
- a gépösszefogás biztonságának az ellenőrzése;
- a szigetelési rendszer vizsgálata.



31-3. ábra. A Hz 894 T 801 típusú extrudált alumínium házas motor élettartam-vizsgálata



31-4. ábra. Ütemadó- és vezérlőegység az extrudált alumínium házas motor élettartam-vizsgálatához

A TVK új típusú vízzeláztató impregnálólakkot fejlesztett ki. A lakk mindössze 3...5% szerves oldószert tartalmaz, ezért nem tűzveszélyes, és egészségre sem ártalmas. Az impregnálási technológia folyamatában elhagyható az előszáritás, amely jelentős energiafelhasználással jár. Villamos forgógépek impregnálásánál történő alkalmazhatóságát szintén körülbekintő és lehetőleg rövid idejű, tehát gyorsított vizsgálatokkal kell megállapítani.

3. A szigetelőanyagok élettartamának vizsgálata hagyományos módszerrel

A szigetelőanyagok élettartamának meghatározására több évtizede motoretteket használtunk. A motoret egy adott geometriai méretű horonypár, amelyben elhelyezik az adott gép aktív tekercselőanyagából és szigetelési rendszeréből elkészített mintadarabot [3], [4], [5]. A motoret geometriai mérete, tekercselési adata a szigetelési rendszertől függetlenül állandó. A modelleken az igénybevételek ciklikusan következnek egymás után. Az igénybevételek fajtái: hő, mechanikai, nedvesség-, és villamos igénybevétel.

A vizsgálat három különböző hőmérsékleten történik. A mérési adatokból élettartam-egyenes szerkeszthető, az egyenes extrapolációjával az előírt időtartamhoz tartozó hőmérséklet meghatározható.

A vizsgálati hőmérséklet nem növelhető tetszőlegesen, mert az öregedés folyamatában másod- vagy harmadrendű reakciók lépnek fel [8].

A módszer csak nagyon szűk területre ad előjelzést. Hátránya az, hogy a tekercselőrendszer sem méretben, geometriai elhelyezésben, sem a tekercselés adataiban nem felel meg a valódi állapotnak. Ezen kívül a gép többi részének (pajzs, ház, tengely stb.) minőségi kérdéseire nem kapunk választ. A szigetelőanyagok társíthatóságának kérdésében viszont ez a módszer nagyon nagy szerepet játszik.

A valóságos méretek korrektebb megközelítésére születtek meg a statoret-, ill. rotoresetvizsgálatok. Ezek a vizsgálatok sem alkalmasak a mechanikai jellegű ellenőrzésekre.

4. A komplett villamos gép reverzáló vizsgálatának ismertetése

A VKI egy új vizsgálati módszert alkalmazott, és azt a szakirodalomnak megfelelően komplett motorok reverzáló vizsgálatának nevezte el. A módszer bevezetésének első sorban az volt a célja, hogy az új szigetelőanyagokkal felépített szigetelési rendszer élettartamát vizsgálja, de egyben választ ad az egész gép mechanikai egyensúlyosságára is, és jól alkalmazható gyors minőség-ellenőrzési feladatokra is. Az iparilag fejlett országok a vizsgálatot már alkalmazzák, de a nemzetközi szaksajtóban részletes információt erre a célirányos módszerre nem találtunk, ezért ez önálló fejlesztési területnek tekinthető. A reverzáló vizsgálatnak az a lényege az eddigi kísérletektől eltérően, hogy a vizsgálandó modell maga a valódi „élő” motor [7], [9]. A termikus, mechanikai és villamos igénybevételek egyszerre érik, tehát a környezeti hatás egyidejűleg lép fel. Felhasználjuk az üzemi hőmérsékletnél nagyobb hőmérsékletnek a szigetelőanyagok öregedésére gyakorolt gyorsító hatását. A különböző igénybevételeknek a forrása az állandó reverzáló üzemmód.

A gyakorlati élet és a vizsgálatok kimutatták, hogy az egymás után alkalmazott igénybevételek nem adják az öregedés ugyanazon mértékét, mintha azok egyidejűleg

érnék a vizsgált tárgyakat. Az anyagok élettartama erősen függ attól, hogy a vizsgálatot a hatások sorozataként vagy összetett igénybevételként alkalmazzuk-e.

A kidolgozott vizsgálatot alkalmazva a villamos gépeken a kombinált környezeti hatás egyidejűleg lép fel. Kellő számú mérések hiányában nincs bizonyíték arra, hogy az élettartam-egyes megszerkeszthető-e az adatokból, ezért a módszer még csak összehasonlító jellegű. A vizsgálatok elméletének továbbfejlesztéséhez kísérleteket fogunk folytatni arra, hogy az élettartam-egyes egyetlen pontból is megszerkeszthető-e.

A vizsgálati hőmérsékletet a legújabb irodalmi tapasztalatoknak megfelelően a szigetelési rendszer hőosztályára jellemző hőmérséklet felett $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal állapítottuk meg. A megemelt hőmérséklet miatt a kivezetések és sorosítások vezetőiket szilikon szigetelésű vezetésekre cseréljük ki. A csapágycsatlókat hőálló zsírral látjuk el.

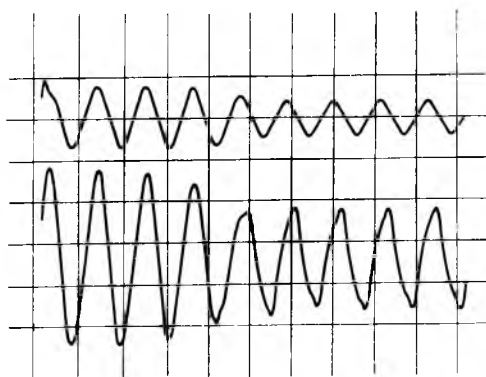
A reverzalások során az átkapcsolás pillanatában tranziens áram lép fel. A 31-5. ábrán a KU 534 F7 n 1 típusú egyfázisú motor tranziens áramainak oszcillográf-felvétele látható. Az állandósult értékek a fő- és segéd-fázis üresjárású áramát mutatják [7].

Az áram erőteljes dinamikus hatásán kívül az áramcsúcsok helyi túlmelegedést hoznak létre, és az ezzel járó vezetőanyag-dilatáció, ill. a lehűléssel járó kontrakció szuperponált mechanikai igénybevételt jelent. Az átkapcsolások ideje alatt túlfeszültséggel is terheljük a szigetelést. A hőmérséklet biztosításán kívül az áram dinamikai hatása és a tranziens áram szuperponált hatása miatt a mechanikai igénybevétel maximálisan biztosítva van.

A hőmérséklet érzékelésére Fe—Ko érzékelőket építettünk be a tekercsfejbe. A vizsgálatok megkezdése előtt a következő problémákat kellett tisztáznunk:

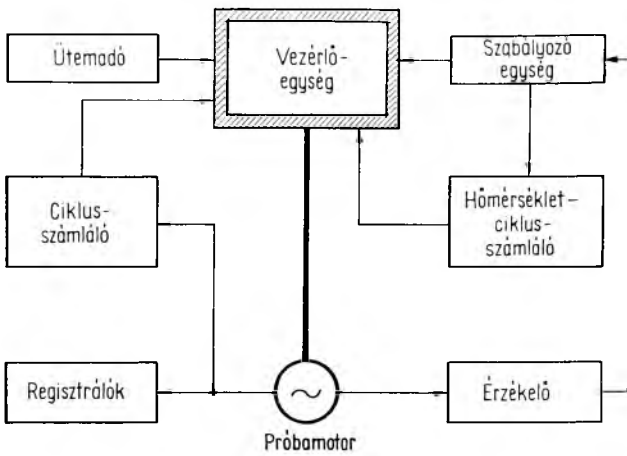
A motorok felfűtése és a hőmérsékleten való tartása az átkapcsolások számának függvénye. Ugyanakkor a motorokra jutó igénybevételt is a kapcsolások száma határozza meg.

A gépek vesztesége, lehűlése különböző, és eltérő az a mikroklíma is, ami körülveszi őket. Ezt a kérdést úgy oldottuk meg, hogy minden gép esetében azonos idő alatt egyenlő számú kapcsolást hoztunk létre, és a kiválasztott átlagos tekercsfej-hőmérsékletet kétféle fűtési szakaszban biztosítjuk (31-7. ábra). Az átkapcsolási idő minden esetben azonos (30 s). A két különböző állapotot különböző idejű feszültségmentes állapot (szünetjel) jellemzi (31-7. ábra; A; B). A felfűtési szakaszban a

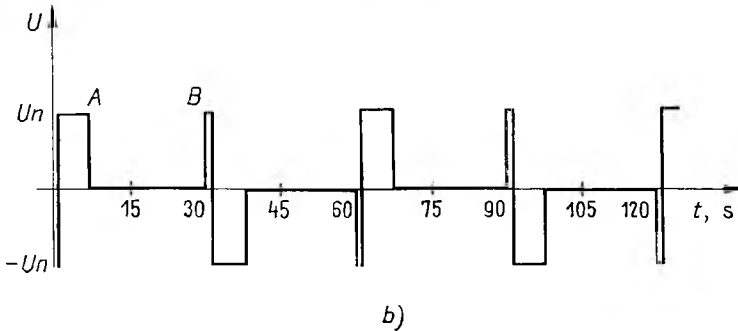
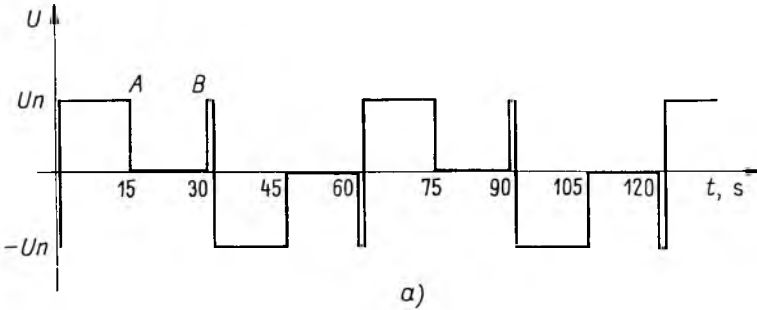


31-5. ábra. KU 534 F7 n 1 típusú egyfázisú motor tranziens áramfelvétele

felső kép a segéd-fázis árama; alsó kép a fő-fázis árama



31-6. ábra. A működtetőrendszer bloksémája a motorvizsgálatokhoz



31-7. ábra. Fűtési szakaszok

a) felfűtési szakasz; b) alulfűtési szakasz

szünetjel rövidebb (31-7a ábra: A; B). Az alulfűtési szakaszban a szünetjel hosszabb (31-7b ábra; A; B). A megfelelő fűtőjel kiválasztása a hőérzékelő és a szabályozó-műszerek segítségével automatikusan történik (31-6. ábra). A túl- és az alulfűtés mértékének megállapításánál a következő tényezők zavaró hatását kell figyelembe venni:

- A hálózati feszültség ingadozása.
- A motortestek eltérő hűlése.
- A környezeti hőmérséklet változása.
- A gépek különböző áramfelvétele.

A hőtehetetlenséget a motorok letakarásával növeljük meg. A beállított átlagos tekerescsfej-hőmérsékletet elektronikus hőmérsékletszabályozóval biztosítjuk az ütemadókból kiadott rövid és hosszú fűtőjel kiválasztásával, a tekerescsfejbe elhelyezett hőmérséklet-érzékelők segítségével.

A csapágy mechanikai hibáiból, hálózati fáziskimaradásból és az üzemi kondenzátor hibájából adódó rövidzárlati jelenségek elkerülése érdekében használjuk a fedővédelmet. 20 °C túlfűtés esetén a szabályozó a motort lekapcsolja a hálózatról. A vezérlőegységben elektromechanikus számlálót helyeztünk el, amely az irányváltásból adódó igénybevételek számát regisztrálja.

A villamosgép-gyárak szakembereivel egyeztetve az igénybevételt jelentő maximális kapcsolások számát 100 000-ben állapítottuk meg. Ez a szám abból adódik, hogy a kis aszinkrongépeknek legalább 100 000 kapcsolást ki kell bírniuk az életük során. Ez a kapcsolási szám – a szünetjelek figyelembevételével – kb. 600 üzemórának felel meg.

5. Összefoglalás

A gyakorlati tapasztalatok a vizsgálati módszert igazolták. A motor felhasználóitól és a gyártóktól kapott, a mechanikai és szigeteléstechikai meghibásodásokra vonatkozó információk a mérési eredményekkel megegyeztek. A módszer jelentőségét kiemeli az, hogy a kb. 600 h-s vizsgálat alapján – az üzemi tapasztalatok összegyűlésének kivárása nélkül – visszajelzést lehet kapni az egyes konstrukciós változások hatásairól. Az alkalmazás területéről elmondhatjuk, hogy a módszer alkalmas a mechanikai és konstrukciós hibák kimutatására, a szigetelési rendszerek vizsgálatánál pedig összehasonlítást és rangsorolást tesz lehetővé.

További munkánk során az a törekvésünk, hogy – a motoretvizsgálatokhoz hasonlóan – megtaláljuk azt a matematikai összefüggést, amelynek segítségével a komplett szigetelési rendszer élettartama is meghatározható, és amely előrejelzést ad a 20 000 üzemórához tartozó megengedett üzemi hőmérsékletre [6].

Irodalom

- [1] *Dixon R.*: Hööregedések előrejelzése egyetlen ponttal megadott Arrhenius egyenesből. *Electrical Insulation*, 1970. aug. 4. sz.
- [2] *Minami M.*: Deterioration of Motor-Winding Under Environmental-Stress *IEEE, Trans. on Engineering Management*, 26. k. 2. sz.
- [3] *Botts J.*: Stable S.; Evaluation of AC Motor Insulation Systems. *IEEE Trans. on PAS* 1978. 97. k., 4. sz., 1254...1263.
- [4] 2J/Secretariat/2. Draft Standard Test Procedure for Evaluation and Classification of Insulation Systems for Direct Current Machines. *IEEE, Journal of Solid-State Circuits*, 1981., 16. k. 9. sz.
- [5] MSZ 16950/1, 2, 3,: Villamos szigetelőanyagok tartós hőállóságának meghatározása. 1978.
- [6] *Horton W.*: A Statistical Method for Predicting Insulation Life from Experimental Data. *IEEE Trans. on PAS* 1956., 75. k., 3. sz. 405...410.
- [7] Der Reversiertest an kompletten Motoren. *Siemens Zeitschrift* 52/8/1978. sz. 427...474.

- [8] *Brancato E.*: Insulation Aging. IEEE Trans. on Elektrical Insulation. 1978. 13. k., 5. sz., 308...317.
- [9] *Gawuc W.*: Badania trwalosci maszyn elektrycznych. Przegląd Elektrotechniczny. 1981. 57. k., 4. sz., 65...68.
- [10] Demand for Small Motors Still Growing. AEU 1980. október 57. sz., 104...106. old.
- [11] *Ford E.*: Electric Motor Insulation: British Trends and Application. Insulation/Circuits 1981. 27. k., 12. sz., 39...41.

32.

Szigetelőanyagok tartós villamos szilárdságának vizsgálata treeing lappangási idejének mérésével

BOGNÁR ALAJOS – DÁVID PÉTER – TAMÁS FERENC – ZELENYÁNSZKY
ENDRE

ÖSSZEFOGLALÁS

Műanyag szigetelések villamos letörésének folyamata, a treeingjelenség kialakulásának és kifejlődésének mechanizmusa. A vizsgálati próbatestek kialakítása, az elektródok kiválasztása.

A treeing begyújtásig eltelt idő meghatározásának mérés technikai problémái. A treeing begyújtásának indikálása részleges kisülés mérésével. Tíz próbatest egyidejű vizsgálatára alkalmas automatikus mérőberendezés elvének ismertetése. Poliolefin szigetelőanyag-mintákon meghatározott eredmények ismertetése és interpretálása.

ИСПЫТАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ИЗОЛЯТОРОВ МЕТОДОМ ИЗМЕРЕНИЯ ЛАТЕНТНОГО ВРЕМЕНИ „TREEING”

A. Богнар—П. Давид—Ф. Тамаш—Э. Зеленьянки

Резюме

Процесс электрического пробоя пластмассовых изоляций, механизм возникновения и развития „treeing” явления. Оформление испытываемых образцов, выбор применяемых электродов.

Измерительные проблемы определения времени, прошедшее до „treeing” зажигания. Индикация „treeing” зажигания измерением частичного разряда. Описание принципа работы автоматического измерительного устройства, позволяющего измерить одновременно 10 образцов. Результаты, определенные на образцах изолятора из полиолефина; интерпретация результатов.

PRÜFUNG DER ELEKTRISCHEN LANGZEITFESTIGKEIT VON ISOLIERSTOFFEN DURCH DIE MESSUNG DER „TREEING”-KANALEINSATZZEIT

A. BOGNÁR—P. DÁVID—F. TAMÁS—E. ZELENYÁNSZKI

Zusammenfassung

Es werden der Vorgang des elektrischen Durchschlags der Kunststoffisolierungen, der Mechanismus des Entstehens und der Entwicklung der „Treeing”-Erscheinung beschrieben. Es wird auf die Gestaltung der Probekörper, sowie auf die Auswahl der angewandten Elektroden eingegangen.

Die messtechnischen Probleme der Bestimmung derjenigen Zeit werden beschrieben, die bis zum Zünden des Treeings vergangen ist. Die Indikation der Zünden des „Treeing”-s durch Messung der Teilentladung wird behandelt. Es wird das Prinzip einer automatischen Messeinrichtung erörtert, die zur gleichzeitigen Prüfung von 10 Probekörpern geeignet ist. Zum Abschluss werden Ergebnisse bekanntgegeben und interpretiert, zu denen man bei Polyolefin-Isolierstoffprüfkörpern gekommen ist.

Summary

Process of electric breakdown of plastic insulations, mechanisms of inception and development of treeing phenomenon. Construction of test specimens, selection of electrodes employed.

Measurement problems associated with determining the time elapsing until the treeing is ignited. Indication of initiation of treeing by measuring the partial discharge. Description of the underlying principles of an automatic test equipment for simultaneous testing of 10 specimens. Description and interpretation of results obtained to polyolefine insulant samples.

1. Bevezetés

Az elmúlt egy-két évtizedet a szigeteléstechnika műanyag-korszakaként tekintik, mivel ebben az időszakban indult meg nagyobb ütemben a műanyagok mint szigetelőanyagok alkalmazása az erősáramú berendezésekben. Ezt alátámasztja az öntőgyanták széles körű elterjedése a mérőváltók, elosztóhálózati transzformátorok, tokozott kapcsolóberendezések, belsejtéri és szabadtéri készülék- és távvezetési szigetelők területén vagy a poliolefin szigetelőanyagok (PVC, a polietilén különböző változatai) szinte kizárólagos alkalmazása a kábeliparban és a polipropilén szigetelőfóliák térhódítása az erősáramú kondenzátorok gyártásában.

A lényegében töretlen fejlődéssel egyidejűleg a műanyagok tartós villamos igénybevehetőségével kapcsolatosan komoly kétségek merültek fel, amelyek ma már nemzetközivé szélesedő kutatómunkát indítottak el ezen a területen.

A műanyagok villamos szilárdságát elvben és első közelítésben a polimerizáció során kialakuló molekulaszervezetük határozza meg. Pontosabban a molekulákon belül ható erők, a primer kötési erők, amelyek a makromolekulákat alkotó atomok közötti kémiai kötést hozzák létre és a szekunder vagy van der Waals-féle erők, amelyek a közel álló óriásmolekulák között hatnak.

A villamos szilárdság letöréséhez mobilis töltéshordozók szükségesek, amelyek tökéletes vagy ehhez közeli molekuláris felépítés esetén nem vagy nagyon korlátozottan állnak rendelkezésre. A molekulaszervezethez – a vezetőkhöz, ill. félvezetőkhöz hasonlóan – kvantumkémiailag megfontolások és számítások alapján sávmodell rendelhető [1], [2], amelynél a vezetési és a valenciasáv közötti tiltott sáv szélessége meghatározó a szigetelőanyag vezetése és villamos szilárdsága szempontjából. A villamos átütéshez a molekulaszervezeten belüli egyes kötések megbontani képes, nagy energiájú „forró” elektronokra van szükség, amelyek ütközéses ionizáció révén elektronlavinát alakítanak ki [3].

A műanyag szigetelések gyakorlati megjelenési formája, fizikai szerkezete (egyes esetekben a végleges molekulaszervezete is) az alakadó műanyag-feldolgozási eljárás, technológia (pl. öntés, extrudálás, préselés stb.) során alakul ki. A szigetelőanyag technológiája és adott esetben a szigetelés konstrukciója (a szigetelőanyag és elektródok társítása) döntő szerepet játszik a villamos igénybevehetőség szempontjából. A feldolgozás során alakul ki a műanyag óriásmolekulák mikrostruktúrája, morfológiai felépítése. Ez utóbbi rendezett (kristályos), rendezetlen (amorf) vagy a kettő kombinációja (kristályszerkezet amorf mátrixba ágyazva) lehet.

2. A polimerek anyagszerkezete és villamos szilárdsága közti összefüggés

A műanyagok fizikai szerkezetük rendezettsége szempontjából a folyadékok és a kristályos szilárd anyagok között foglalnak helyet. A polimerek jellegzetes molekuláris szerkezete következtében azonban az amorf és kristályos állapotuk lényegesen eltér a kis molekulású anyagokétól. Az amorf állapotú polimerek rendezettebb szerkezetűek, mint a kis molekulású amorf anyagok. A polimerek ugyanakkor kevésbé tökéletes kristályszerkezetet tudnak létrehozni, mint a kis molsúlyú anyagok. A háromdimenziós szabályosság sohasem terjed ki a polimer halmaz egészére, mindig találhatók amorf, rendezetlen részek is.

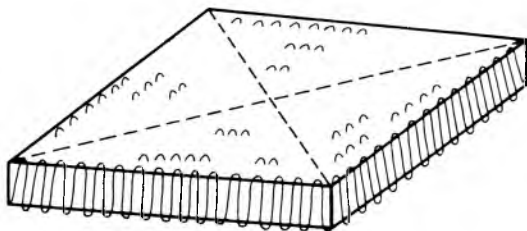
Az irodalomból polimer egykristályok is ismeretesek, amelyek romboéderes vékony lemezek és a polimerlánc hajtogatott szerkezetével jönnek létre. A lemez vastagsága 10^{-2} μm , egyéb méretei 1...100 μm nagyságrendben vannak. Vázlatos felépítésük a 32-1. ábrán látható [4].

A részben kristályos polimerek (pl. polietilén, polipropilén) jellegzetes morfológiai alakzatai a sferolitok, amelyek lamellás kristályok radiálisan rendezett tömbjéből állnak, ahol az egyes lemezeket amorf anyag köti össze egymással. A sferolitok növekedése egy központi magból radiálisan kifelé indul meg és addig tart, amíg a szomszédos, növekvő sferolittal nem találkozik, így jellegzetes poliéder alakzatokat kapunk. A sferolitok tipikus méretei 1...10 μm nagyságrendbe esnek [4].

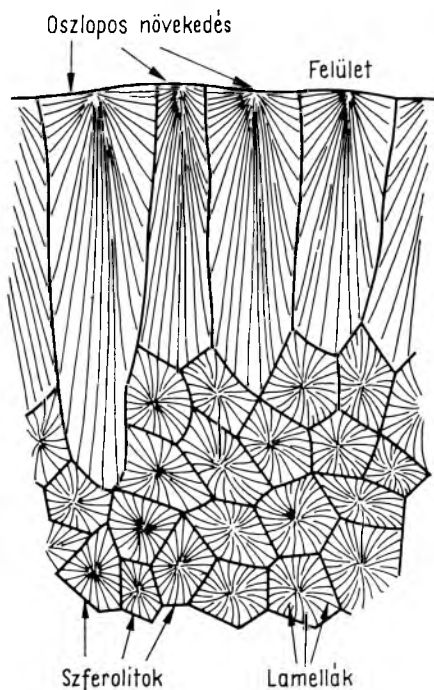
Ez az anyagszerkezet az ideális molekulászerkezettől való eltérés számos lehetőségét hordja magában. Már maga a polimer kristály tartalmazhat rácshibákat, diszlokációkat. A hajtogatási helyekre idegen anyagok szegmensei épülhetnek be, a hajtogatási felületek általában szintén nem kristályosak, a kristályos és amorf fázis egyidejűleg jelen van, de a kristályos hányad dominál.

Az elmondottakon túl a sferolitos szerkezet további inhomogenitásokat tartalmaz. Jól olvadó szennyeződések találhatóak a kristályos lamellák közötti amorf részben, a sferolitok közötti határfelületeken is izolálódnak szennyeződések. Az anyag felületéhez közeli krisztallizációs gócból a 32-2. ábrán is látható, oszlopos jellegű sferolitok képződnek [5].

A térhálós szerkezetű anyagoknál a térhálósodás kémiai folyamata és a technológiai körülmények is magukban hordozzák az inhomogenitásképződés lehetőségét. Pl. a térhálósított polietilén szigetelésű kábelek gyártásánál a dikumilperoxid térhálósító adalékanyag bomlástermékei, ill. az egyik eljárás során a térhálósításhoz hőközlő anyagként alkalmazott vízgőz hatására mikroüregek jönnek létre. Az irodalomban közölt eredmények alapján még nem tekinthető egyértelműnek, hogy a térhálós polietilén a termoplasztikus polipropilénhez hasonló sferolitos szuperstruktúrával rendelkezik [4], [5], [7], [8].



32-1. ábra. Kristályos szerkezetű polimerek felépítésének sémája



32-2. ábra. Műanyagok szferolitós szerkezete az anyag belsejében és a felületen

Az elektrotechnika gyakran használt szigetelőanyagainak jelentős része kompaundált, vagyis polimerek egymással való keverésével vagy polimer és szerves töltőanyagok keverésével jön létre. Így több fázis jelenléte adott és a kompaund szerkezete jelentős mértékben függ a töltőanyag méretétől és térfogatától és attól, hogy a polimer és a töltőanyag között milyen kapcsolat jön létre (nedvesítés, tapadás, kémiai kötés).

Ez a vázlatos felsorolás azt kívánta bemutatni, hogy a műanyagoknak a feldolgozás során kialakuló anyagszerkezete milyen nagy mértékű változatosságot mutat, és ehhez még azt is hozzá kell tenni, hogy kémiaiilag azonosnak tekinthető anyagok esetén a technológiai körülményeknek az anyagszerkezetre gyakorolt hatása meghatározó lehet. A valóságos szigetelésnél még további tényezők jöhetnek számításba azzal, hogy a műanyagok hőtágulási együtthatója nagy, így a feldolgozást követő lehűléskor a kontrakció következtében zárványok, repedések jöhetnek létre. A műanyagok hőtágulási együtthatója lényegesen nagyobb a fémekénél, így gyakorlati elrendezésekben, ahol a fémek elektródként vagy áramvezetőként a műanyagokkal társítva vannak, a kontrakció anyagszerkezetre gyakorolt hatása kritikus lehet.

A 2. pontban az inhomogenitásokról eddig elmondottaknak a villamos szilárdságra gyakorolt hatása egyértelműen negatív, ez abban is tükröződik, hogy a gyakorlati elrendezésekben használatos villamos térerősségek 2-3 nagyságrenddel kisebbek az elviek tekinthető elrendezésben meghatározotthoz képest.

Közel negyven éve foglalkoznak a kutatók a műanyagok villamos szilárdsága mechanizmusának feltárásával [9], [10]. Különleges kísérleti körülmények között

(20...150 μm szigetelőanyag-vastagság, speciális elektródelrendezés, rövid idejű egyenfeszültség vagy impulzusfeszültség alkalmazása) 10^8 ... 10^9 [V/m villamos szilárdságot lehetett elérni, amely a megfigyelések szerint döntő részt csak az anyag molekulaszervezetétől és a hőmérséklettől függ. Ezt a villamos szilárdságot már próbálták anyagjellemzőként kezelni, erre utal elnevezése is: intrinsic dielectric strength, vagyis belső, valódi villamos szilárdság.

A jelenleg alkalmazott üzemi villamos térerősség műanyag szigeteléseknél döntőrészt a 10^6 ... 10^7 V/m nagyságrendbe esik, csak a kondenzátorokban alkalmazott polipropilén fóliák esetében éri el az $5 \cdot 10^7$ V/m körüli értéket, itt azonban a fólia rétegvastagsága 10 μm nagyságrendbe esik. A jelentős különbség oka döntőrészt éppen az előzőekben részletezett anyagszerkezeti és technológiai okokban kereshető.

A kristályhibák és a kristály/amorf fázisátmenetek és a szennyeződések elektroncsapdák képződését teszik lehetővé, amelyek a vezetési elektronfolyamatokat lényegesen megváltoztatják. A szilárdtest-fizika sávméleti megközelítésében az elektroncsapdákhoz elszigetelt energiaszintek tartoznak, amelyek a tiltott sávban helyezkednek el. A vezetési sávhoz közeli, sekély csapdaszintekből az elektronok viszonylag könnyen, kis energiaközlés után a vezetési sávba kerülhetnek.

A szferolithárok nemcsak mechanikai, hanem villamos szilárdsági szempontból is az anyag gyengébb helyei közé tartoznak. Ebből a szempontból három szferolit találkozási helye kritikus. Megfigyelések szerint az átütési csatornák nagyrészt éppen itt alakulnak ki [11].

A makroszkopikus méretű inhomogenitások, de különösen a légzárványok, üregek, repedések a villamos szilárdságot nagymértékben csökkentik azáltal, hogy ezekben villamos kisülések, részleges kisülések jönnek létre. A kisülés a műanyag roncsolódásához, fokozatos átütéséhez vezet a villamos szilárdság töredékének megfelelő villamos igénybevétel mellett is, ha elegendő idő áll rendelkezésre.

Különösen veszélyesnek tekinthetők azok a makro- vagy mikroszennyezések, ill. hibák, amelyek a helyi villamos térerősséget erősen megnövelik. Számítások szerint egy tű alakú fémes szennyezés – feltételezve, hogy a tű hegyének lekerékítési sugara μm , az elektródtávolság mm nagyságrendbe esik – az adott térrészre értelmezhető átlagos térerősséget néhány százszorosra növelheti [12]. Ily módon a helyi villamos térerősség elérheti az anyagra jellemzőnek tekintett „intrinsic” villamos szilárdság értékét, és így lokalizált elektronfolyamatok indulhatnak meg, amelyek fokozatosan a villamos szilárdság részleges, majd teljes letöréséhez vezetnek, általában hosszabb idő elteltével.

Mind a műanyagon belüli rész kisülés, mind a helyi térerősség-növekedés által iniciált, fokozatosan kialakuló átütési folyamat jellegzetessége, hogy az átütési csatorna fához hasonlóan elágazó képet mutat. A tree (fa) angol szó alapján – az irodalomban ma már internacionálisan – az elágazó kisülési csatorna kialakulási folyamatát treeing-nek nevezik.

Általánosítva megfogalmazhatjuk, hogy a műanyag szigetelések tartós villamos igénybe vehetőségét – a makroszkopikus méretű szennyezések, légzárványok és repedések technológiai eszközökkel és intézkedésekkel történő megszüntetése után – döntőrészt treeingképződési hajlama határozza meg. Ennek megítélésére éppen, a következőkben ismertetendő vizsgálati módszer szolgál.

3. A treeing kialakulásának mechanizmusa és vizsgálati módszere

Az elmondottak értelmében a treeing egy, az elektródok közötti átütést megelőző, azt előkészítő jelenség, tulajdonképpen villamos degradációs folyamat. A treeingnek több válfaja ismert. A víz, ill. vegyi anyagok jelenlétében kialakuló vizes, ill. elektro-kémiai treeinggel (water-treeing, electrochemical treeing) a továbbiakban nem foglalkozunk. Az eddig és a továbbiakban tárgyalt treeing villamos treeing (electrical treeing) néven ismert, és jellegét tekintve lokálizált, nagy villamos térerősségű hely környékén kialakuló töltés-transzportjelenség. Kísérletileg egzakt módon szigetelőanyagba ültetett tüelektróddal állítható elő, ellenelektródként sík- vagy egy lényegesen nagyobb csúcsrádiuszú másik tüelektródot alkalmaznak. A vizsgálatok elnevezése a tű elrendezésének megfelelően egytűs vagy kéttűs vizsgálat (Single Needle Test, Double Needle Test).

A treeing kialakulása a villamos igénybevétel alkalmazásának kezdetétől időben két szakaszra bontható:

- a) *Kezdeti szakasz*, amely alatt a tű környékén mikroszkóppal látható elválkozás nem történik, részleges kisülés a szokásos érzékenységi (1 pC) mellett nem mutatható ki. Szokásos még ezt a szakaszt lappangási vagy inkubációs fázisnak is nevezni. A kezdeti szakasz az első kisülési csatorna megjelenésével (amelyet részleges kisülések megjelenése is követ) ér véget. Adott villamos igénybevétel mellett a csatorna megjelenéséig eltelt időt *treeing-kezdeti* vagy *-lappangási időnek* nevezzük.
- b) *Kifejlődési, terjedési szakasz*, amely alatt az elágazott kisülési csatornák létrejönnek és a szigetelésben szétterjednek. Ez a szakasz az elektródok közötti átütéssel zárul, amikor a kisülési csatornák az elektródokat áthidalják. A kisülési csatornák kifejlődését a csatornákon belül gáz bomlástermékek létrejötte kíséri. Az átütési csatornában részleges kisülések alakulnak ki.

Az a) és b) szakasz idejének összege adja az *átütési időt*.

A fizikai jelenségek szempontjából a treeing kezdeti, lappangási szakaszáról ma még nincs kiforrott, minden oldalról alátámasztott elmélet. Az elméleti megfontolások és a kísérleti eredmények arra utalnak, hogy a lappangási szakaszban villamos töltéstranszport történik [12]...[15]. A nagy villamos térerősség hatására a tű hegyéről töltések (elektronok, esetleg lyukak) lépnek be a szigetelőanyagba. A töltéseket a különböző energiaszinteken elhelyezkedő (sekély, ill. mély) elektron-, ill. lyukcsapdák fogják be. Váltakozófeszültség esetén a nullaátmenet közelében a sekély csapdászintekről a töltések visszatérhetnek az elektródra, a mélyebb energiaszinteken levő csapdákban elhelyezkedő töltések a szigetelőanyagban maradhatnak és az ellenkező előjelű injektált töltéssel rekombinálódva – kísérletileg is kimutatható – elektrolumineszcenciát hoznak létre. A töltés transzport következtében a töltéshordozók elegendő kinetikus energiát nyerhetnek ahhoz, hogy a polimerláncot meg tudják bontani. Ezek a hatások kumulálódnak és kritikus érték elérése után, amelyhez idő kell, a kisülési csatorna észlelhető lesz.

A vázolt mechanizmusmodell a jelenségek egyik oldalát fogja meg, általános alkalmazhatóságát még igazolni kell. Az irodalomban a villamos tér által létrehozott mechanikai feszültség, a töltésáramlás által okozott Joule-veszteség is szerepel a treeing kiváltó okai között. A treeingképződési hajlam megítélésére a már említett tüelektródos elrendezésben két vizsgálat nyújt lehetőséget. Az első, kézenfekvő vizsgálat a feszültség alkalmazásától az átütésig terjedő idő mérése állandó feszültséggel vagy definiált program szerint növekvő feszültséggel. Az erre a célra szolgáló speciális vizsgáloberendezésről már részletesen beszámoltunk [17].

Gyakorlati célokra nagyon jó tájékozódást ad a treeing lappangási idejének vagy az ezzel összefüggő paraméternek a mérése, amelyet már nemzeti, ill. nemzetközi szabványosításra érettnék tartanak [18], [19], [20], bár alkalmazhatóságukkal kapcsolatosan még óvatosságra intenek [16]. A treeing lappangási ideje ellenálló-képességet fejez ki, hiszen a már megindult treeingcsatorna általában átütés kifejlődéséhez vezet, jóllehet a tartós villamos szilárdság megítélése szempontjából nem közömbös a treeing kifejlődésének ideje sem.

A treeingvizsgálatok alapvető mérés technikai problémája az, hogy a lappangási idő alatt makroszkopikus értelemben véve elváltozás nem mutatható ki, az első treeing csatorna hirtelen, statisztikus szórást mutató időtartam alatt jelenik meg. Egzakt detektálására két lehetőség van:

- folyamatos vizuális megfigyelés mikroszkóppal,
- részleges kisülések folyamatos detektálása elektronikus eszközökkel.

Az utóbbihoz hozzá kell fűzni, hogy a csatornaképződés megindulásakor részleges kisülések lépnek fel, amelyek megfelelő érzékenységgű mérőberendezéssel egyértelműen kimutathatók. Vizuálisan roncsolásmentesen csak transzparens anyagok figyelhetők meg, a többi szigetelőanyagból készült szigetelés mintát fel kell szelgetelni ahhoz, hogy a treeing megindulása megíthető legyen. A vizuális megfigyelések – különösen tömeges mérések esetén – rendkívül munkaidő-igényesek. A jelenleg szabványosításra javasolt módszerek nem közvetlenül a lappangási időt mérik, hanem statisztikusan közelítik meg azt a kezdeti (küszöb-) feszültséget, amelynél – lépcsőzetes feszültségnövelés esetében – a treeingcsatorna képződése megindul.

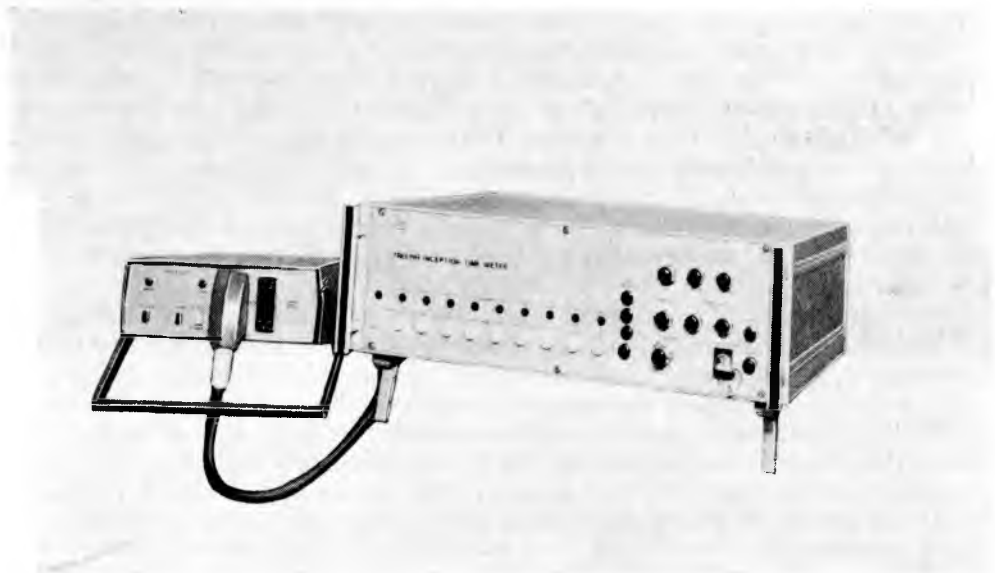
4. Treeing lappangási idejének mérésére a VKI-ban kifejlesztett vizsgálati módszer és berendezés

A treeingképződési hajlam megítélésére – a statisztikus jellemzők miatt – nagy számú próbatest vizsgálatára van szükség, ezért célszerű a vizsgálatok automatizálása. Az utóbbira a treeing csatornaképződés megindulásakor jelentkező rész kisülés villamos jelei nyújtanak lehetőséget. Bár a rész kisülés-vizsgálatok mérés technikája több évtizedes múlttal rendelkezik, a kívánt érzékenység a tömeges, sorozatos, megbízható és főleg felügyelet nélküli alkalmazás a kereskedelemben elérhető készülékekkel nem valósítható meg.

A treeing lappangási idejének mérésére a VKI-ban olyan vizsgáloberendezést fejlesztettünk ki, amely biztosítja egyidejűleg tíz próbatesten

- a részleges kisülés impulzusjeleinek folyamatos érzékelését;
- a zavarjelek logikai szűrését,
- a hasznosnak ítélt jel alapján azon próbatest szelektív lekapcsolását, amelyben a csatornaképződés elindult,
- a feszültség rákapcsolásától a lekapcsolásig eltelt idő regisztrálását minden egyes próbatesten.

A berendezés elvi kapcsolási vázlata a 32-3. és a 32-4. ábrán látható. A próbatestekkel sorba kapcsolt mérőimpedanciába az 50 Hz-es feszültség leválasztására szolgáló szűrő és előerősítő is be van építve. A vizsgálo térben nem alkalmazunk árnyékolást, ezért a zavarjeleket egy logikai szűrőlánc szűri ki. A csatoló kondenzátor és az aktuális próbatest jeleinek összehasonlításából a külső eredetű impulzuszavarok egy része kiszűrhető. Az 50 Hz-es vizsgálófeszültséghez képest állandó fázishelyzetű zavarok állítható helyzetű és szélességgű fáziskapuvál szűrhetők ki. Lehetőség van nagy ismétlési gyakoriságú impulzusok figyelmen kívül hagására is.



32-5. ábra. Treeing lappangási idejének mérésére szolgáló berendezés

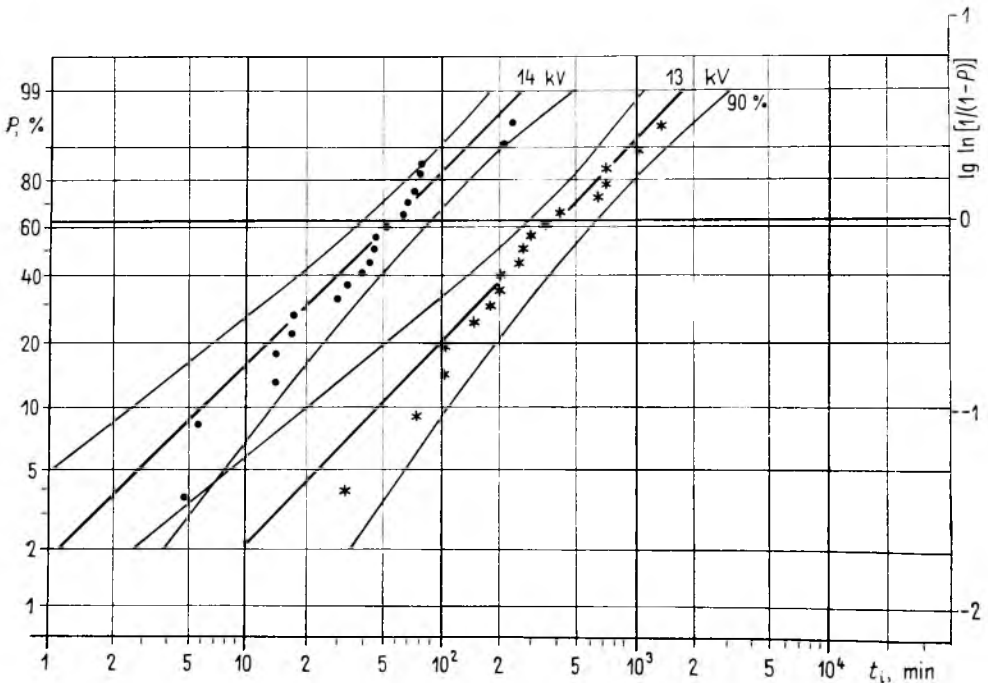


32-6. ábra. A treeing lappangási idejének mérésére szolgáló berendezés nagyfeszültségű része

A vázolt elv alapján működő tízcsatornás berendezés vezérlőegysége a nyomtatóval együtt az 32-5. ábrán látható. A nagyfeszültségű áramkörü részek a 32-6. ábrán láthatók. A középső részen sorakoznak a nagyfeszültségű kapcsolók, ezeket veszik közre két oldalról a próbatestbefogó szerkezetek. Az utóbbiak alatt helyezkednek el a mérőimpedanciák, ill. előerősítők. A háttérben kiemelkedő két oszlop közül a kisebbik a csatolókapacitív, a nagyobbik a feszültségosztó, amely a vizsgálófeszültségből képez leosztott, mérésre alkalmas jelet.

A berendezés zavarzűrése gyakorlatilag teljes, érzékenysége a vizsgálatok igényeit teljesen kielégíti, mivel néhány μm hosszú treeingcsatornák már egyértelműen észlelhetők vele.

A vizsgálati módszer segítségével lehetővé válik egy adott anyag treeingképződési hajlamának vizsgálata különböző vizsgálati paraméterek függvényében vagy különböző anyagváltozatok összehasonlítása, rangsorolása. Szemléltetésképpen a 32-7. ábrán egy kis sűrűségű termoplasztikus polietilén treeing lappangási idejének eloszlásfüggvényeit mutatjuk be Weibull-koordinátás ábrázolásban. A méréssorozatot kéttűs elrendezésben végeztük el, ahol a tűk lekerekítési rádiusza $4 \mu\text{m}$, ill. $30 \mu\text{m}$, az elektródtávolság $3,4 \text{ mm}$ volt. A módszer különösen alkalmas kis mennyiségben adagolt, ún. feszültségstabilizátorok hatékonyságának megítélésére, amelyről később számolunk be.



32-7. ábra. Treeing lappangási ideje eloszlásfüggvényének meghatározása különböző vizsgálati feszültség alkalmazásakor

Irodalom

- [1] *André J. M.—Delhalle J.—Ladik J.*: Quantum theory of polymers. Proceedings of NATO advanced study, Institute on Electronic Structure and Properties of Polymers. (1978.)
- [2] *André J. M.—Bredas J. L.*: Recent advances of quantum theory of polymers. Springer (1980).
- [3] *O'Dwyer J. J.*: The theory of dielectric break-down of solids, Oxford University Press, London (1964.)
- [4] *Phillips, P. J.*: Morphology-electrical property relations in polymers. IEEE Transaction on Electrical Insulation. Vol EI-13 No. 2 p. 69...81. (1978.)
- [5] *Muccigrosso J.—Phillips, P. J.*: The morphology of cross-linked polyethylene insulation. IEEE Transaction on Electrical Insulation Vol. EI-13 No. 3. (1978.)
- [6] *Kageyama, S.—Ono, M.—Chabata, S.*: Microvoids in crosslinked polyethylene insulated cables. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems Vol PAS-94, No. 4. (1975.)
- [7] *Wagner, H.*: Pseudo-spherulite structure in crosslinked low-density polyethylene. IEEE Transaction on Electrical Insulation Vol. EI-13 No. 2 p. 81...86. (1978.)
- [8] *Bamjy, S.—Bulinski, A.—Densley J.—Garton, A.*: Etching and the morphology of cross-linked PE cable insulation. IEEE Transaction on Electrical Insulation Vol EI-18 No. 1 p. 32...41. (1983.)
- [9] *Austen, A. E. W.—Pelzer, H.*: The electric strength of paraffins and some high polymers. J. IEE Vol 93 (I) p. 525...532. (1946.)
- [10] *Oakes, W. G.*: The intrinsic electric strength of polythene and its variation with temperature. J. IEE Vol 95 (I) p. 36...44. (1948.)
- [11] *Ieda, M.*: Dielectric break-down process of polymers. IEEE Transactions on Electrical Insulation Vol. EI-15 No. 3 p. 206...224. (1980.)
- [12] *Eichhorn, R. M.*: Treeing in solid extruded electrical insulation. IEEE Transaction on Electrical Insulation. Vol. EI-12 No. 1 p. 1...18. (1977.)
- [13] *Tanaka, T.—Greenwood, A.*: Effects of charge injection and extraction on tree initiation in polyethylene. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems. Vol. PAS-97 No. 5 p. 1749...1759 (1978.)
- [14] *Shimizu, N.—Katsuwaka, H.—Miyachi, M.—Kosaki, M.—Horii, K.*: The space charge behavior and luminescence phenomena in polymers at 77K. IEEE Transaction on Electrical Insulation. Vol. EI-14 No. 5 p. 256...263. (1979.)
- [15] *Laurent, C.—Mayoux, C.—Noel, S.*: Dielectric break-down of polyethylene in divergent field: Role of dissolved gases and elektroluminescence. Journal of Applied Physics. Vol. 54. No. 3 p. 1532...1539. (1983.)
- [16] *Mason, J. H.*: Assessing the resistance of polymers to electrical treeing. IEE Proceedings, Vol. 128. Pt. A. No. 3 p. 193...201. (1981.)
- [17] *Bognár A.—Csescsödy S.—Csömöre S.—Dávid P.—Zelenyánszki E.*: Automatikus, szelektív és túlfeszültségmentes berendezés szigetelésmodellek villamos tartamzilárdóságának mérésére. VKI Közlemények 8. k. p. 243...253. (1982.)
- [18] Tests for initiation of electrical trees during short-time stressing. IEC 15B (Secretariat) 83, March, 1983.
- [19] Standard test method for evaluation of resistance to electrical break-down by treeing in solid dielectric materials using diverging fields. ANSI/ASTM D, 3756—79.
- [20] Bestimmungen für elektrische Prüfungen von Isolierstoffen. Teil 12: Treeing-Test. DIN 57303 Teil 12/VDE 0303 Teil 12, (Entwurf.)

33.

A savas ólomakkumulátorok pozitív aktív anyagában lévő ólomvegyületek minőségi és mennyiségi elemzése termoanalitikai módszerekkel

KÁNYA ERNŐ – KISDARÓCZI JÁNOS

ÖSSZEFOGLALÁS

A savas ólomakkumulátor pozitív aktív anyaga bonyolult α -PbO₂— β -PbO₂—PbSO₄ rendszer. Az α -PbO₂ : β -PbO₂ arány, amely döntően befolyásolja az akkumulátor kapacitását és élettartamát, a tapasztalat szerint a ciklusszám függvényében változik. A mindenkori α -PbO₂ : β -PbO₂ arány meghatározására igen jól alkalmazhatók a termoanalitikai módszerek.

A pozitív aktív anyag termikus viselkedésének mennyiségi értékelése nehézségekbe ütközik, amíg analitikailag tiszta ólomvegyületekkel, ill. ezek keverékeivel nem modellezük azt. A cikk részletesen beszámol a modellkísérletekhez használt fémólom, továbbá PbO, PbO₂, Pb₃O₄, PbSO₄ vegyületek, ill. a PbO—Pb, PbSO₄—PbO₂, Pb₃O₄—PbO—Pb keverékek termikus viselkedéséről.

A mennyiségi és a minőségi értékelésekhez, ahol az szükséges, klasszikus analitikai és röntgenspektrográfiai elemzéseket is végzünk.

КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СВИНЦОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОЙ МАССЫ КИСЛО-СВИНЦОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕРМОАНАЛИТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Э. Каня—Я. Кисдароци

Резюме

Положительная активная масса кислотно-свинцовых аккумуляторов является сложной системой, состоящей из α -PbO₂ — β -PbO₂ — PbSO₄. Соотношение α -PbO/ β -PbO₂ решительно влияющее на емкость и ресурс аккумулятора, по опыту меняется в зависимости от количества циклов. Для определения мгновенного соотношения α -PbO₂/ β -PbO₂ хорошо применимы термоаналитические методы. Количественная оценка термического поведения положительной активной массы затрудняется, пока не построим их модели из чистых свинцовых соединений и их смесей. В статье детально излагаются термические поведения металлического свинца, PbO, PbO₂, Pb₃O₄, PbSO₄ соединений и PbO—Pb, PbSO₄—PbO₂, Pb₃O₄—PbO—Pb смесей, примененных для модельных опытов.

Для качественной и количественной оценки, где потребуются, применяются и классические аналитические и рентгено-спектрографические методы.

DIE QUALITATIVE UND QUANTITATIVE ANALYSE DER IN DER POSITIVEN AKTIVEN MASSE VON BLEIAKKUMULATOREN BEFINDLICHEN BLEIVERBINDUNGEN DURCH THERMOANALYTISCHE METHODEN

E. KÁNYA – J. KISDARÓCZI

Zusammenfassung

Die positive aktive Masse von Bleiakkulatoren ist ein kompliziertes α -PbO₂– β -PbO₂–PbSO₄-System. Das α -PbO₂ : β -PbO₂ Verhältnis, das die Kapazität und die Lebensdauer des Akkulators entscheidend beeinflusst, ändert sich erfahrungsgemäss in Abhängigkeit von der Zyklenzahl. Die thermoanalytischen Methoden können sehr gut zur Ermittlung der jeweiligen α -PbO₂ : β -PbO₂ Verhältnisse angewandt werden.

Die quantitative Auswertung des thermischen Verhaltens der aktiven positiven Masse stösst auf Schwierigkeiten, wenn es mit Hilfe von analytisch reinen Bleiverbindungen bzw. deren Mischungen nicht modelliert wird. In dem Artikel wird das thermische Verhalten der zu den Modellversuchen verwendeten Metall-Blei, sowie PbO, PbO₂, Pb₃O₄, PbSO₄ Verbindungen bzw. PbO–Pb, PbSO₄–PbO₂, Pb₃O₄–PbO–Pb Mischungen beschrieben.

Zu den quantitativen und qualitativen Auswertungen wurden – wenn es notwendig war – auch klassische analytische und röntgenspektrographische Untersuchungen durchgeführt.

THERMO-ANALYTICAL METHODS APPLIED IN THE QUALITATIVE AND QUANTITATIVE ANALYSES OF LEAD COMPOUNDS CONTAINED IN THE POSITIVE ACTIVE MATERIALS OF LEAD-ACID STORAGE BATTERIES

BY E. KÁNYA – J. KISDARÓCZY

Summary

The positive active material of a lead-acid battery is a complex α -PbO₂– β -PbO₂–PbSO₄ system. Experience has shown the ratio of α -PbO₂ to β -PbO₂-which has a decisive influence on the capacitance and lifetime of the battery – to be varying with the number of cycles. Thermo-analytical methods are readily applicable to the determination of the particular α -PbO₂ to β -PbO₂ ratio.

Unless modelled with analytically pure lead compounds (or blends thereof), it is difficult to make a quantitative assessment of the thermal behaviour of the positive active material. The paper gives a detailed description of the thermal behaviours of lead metal, of PbO, PbO₂, Pb₃O₄, PbSO₄ compounds and of the blends of PbO–Pb, PbSO₄–PbO₂, Pb₃O₄–PbO–Pb.

Wherever possible, the quantitative and qualitative assessments were backed by traditional analytical and X-ray spectrographic analyses.

1. Bevezetés

A savas ólomakkumulátorok elektródjain a ciklizálások során reverzibilis anyagátalakulási folyamatok játszódnak le. A lejátszódó elektrokémiai reakciókat erősen leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy töltéskor a pozitív elektródon ólomdioxid, a negatív elektródon fémólom képződik, míg kisütéskor mindkét elektród aktív anyagának jelentős része ólom-szulfáttá alakul.

A pozitív elektródon a kapacitást hordozó PbO₂-nak két polimorf módosulata ismeretes, amelyeket kristályszerkezeti tulajdonságaik alapján különböztetünk meg, ezek az α - és β -PbO₂. A két módosulat mechanikai szilárdsága, tapadóképesége, ill.

elektrokémiai aktivitása között lényeges eltérések vannak, következésképp egy adott konstrukción belül a mindenkori α - PbO_2 arány döntő hatással van az akkumulátor fajlagos értékeire, ill. élettartamára. Ennek az aránynak a felhasználói igénybevételtől és élettartambeli elvárásoktól függően van az optimuma, amelyet célszerűen a gyártás, ill. az üzembehelyezés folyamataival kell megközelíteni.

A kutatás számára tehát rendkívül fontos a pozitív aktív anyag összetételének ismerete, különös tekintettel az α - PbO_2 : β - PbO_2 arányra.

Munkánk során – a már mások által erre a célra alkalmazott – termoanalitikai méréseket végeztünk; és ahol szükséges volt, ezeket röntgenográfiai, ill. klasszikus analitikai vizsgálatokkal egészítettük ki.

2. Irodalmi áttekintés

Az ólomdioxid β -módosulata, amely tetragonális térszerkezetű kristályrácsot képez, már régóta ismeretes. Az α - PbO_2 -ot japán kutatók mutatták ki először [1] az ólomakkumulátor pozitív anyagában. Zaslavszky és munkatársai megállapították, hogy ez a módosulat ortorombos szerkezetű [2]. A két módosulat elektrokémiai jellemzőit részletesen tanulmányozták [3...7]. Kimutatták, hogy a β - PbO_2 elektrokémiai határfoka jóval nagyobb, mint az α -módosulaté. Wiesener és munkatársai ezt a tényt a fajlagos felületbeni eltéréssel magyarázzák [8]. Raszter- és scanning elektronmikroszkópos vizsgálatokkal a módosulatok makrostruktúráját illetően úgy találták, hogy az α - PbO_2 rétegek szemcsézettsége durvább, ennek folytán mechanikailag szilárdabb struktúrát épít föl, mint a β - PbO_2 [9]. Alapjában véve tehát a makroszerkezeti eltérésekre vezetik vissza az α -, ill. β - PbO_2 hatását az elektrokémiai viselkedésre és az akkumulátorok élettartamára vonatkozólag.

Bagshaw és munkatársai több különböző eljárást dolgoztak ki a két módosulat preparatív előállítására [10]. A teljesség kedvéért meg kell említenünk, hogy az ólomdioxidnak a számunkra fontos két módosulatán kívül ismeretes még egy ún. fluorit típusú PbO_2 is. Ez extrém nagy nyomáson keletkezik, és csak 50 K hőmérséklet alatt stabilis módosulat [11]. Ezen kívül néhány szerző amorf ólomdioxid létezését is feltételezi [12].

Az ólomdioxid termikus viselkedésére vonatkozólag R. T. Angstadt és munkatársai végeztek méréseket [6]. A savas ólomakkumulátorban előforduló ólomvegyületek termoanalitikai vizsgálataiban jelentős munkát végeztek magyar kutatók (Sors L., Liptay Gy., Porubszky I.) [13...15]. Többek között kimutatták, hogy az ólomdioxid két módosulatának minőségi és mennyiségi meghatározására jól alkalmazható a termoanalitikai (derivatográfias) mérési módszer.

Az intézetben folyó kutatási feladatok szükségessé, a rendelkezésünkre álló mérőeszközök pedig lehetővé tették a hasonló jellegű kísérletek folytatását. A kapott eredmények alapján véve megegyeznek az irodalomban említettekkel.

A savas ólomakkumulátorok pozitív aktív anyagának vizsgálata, az anyag több komponense folytán számos, a későbbiekben részletezett problémát vet fel.

3. A mérési módszer

A PbO_2 két módosulata hevítés hatására különböző hőmérsékleten bomlik, amely célszerűvé teszi a derivatográfias vizsgálat alkalmazását. Méréseinket a MOM által gyártott, Q-1500 D típusú derivatográfival végeztük, amely berendezés egyetlen méréssel átfogó képet ad a vizsgálandó anyag termikus tulajdonságairól. A mérendő

anyagot állandó fűtési sebességgel hevítjük, s közben folyamatosan regisztráljuk a minta súlyváltozását (*TermoGravimetria*), a súlyváltozás sebességét (*Derivatív TermoGravimetria*), a minta és egy ún. inert anyag – amely a hevítés hőmérséklet-tartományában sem súly-, sem pedig módosulatváltozáson nem megy át – mindenkori hőmérséklet-különbségét (*Derivatív TermoAnalízis*), valamint a hőmérsékletet. A derivatográfias mérés szolgáltatja a derivatogramot, amelyen a hőmérséklet függvényében ábrázoljuk a TG, a DTG és a DTA görbét.

A pozitív aktív anyagokat – az elektrokémiai vizsgálatok után – desztillált vízben semleges kémhatásúra áztattuk, 40 °C-os légáramban 20 h-át szárítottuk és porítottuk. A derivatográfias vizsgálatokhoz mérésenként 1000...1500 mg anyagot használtunk föl.

A pozitív aktív anyag derivatográfias szempontból meglehetősen bonyolult PbO_2 – PbO_4 rendszer, ezért ennek vizsgálatát egyszerű, analitikailag tiszta ólomvegyületek, majd ezek keverékeinek elemzése előzte meg. Ily módon néhány, önmagában is érdekes jelenséget figyeltünk meg a különféle ólomvegyületek termikus viselkedésével kapcsolatban.

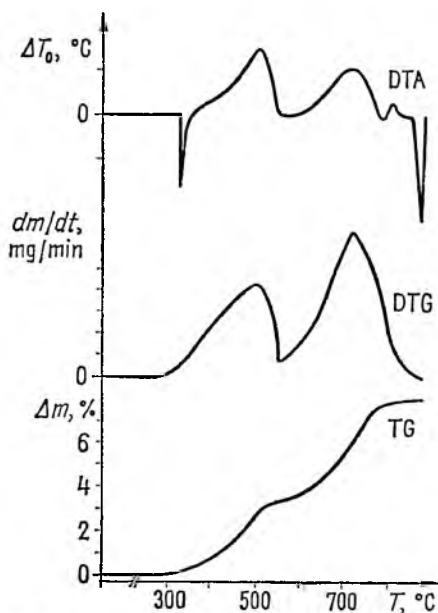
4. Eredmények

4.1. Analitikailag tiszta anyagok vizsgálata

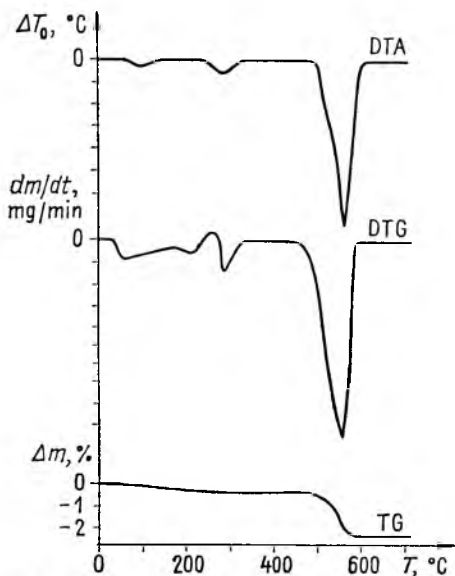
A fémólom levegőn való hevítésekor PbO -vá alakul a



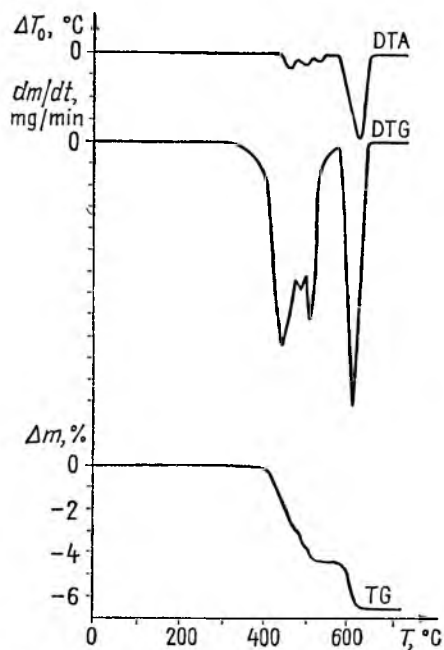
reakcióegyenlet szerint. A 33-1. ábrán látható egy nagy tisztaságú fémólommintának a derivatogramja, amely szerint az (1) reakcióegyenlet csak a kezdeti és a végállapot



33-1. ábra



33-2. ábra



33-3. ábra

különbségét írja le helyesen. A valóságban két lépésben történik az oxidáció: előbb egy $Pb_{12}O_5$ összetételű intermedier termék keletkezik, amely csak 700 °C-on alakul át teljesen ólom(II)-oxiddá.

A DTA görbén öt csúcs található. Az első, negatív csúcs (330 °C-nál) az ólom megolvadását, a második (520 °C) és a harmadik (700 °C) exoterm folyamatot jelző csúcs a két oxidációs lépcsőt, a negyedik (810 °C), szintén pozitív csúcs egy tömegváltozással nem járó módosulatváltozást, míg az utolsó (870 °C) a PbO megolvadását jelzi.

Az akkumulátorok aktív anyagában mindig jelenlevő $PbSO_4$ termikus inert anyagként viselkedik: a tiszta $PbSO_4$ sem súlyváltozáson, sem módosulatváltozáson nem megy át.

Az ólom termikusan legstabilabb oxidjának, a PbO -nak két módosulata ismert: a kis hőmérsékletű, [ún. vörös, és a nagy hőmérsékletű, ún. sárga módosulat. A vörös PbO kb. 489 °C-on alakul át sárga ólomoxiddá [16]. A sárga PbO azonban csak igen lassú hűtés esetén alakul vissza, egyébként szobahőmérsékleten is stabil módosulat, ezért az analitikai PbO (sárga) a $PbSO_4$ -hez hasonlóan termikusan inert anyagként viselkedik.

A mínium (Pb_3O_4) közismert, többek között az akkumulátoriparban is használt, összetett ólomoxid. A 33-2. ábrán az akkumulátorgyártáshoz használt mínium termikus vizsgálatának eredménye látható. A mintából hevítés hatására 300 °C-ig több lépésben víz távozik el, majd 550 °C-on lejártsódik a



reakcióegyenlet szerinti bomlás. A súlycsökkenésből számolt tiszta míniumtartalom 87 súly%, amelynek helyességét klasszikus analitikai módszerrel (jodometria) is ellenőriztünk.

A 33-3. ábrán egy 97% névleges β -PbO₂ tartalmú, alt. ólomdioxid derivatogramja található. A bomlás négy lépésben játszódik le, miközben különböző, tört oxigén-indexű ólomoxidok keletkeznek és megfelelő mennyiségű oxigén szabadul föl. A TG görbe alapján a következő bomlási sémát írhatjuk föl:



Számításaink igazolásaképpen az egyes bomlási reakciók utáni gyors lehűtéssel (ún. befagyasztásos módszer) a bomlási reakciótermékeket külön-külön előállítottuk, s röntgendiffrakciós vizsgálattal kvalitatív elemzést végeztünk. Ennek eredményei teljes mértékben alátámasztották számításainkat.

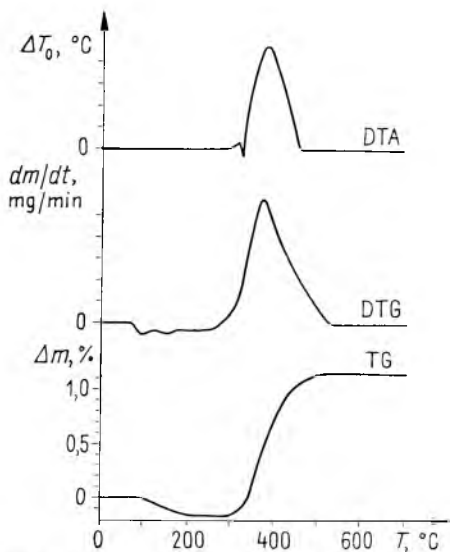
4.2. Keverékanyagok vizsgálata

Az akkumulátorgyártásban az aktív masszák készítéséhez ólomport használunk, amely, nevével ellentétben, nagyrészt nem fémóloból, hanem PbO-ból áll (60...85%), és csak a kisebb rész (15...40%) ólom. A 33-4. ábrán az ún. Hardinge-por derivatogramja látható. A Hardinge-por derivatográfias szempontból olyan Pb–PbO rendszer, amelynek jelen esetben 15% Pb- és 85% PbO-tartalma van. Az ólom(II)-oxid mennyiségét komplexometriás méréssel határoztuk meg.

A TG és DTG görbén jól látható, hogy a 200 °C-ig tartó csekély mennyiségű vízvesztés után a mintában levő fémólom sztöchiometrikus mennyiségű oxigént felvéve PbO-dá alakul. Ezt a folyamatot a tiszta ólom oxidációjával összevetve (l. a 33-1. ábrát) két fontos eltérés van: jelen esetben az oxidáció egy lépésben és viszonylag szűk hőmérséklet-tartományban játszódik le.

4.2.1. Hardinge-por és minium keverékének vizsgálata

Ez esetben a várhatónál még összetettebb a folyamat, ha Hardigne-por és minium keverékét vizsgáljuk. Ez már hármas, Pb–PbO–Pb₃O₄ rendszer, amelyben oxigénfogyasztó (Pb) és oxigénleadó (Pb₃O₄) vegyület is van egymás mellett. A vizsgálataink során ehhez a keverékhez igen tiszta, 98,5% Pb₃O₄-tartalmú miniumot használtunk.

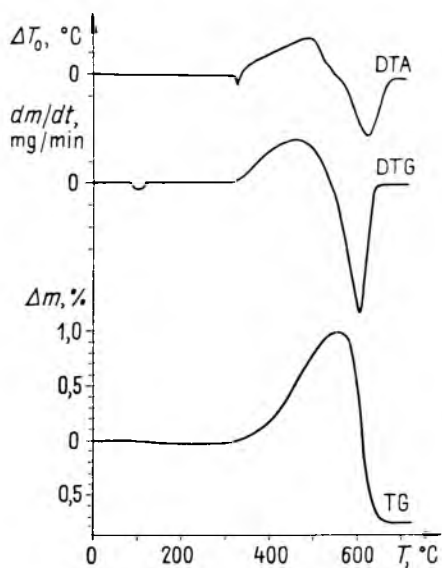


33-4. ábra

Mivel a Hardinge-porban levő ólom oxidációja és a minium bomlása között mintegy 160 °C hőmérséklet-különbség van, ezért a Hardinge-por – minium keverékének derivatogramjában azt várnánk, hogy 400 °C körül súlynövekedés (az ólom oxigént vesz föl), 560 °C körül pedig súlycsökkenés (a minium elbomlik) játszódik le.

A 33-5. ábrán egy Hardigne-por: minium = 4 : 6 arányú keverék derivatogramja látható. A TG görbe lefutásának jellege megfelel várakozásainknak. Számításokkal azonban igazolható, hogy a 600 °C-on elbomló minium mennyisége mintegy másfélszerese az eredetileg bemértnek, amely azt jelenti, hogy az ólom oxidációja nem áll meg PbO képződésénél, hanem részben „új” miniummá alakul, amelyhez a levegő oxigénjét használja föl. Több, más arányú Hardinge-por – minium keverékeket is megvizsgáltunk és azt tapasztaltuk, hogy az elbomló és az eredetileg a keverékben levő minium aránya annál nagyobb, minél kevesebb a minium mennyisége a kiindulási keverékben (33-1. táblázat, 33-6. ábra).

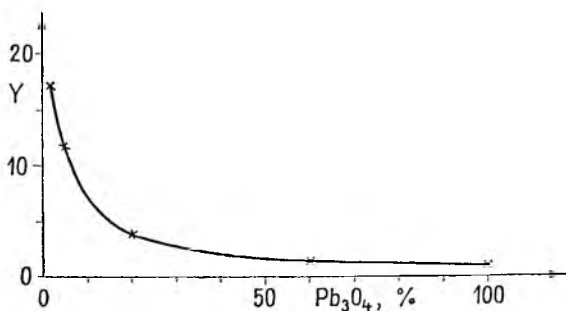
Az adatok arra utalnak, hogy a minium a katalizátorokhoz hasonlóan elősegíti az ólom(II)-oxid további oxidálódását, a Hardinge-por önmagában csak PbO-dá



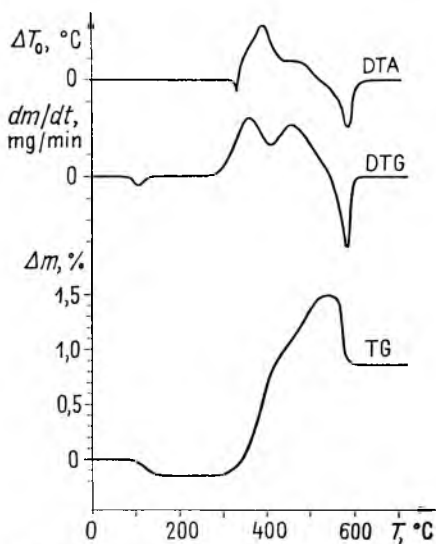
33-5. ábra

33-1. táblázat

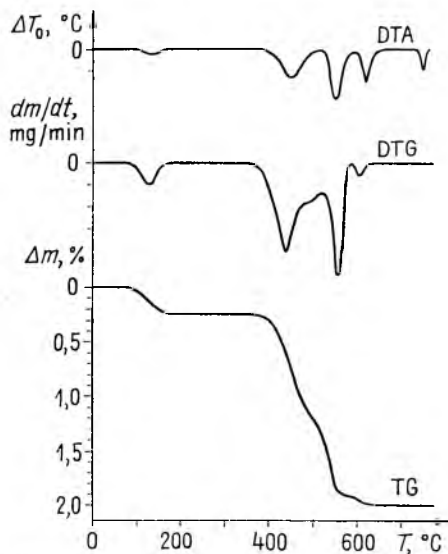
A keverék eredeti miniumtartalma, %	$Y = \frac{\text{elbomló Pb}_3\text{O}_4}{\text{eredeti Pb}_3\text{O}_4}$
60	1,5
20	3,8
5	11,7
2	17,1



33-6. ábra



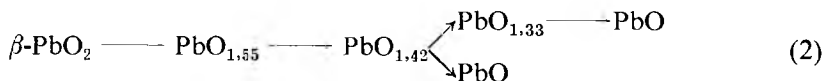
33-7. ábra



33-8. ábra

alakulna. De maga az oxidáció is másképp játszódik le eltérő miniumtartalom mellett. Míg 60% miniumaránynál a Hardinge-porban levő ólom egyetlen lépcsőben alakul ólomoxiddá, ill. miniummá, addig 2% miniumtartalomnál ez a folyamat már egyértelműen két részfolyamatból áll (33-5., ill. 33-7. ábra).

Az ólomakkumulátor pozitív aktív anyaga kisütött állapotban olyan PbO_2 – PbSO_4 rendszernek tekinthető, amelyben a PbSO_4 mennyisége – a kisütés mértékétől függően – 50...80%. Az ilyen rendszerek tiszta vegyületek keverésével történő előállítás utáni derivatográfias vizsgálatok azt mutatják, hogy az ólomdioxid hőbomlását jelentősen befolyásolja a PbSO_4 jelenléte. A 33-8. ábrán egy 75–25 arányú PbSO_4 /β- PbO_2 keverék derivatogramja található. A már említett befagyasz-tásos módszert alkalmazva és a kapott bomlási termékeket röntgendiffrakciós módszerrel azonosítva megállapítottuk, hogy jelen esetben a β- PbO_2 a következőképpen bomlik:



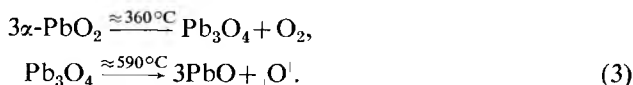
tehát $\text{PbO}_{1,42}$ kialakulásáig ($\approx 550^\circ\text{C}$) a tiszta $\beta\text{-PbO}_2$ -dal megegyező a bomlás. Ezután két párhuzamos, még a *DTG* görbén is egynek látszó reakció következik, amelyek közül az egyik közvetlenül PbO -t eredményez, a másik pedig miniumot, amely a maga bomlási hőmérsékletén szintén ólom(II)-oxiddá alakul.

Különböző százalékos összetételű $\beta\text{-PbO}_2\text{-PbSO}_4$ keverékek vizsgálatával megállapítottuk, hogy a PbSO_4 mennyiségének csökkenésével a $\text{PbO}_{1,42} \rightarrow \text{PbO}$ reakció mindinkább visszaszorul; 30% PbSO_4 tartalomnál pedig a $\beta\text{-PbO}_2$ bomlása már ugyanúgy játszódik le, mint a tiszta anyag esetében.

Ólomoxid–ólomszulfát rendszereknél hevítés hatására változó összetételű ólom-oxiszulfátok (bázikus ólomszulfátok) alakulnak ki. Ezt mutatja a 33-8. ábrán a 740°C -nál jelentkező negatív *DTA* csúcs, amely az oxiszulfát kialakulásának endo-term folyamatát jelzi.

4.2.2. $\alpha\text{-}\beta\text{-PbO}_2$ keverék vizsgálata

Sors L. és Liptay Gy. derivatográfias mérései szerint [15] az $\alpha\text{-PbO}_2$ két lépésben bomlik hevítés hatására:

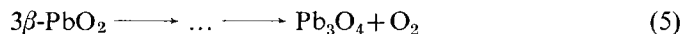


A 33-9. ábrán egy $\alpha\text{-}\beta\text{-PbO}_2$ keverék elméleti derivatogramja látható. Az ábrán *A*-val jelölt *TG* lépcső a (3) egyenletnek megfelelő $\alpha\text{-PbO}_2$ miniummá (Pb_3O_4) történő elbomlását mutatja; a *C* lépcső pedig a minium ólom(II)-oxiddá való bomlását jelzi. A két ólomdioxid módosulat bomlási reakciói alapján megállapíthatjuk, hogy ha a *TG* görbén az

$$A + B = 2C \quad (4)$$

feltétel teljesül, akkor:

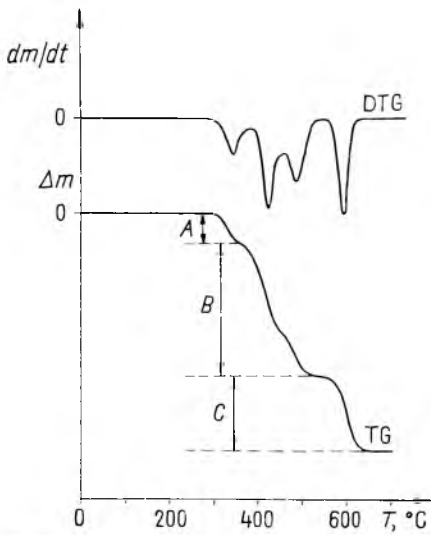
1. a módosulatok bomlása megfelel az előzőkben leírtaknak (ezt azért fontos hangsúlyozni, mert a továbbiakban lesz szó olyan $\alpha\text{-}\beta\text{-PbO}_2$ keverékről, amelynél a (4) feltétel nem teljesül, így a bomlási mechanizmust sem tudjuk értelmezni);
2. az *A* lépcsőből számolható az $\alpha\text{-PbO}_2$ mennyisége a (3) egyenletnek megfelelően;
3. a *B* lépcsőből számolható a $\beta\text{-PbO}_2$ mennyisége a



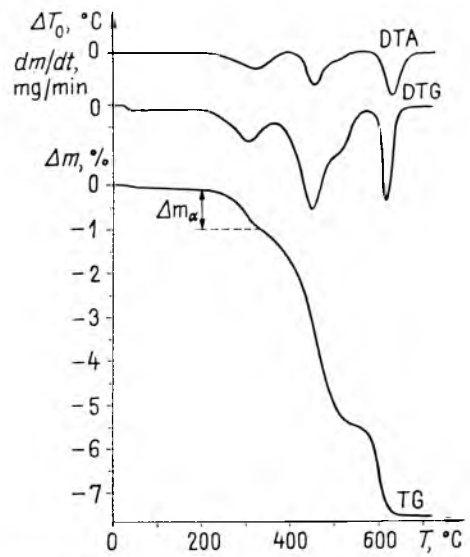
reakcióegyenletnek megfelelően.

Bagshaw említett cikke [10] alapján, sárga ólom(II)-oxidból, $\text{NaNO}_3\text{-NaClO}_3$ keverékével történő megömlésztéssel $\alpha\text{-PbO}_2$ -t állítottunk elő. Ennek derivatográfias felvétele (33-10. ábra) azt mutatja, hogy egyrészt nemcsak $\alpha\text{-PbO}_2$ keletkezett, hanem β -módosulat is, másrészt a (4) egyenlet szerinti feltétel nem teljesül, tehát ebben a keverékben az egyes komponensek nem a fentebb leírtak szerint bomlanak. Ezért a két módosulat mennyiségi viszonyait nem tudjuk közvetlenül számítani. Ezt az anyagot, amelyet az egyszerűség kedvéért nevezzük $\alpha\text{-PbO}_2^*$ -nak, különböző arányban tiszta $\beta\text{-PbO}_2$ -dal kevertünk, s ezen keverékeket is termikus analízisnek vetettük alá. A tiszta $\beta\text{-PbO}_2$ aránya 20; 33,3; 50; 70 és 90% volt.

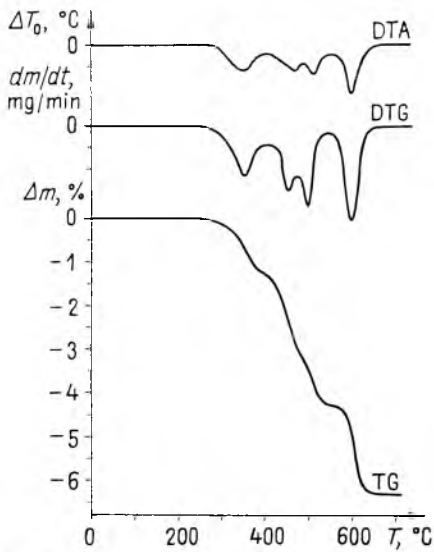
Azt tapasztaltuk, hogy e keverékek derivatogramja mennyiségi viszonyait tekintve is igen jól egyezett a 33-9. ábrán közölt elméleti jellegű derivatogrammal. Példaként a 33-11. ábrán az 50% tiszta $\beta\text{-PbO}_2$ tartalmú keverék derivatogramja látható. A számítások szerint a (4) egyenlet szerinti feltétel teljesül, tehát ezt a derivatogramot mennyiségi értékelésre is fel lehet használni. Megállapítható tehát a keverék $\alpha\text{-PbO}_2$ tartalma, amiből viszont az $\alpha\text{-PbO}_2^*$ tényleges $\alpha\text{-PbO}_2$ tartalma határozható



33-9. ábra



33-10. ábra



33-11. ábra

meg. Ezt a közvetett számítást mindegyik keverékre elvégeztük; az eredményeket a 33-2. táblázat tartalmazza. A táblázatban

$$X = \frac{A+B}{C},$$

ahol A , B , ill. C a 33-9. ábrának megfelelő TG -lépcsők nagysága. A táblázat adataiból kitéjük, hogy:

β -PbO ₂ a keverékben, %	X	α -PbO ₂ az α -PbO ₂ *-ban, %
20,0	2,37	58,8
33,3	2,27	56,7
50,0	2,09	56,4
70,0	2,07	60,4
90,0	1,98	60,7

- 50% β -PbO₂ tartalom fölött a keverék bomlását gyakorlatilag helyesen írták le a (3), (5) egyenletek ($X \approx 2$);
- 50%-nál kisebb β -PbO₂ tartalomnál a keverék bomlása biztosan nem egészen felel meg a (3), (5) egyenleteknek ($X > 2$), mégis, a számítások a leolvasási hibán belül azonos eredményeket adtak mindegyik keverék esetén. Ez azt jelenti tehát, hogy a keverékek bomlásának első reakciója (ami a 33-9. ábrán az A lépcsőnek felel meg) mindenképpen a (3) egyenlettel írható le, függetlenül attól, hogy a hőmérséklet emelésével az ezt követő reakciók már esetenként nem azonosíthatók.

Ezen megállapítás ellenőrzéseként térjünk vissza az α -PbO₂* anyag derivatogramjához (33-10. ábra). A tiszta α -PbO₂-tartalom számítását ugyanúgy végezve, mint a keverékek esetén tettük, 57,0% α -PbO₂ tartalmat kapunk, ami jól egyezik a 33-2. táblázat adataival. Az α - β -PbO₂ keverékek vizsgálatára vonatkozó méréseink alapján összegezve azt mondhatjuk, hogy az α -ólomdioxid 360 °C-on miníummá bomlik a (3) reakcióegyenletnek megfelelően, függetlenül az aránytól. Ezen miníumnak, ill. a β -PbO₂-nak a bomlása már nem egyértelmű.

Az α -PbO₂ mennyisége közvetlenül számolható, míg a β -PbO₂ az $(\alpha + \beta)$ -PbO₂ ismeretében egyszerű kivonással adódik.

4.3. Az akkumulátor pozitív aktív anyagának vizsgálata

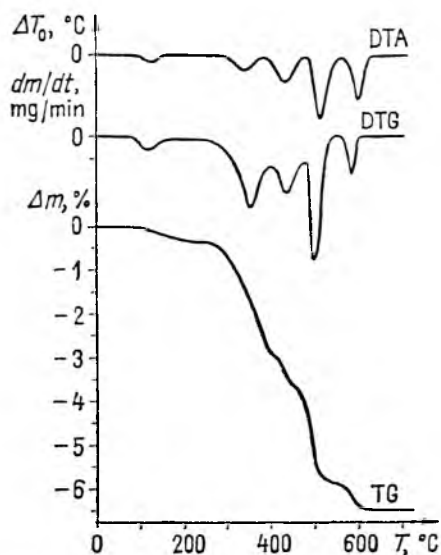
A pozitív aktív anyag kémiai összetételére nézve változó mennyiségű PbO₂, PbSO₄ (esetleg különböző, ún. bázikus ólomszulfátok – PbO·PbSO₄) keverékei. A töltött elektród aktív anyaga 60...62% porozitású, és igen nagy, 2...4 m²/g fajlagos felületű. Ez azt okozza, hogy a derivatográfiai vizsgálatra szánt mintáknak, bármilyen intenzív szárítás után is, 0,8...1,5% nedvességtartalma van. Ez abszolút értékben nem sok, azonban a tiszta PbO₂ teljes elbomlásakor az összes súlyvesztés mintegy 6,7%. Ha ebbe a súlyvesztésbe beleszámítjuk az eltávozó vizet is, ez 20% hibát is okozhat.

A derivatogramokat tanulmányozva megállapítottuk, hogy a megkötött víznek csak kis hányada távozik el 200 °C-ig. Az eltávozás sebességének közel állandónak kell lennie, mert ellenkező esetben a DTG görbén jellegzetes csúcs mutatná a vízvesztést, hasonlóan a PbO₂ különböző bomlási lépcsőéhez.

Mivel az eltávozó víznek, ill. oxigénnek csak az additív mennyiségét tudjuk mérni, ezért – számításaink pontosítása végett – a következő módszert alkalmaztuk:

Jodometriás titrálással megállapítjuk a vizsgálandó anyag összes ólomdioxid-tartalmát (Σ PbO₂).

Erre igaz, hogy Σ PbO₂ = α -PbO₂ + β -PbO₂.



33-12. ábra

A 33-12. ábrán egy valóságos töltött pozitív aktív anyag derivatogramja látható.

Az összes súlyvesztés ($\Sigma \Delta m$) a víz ($\Delta m_{\text{H}_2\text{O}}$) és az ólomdioxid bomlásából származó oxigén (Δm_{O_2}) összege:

$$\Sigma \Delta m = \Delta m_{\text{H}_2\text{O}} + \Delta m_{\text{O}_2}$$

A ΣPbO_2 értékből számítható a Δm_{O_2} érték, így a víztartalom:

$$\Delta m_{\text{H}_2\text{O}} = \Sigma \Delta m - \Delta m_{\text{O}_2}$$

Mivel feltételeztük, hogy a víz eltávozása közel állandó sebességű, számítottunk egy q tényezőt, amely az egységnyi hőmérséklet-változásra jutó eltávozó víz mennyiségét adja: $q = \frac{\Delta m_{\text{H}_2\text{O}}}{\Delta T}$, ahol ΔT a mérés hőmérséklet-tartománya.

Az m_x -val jelölt TG lépcső nagyságát a q tényező segítségével csökkentettük, majd a (3) reakcióegyenletnek megfelelően számítottuk az $\alpha\text{-PbO}_2$ mennyiségét.

5. Összefoglalás

Kísérleteink meggyőzően bizonyítják, hogy a különböző tiszta ólomvegyületek termikus viselkedése jól követhető, ugyanakkor ezek keverékei szinte kivétel nélkül valamilyen anomális viselkedést mutatnak, ám ezek egyenkénti, részletes vizsgálatával értelmezni tudjuk a lejátszódó folyamatokat.

Az aktív anyagok finom, mikropórusos szerkezetében megkötött mégoly kis mennyiségű víz is a derivatogramoknak csak közvetett módszerrel való értékelését teszi lehetővé. Ha ehhez még hozzávesszük, hogy az oxigén ólomatomsúlyviszony derivatográfias szempontból igen kedvezőtlen, azt kell megállapítanunk, hogy – fenntartva az előzőket, amely szerint az ólomdioxid két módosulatának kvantitatív meghatározására a termoanalitikai vizsgálat használható és reálisan szóba jö-

hető módszer – számítási eredményeink a szigorúan vett analitikai mérési pontosságot még nem érték el, de az akkumulátorok pozitív aktív anyagának technológiai célokra történő minősítésére megfelelők.

A közleményben bemutatott munkák az OMFB támogatásával folynak.

Irodalom

- [1] *Kameyama, N. – Fukumoto, T.*: J. Soc. Chem. Ind. Japan, 1946, **49**
- [2] *Zaslavsky, A. I. – Kondrasev, Y. D. – Tolkasev, S. S.*: Dokl. Akad. Nauk SSSR, 1950. **75**, 559.
- [3] *Mark, H. B. – Vosburgh, W. C.*: J. Electrochem. Soc., 1961, **108**, 615
- [4] *Mark, H. B.*: J. Electrochem. Soc., 1962. **109**, 634.
- [5] *Kiseleva, I. G. – Kabanov, B. N.*: Dokl. Akad. Nauk SSR 1958., **122**, 1042.
- [6] *Angstadt, R. T. – Venuto, J. – Ruetschi, P.*: Electrochem. Soc. 1962, **109**, 177.
- [7] *Dodson, V.*: J. Electrochem. Soc. 1961, **108**, 406.
- [8] *Wiesener, K. – Reinhardt, P. – Vogt, M.*: J. Power Sources, 1976. **2**, 127.
- [9] *Asztakov, I. K. – Kiseleva, I. G. – Kabanov, B. N.*: Dokl. Akad. Nauk SSSR, 1959, **126**, 1041.
- [10] *Bagshaw, N. E. – Clarke, R. L. – Halliwell, B.*: J. Appl. Chem., 1966. **16**, 180.
- [11] *Syoko, Akimoto*: Mat. Res. Bull., 1968, **3**, 153.
- [12] *Caneder, S. M. – Simon, A. C.*: J. Electrochem. Soc., 1974. **121**, 1546.
- [13] *Liptay, Gy. – Sors, L.*: Thermochemica Acta, 1976. **14**, 279.
- [14] *Sors, L. – Liptay, Gy.*: Thermal Analysis, 1974, **3**, 657.
- [15] *Sors, L. – Liptay, Gy. – Porubszky, I.*: Hung. Scient. Instr., 1973, **28**, 31.
- [16] *Bode, H.*: Lead-Acid Batteries, Wiley and Sons., 1977., New York.

34.

Automatikus és kézi üzemű Epstein-mérőkészülék

TAR FERENC

ÖSSZEFOGLALÁS

Az Epstein-mérőkészülék transzformátor és dinamólemezek teljes átmágnesezési veszteségének és az indukció-térerősség összefüggésnek egy szabványos mérőeszköze. A cikk ismerteti a VKI-ban kifejlesztett automatikus és kézi üzemű Epstein-készülék felépítését és működését, valamint a készülék tervezése, építése és felhasználása során nyert tapasztalatokat. A tapasztalatok alapján a készülék továbbfejlesztését.

ЭПШТЕЙН-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР АВТОМАТИЧЕСКОГО И РУЧНОГО ДЕЙСТВИЯ

Ф. Тар

Резюме

Эпштейн-измерительный прибор является стандартному измерительному средству потери полного перематничивания и взаимосвязи между индукцией и напряженности трансформаторных и генераторных сталеи. В статье излагаются построение и работа разработанного в VKI Эпштейн-прибора автоматического и ручного действия, а также опыты при проектировании, построении и эксплуатации прибора. На основе опытов излагается усовершенствование прибора.

EPSTEIN-APPARAT MIT AUTOMATISCHEM UND MANUELLEM BETRIEB

F. TAR

Zusammenfassung

Der Epstein-Apparat ist ein Standardmittel zum Messen des Gesamtverlustes und des Zusammenhanges zwischen Feldstärke und Induktion von Transformator und Dynamoblechen. In dem Artikel wird der Aufbau und die Funktionsweise des im VKI entwickelten automatisch und manuell betriebenen Epsteinscher Apparates erörtert. Es wird auf die Erfahrungen, die im Laufe der Planung, des Baus und der Anwendung des Gerätes gewonnen wurden, eingegangen. Auf Grund der Erfahrungen wird die Weiterentwicklung des Gerätes behandelt.

Summary

The Epstein apparatus is a standard means of measuring the total magnetization losses and the relationship between flux density and field strength in transformer and dynamo sheets.

The paper describes the design details and operation of automatic and manual Epstein apparatus developed at VKI, and describes the experiences gained in the designing, construction and uses of this apparatus. The paper suggests a further improvement of the apparatus based on the experiences.

1. A mágneses jellemzők mérési elve

A villamos gépek mágneses köreit alkotó lemezekben a váltakozó mágneses tér hatására veszteség lép fel, amely hiszterézisveszteségre és örvényáramú veszteségre bontható fel:

$$V_{\text{vas}} = V_o + V_h, \quad (1)$$

ahol V_{vas} a teljes átmágnesezési veszteség;

V_o az örvényáramú veszteség;

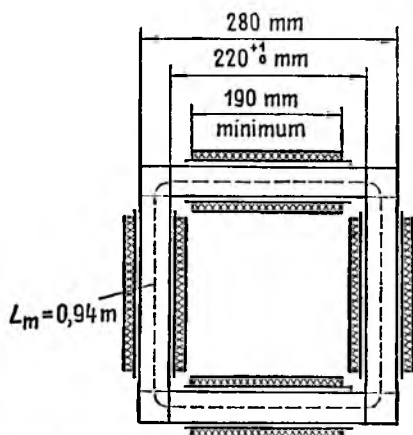
V_h a hiszterézisveszteség.

Az örvényáramú veszteség a mágneses tér frekvenciájának négyzetével, a hiszterézisveszteség a frekvenciával lineárisan változik:

$$V_{\text{vas}} = af^2 + bf. \quad (2)$$

A fajlagos vasveszteség ezek szerint frekvenciafüggő, ezért a teljes átmágnesezési veszteség mérése csak a mágneses fluxus torzítatlan szinuszos változása mellett lehetséges. Nem szinuszos változású fluxus esetén a mérés eredménye csak korrekciós számítások elvégzése után kapható meg, azonban a módszer csak igen korlátozottan használható. Az 1 kg tömegre vonatkoztatott vasveszteség: a fajlagos veszteség:

$$u = \frac{V_{\text{vas}}}{m_{\text{vas}}}. \quad (3)$$



34-1. ábra. Epstein-féle mérőkeret

A mágneses jellemzők mérésének több lehetséges módja közül a cikk az ún. Epstein-keretes módszert tárgyalja (34-1. ábra). Ez a módszer jelenleg szabványosnak tekinthető, alkalmazását az IEC 404-2 ajánlás, az MSZ 9247, a DIN 50462, ASTM-343 és egyéb szabványok írják elő. Jelenleg folyik a megfelelő KGST szabvány kidolgozása.

Az Epstein-keret tekercskeresztmetszete nagyobb a keretbe lemezelt vasminta keresztmetszeténél, ezért a szekunder tekercsben nemcsak a vasban, hanem a levegőben haladó fluxus is indukál feszültséget. Ennek hatását kompenzálni kell.

A kompenzált szekunder feszültség és a primer áram ismeretében a teljes átmágnesezési veszteség számítható, ill. mérhető:

$$V_{\text{vas}} = \frac{1}{T} \cdot \frac{N_1}{N_2} \int_0^T u_2(t) i_1(t) dt, \quad (4)$$

ahol N_1 az Epstein-keret primer menetszáma (ált. $N_1 = 700$);

N_2 az Epstein-keret szekunder menetszáma (ált. $N_2 = 700$);

$u_2(t)$ a szekunder feszültség;

$i_1(t)$ a primer áram.

Az Epstein-keretben a sarkokon levő átlapolások miatt nem a teljes tömeg mágneseződik át:

$$m_{\text{vas}} = 0,84 m_{\text{teljes}}. \quad (5)$$

A vasvesztésnek a mágneses indukció függvényében történő méréséhez szükséges a vasban levő csúcshindukció mérése. Ez a szekunder feszültség mérésére vezethető vissza:

$$U_2 = 4f A_v N_2 B, \quad (6)$$

ahol U_2 az $u_2(t)$ feszültség abszolút közéértéke;

A_v a vasminta keresztmetszete;

B a vasban levő indukció csúcserőssége.

A vasminta mágneses indukciójának a mágneses térerősségtől való függése meghatározásához szükséges a térerősség mérése, amely visszavezethető a primer áram mérésére:

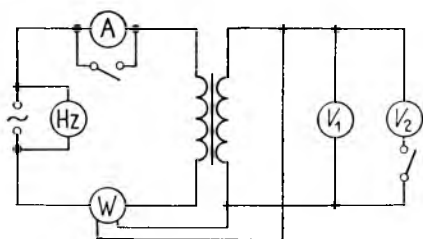
$$\hat{H} = \frac{i N_1}{l_{\text{mágn}}}, \quad (7)$$

ahol $l_{\text{mágn}}$ a közepes mágneses erővonalhossz, 25 cm-es Epstein-keret esetén $l_{\text{mágn}} = 0,94$ m.

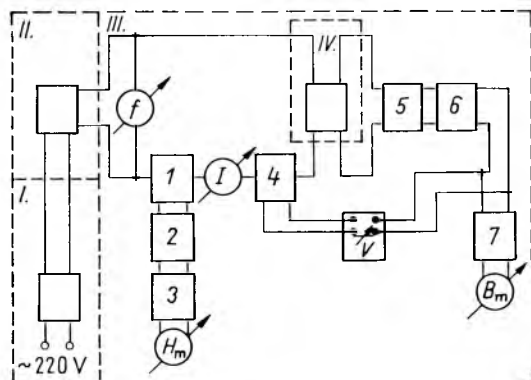
2. Mérés Epstein-kerettel és hagyományos műszerekkel

Az előző pontban elmondottak szerint Epstein-keret, volt-, amper- és wattmérő, valamint megfelelő frekvenciájú torzítatlan szinusz alakú és elegendő teljesítményű generátor segítségével a mágneses jellemzők mérhetők (34-2. ábra).

Az A árammérő a primer áram csúcserősségét, a V_1 feszültségmérő a szekunder feszültség abszolút közéértékét méri. A V_1 feszültségmérőnek és a \rightarrow wattmérő feszültségágának nagy belső rezisztenciájúnak kell lennie, különösen kisvesztésű minták mérése esetén. A V_2 feszültségmérő a szekunder feszültség csúcserősségét méri, és a feszültség formatényezőjének ellenőrzésére szolgál. A wattmérő általában fénymutató kivitelű.



34-2. ábra. Mérés az Epstein-kerettel



34-3. ábra. Közvetlen mutatós Epstein-készülék tömbvázlata

A generátorral szemben követelmény, hogy az általa szolgáltatott feszültség formatényezője $F = 1,111$ legyen. Ettől eltérő formatényező esetén korrekciót kell alkalmazni. A korrekció $F = 1,14$ felett már nem alkalmazható.

Az indukció meghatározásához szükséges vaskeresztmetszetet a tömegből, a faj-súlyból és a geometriai méretekből kell számítani.

Az eddigiekből is látható, hogy a hagyományos Epstein-keretes mérés nagyon számításigényes különösen nagyobb indukciónál, amikor a meghajtógenerátor már torz, $F = 1,111$ -től eltérő formatényezőjű jelet szolgáltat. Ezért olyan mérőkészülékek jelentek meg, amelyek mentesítik a mérést végző személyt a nagy mennyiségű számítási munkától. Az egyik ilyen készülék a KVI TR 9805 típusú, közvetlen mutatós elektronikus 1 kg-os Epstein-mérőkészüléke.

3. Közvetlen mutatós elektronikus Epstein-mérőkészülék

A készülék tömbvázlata a 34-3. ábrán látható. A torzítatlan szinuszos jelet a II elektronikus oszcillátor és erősítő szolgáltatja. A jel frekvenciáját a f frekvenciamérő méri. A mérendő mintát a IV 25 cm-es Epstein-keretbe kell lemezlni. Az Epstein-keret tekercseiben levő mágneses térerősséget a H_m műszer mutatja, amely A/cm-ben van kalibrálva.

A veszteségi számot a v wattmérő mutatja, közvetlenül W/kg-ban. A primer tekercs áramát a 4 áramváltó, a szekunder tekercs feszültségét az 5 feszültségosztó és a 6 abszolút középpértékképző segítségével mérjük. Az 5 feszültségosztót a mérendő

minta tömegének a fajsúlyának megfelelően kell beállítani. A 7 mérőerősítő a szekunder feszültség csúcserőértékét méri, amelyet a B_m műszer jelez közvetlenül G-ban.

Az Epstein-keret tekercseiben levő levegőben haladó fluxus hatását kompenzáló kölcsönös induktivitás egyenlíti ki. A készülék elektronikus áramkörei az akkori technológiának megfelelően elektroncsöves felépítésűek voltak. Üzemi és laboratóriumi méréseknek kitűnően megfelelt, mentesítette a kezelőt a nagy mennyiségű számítási munkától. Ebből a típusból jelenleg is működik néhány példány az országban.

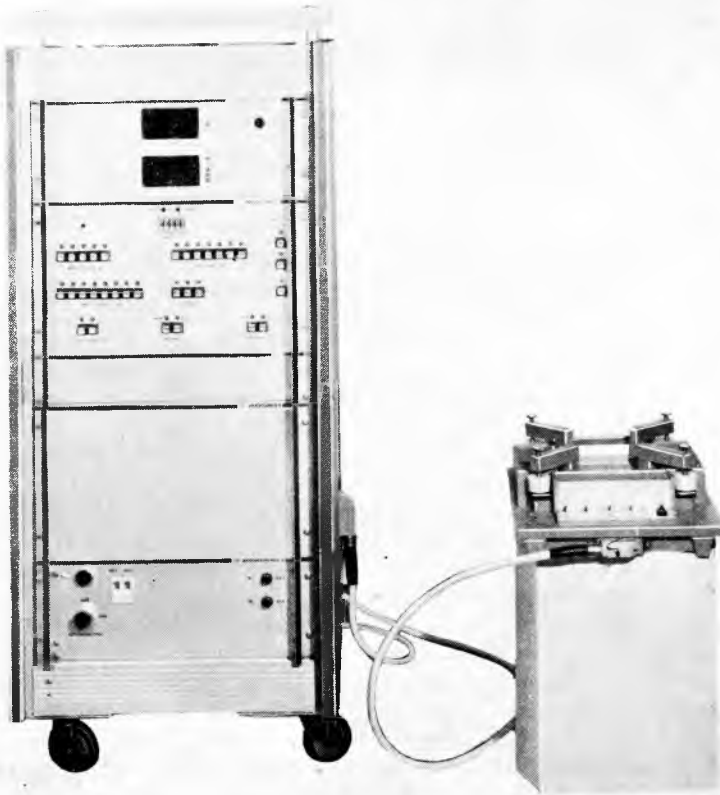
4. Automatikus és kézi üzemi, digitális kijelzésű Epstein-mérőkészülék

A villamosipari technológiák fejlődésével növekedtek a mérőberendezésekkel szemben támasztott igények mind a mérések automatizálása, mind a szélesebb méréstartományok tekintetében. A korszerű elektrotechnikai acéllemez- és szalaganyagok mérése megköveteli – különösen az irányított textúrájú, hidegen hengerelt transzformátorlemezeken – a vasvesztés vizsgálatának kiterjesztését 1,7 T mágneses indukciónál történő mérésig. Az ilyen igények kielégítésére fejlesztette ki az intézet a TR 9850 típusjelű automatikus Epstein-mérőkészüléket (34-4. ábra). A készülék segítségével az Epstein-keretbe lemezelt kb. 1 kg minta mágneses jellemzőit lehet csoportosan (automatikus üzemmód), ill. egyenként (kézi üzemmód) mérni. Az egyes üzemmódokat, a mérési szinteket, a minta adatait, a mérési frekvenciákat nyomógombok, ill. peremkeresek kapcsolók segítségével lehet beállítani. A mérési eredmények digitális formában jelennek meg a készülék kijelzőin.

A működést a 34-5. ábrán látható tömbvázlat szerint követhetjük. Az 1 generátor által előállított nagy stabilitású és kis torzítású jelet a 2 szorzórendszerű modulátoron keresztül juttatjuk el a 3 kompenzálóerősítőből és 4 végerősítőből álló rendszerbe. Az 1 generátor frekvenciáját a 28 frekvenciabeállító hálózaton lehet beprogramozni a $K_1 \dots K_5$ nyomógombok segítségével. A 28 frekvenciabeállító hálózat a $K_1 \dots K_5$ nyomógombok utasításait tárolja, és a 35 kombinációs hálózaton keresztül vezérli az 1 generátor frekvenciáját. Az S_3 jelfogó a mérési folyamat kezdetéig a generátor jelét leválasztja a modulátorról. A végerősítő által felerősített kis torzítású és megfelelő frekvenciájú szinuszjel az S_{21-22} és S_{23-24} jelfogókon jut az Epstein-keret, ill. hitelesítő toroid primer tekercsére attól függően, hogy mérés vagy hitelesítés üzemmódban működik-e a készülék.

A primer tekercsen átfolyó áramot a 7 átkapcsolható mérőerősítővel mérjük. A mérőerősítőknél eső feszültséget a 17 változtatható erősítésű erősítővel erősítjük. Ennek kimenő jele mindenkor arányos a primer körben folyó árammal és ezzel az Epstein-keretben (ill. toroidban) levő H mágneses térerővel. A 17 áramerősítő kimenő jele egyrészt a 16 wattmérő egyik bemenetére, másrészt a 18 abszolútértékképzőn és a 19 csúcserőértékképzőn keresztül a 21 integrátor összegzőbemenetére jut az S_{79-81} jelfogókon keresztül. A jelfogók helyzete attól függ, hogy a készülékkel $B-H$ görbét vagy fajlagos veszteséget mérünk-e.

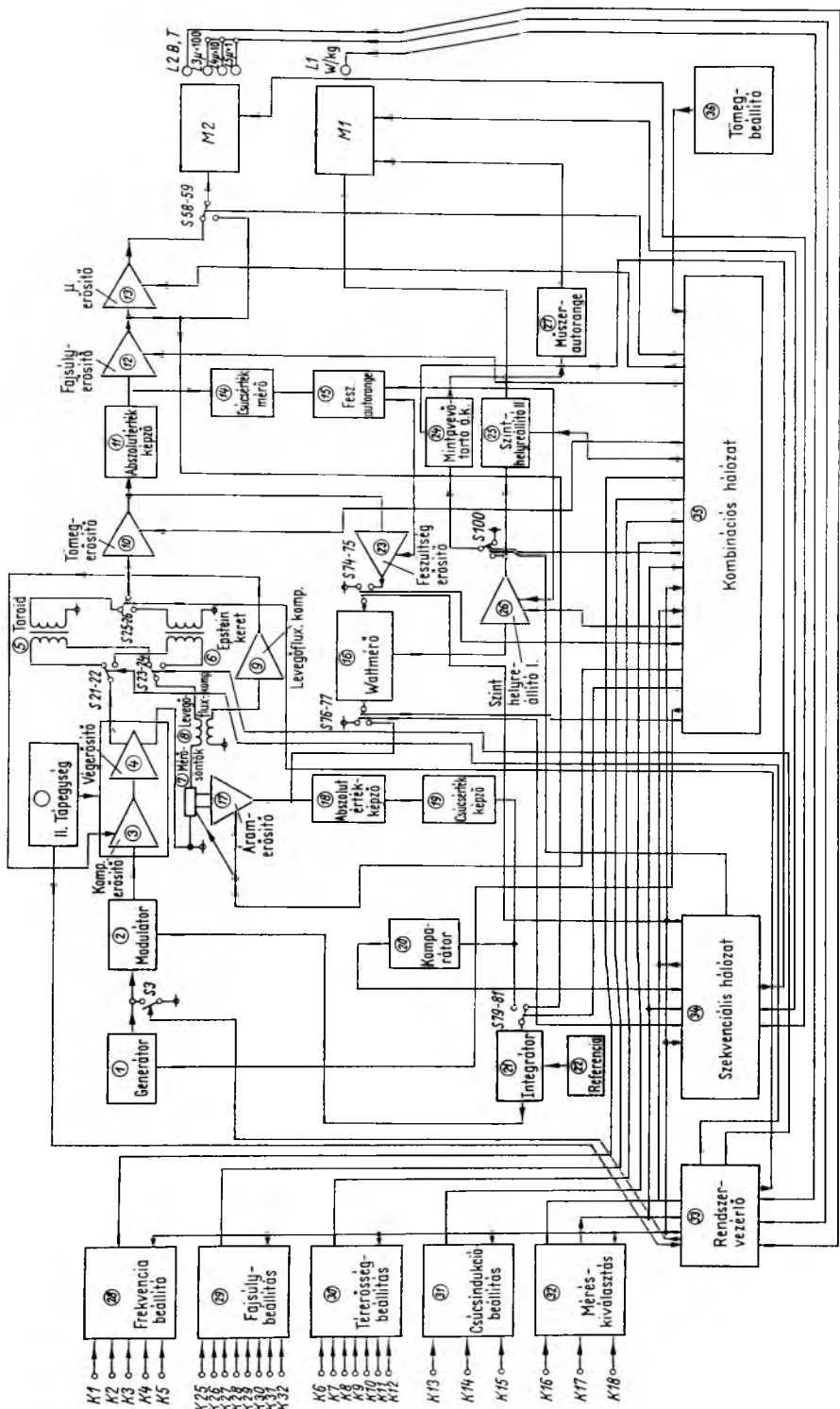
Az integrátor a bemenetére jutó jelet összehasonlítja a 22 referencijellel és a kimenő jelével a 2 modulátoron keresztül úgy szabályozza az erősítő bemenő jelét, hogy a 19 csúcserőértékképző és a 22 referencia kimenő jelének különbsége zérus legyen. Így a primer körben folyó áramot a 7 mérőerősítő és a 17 áramerősítő erősítésének változtatásával a kívánt értékre tudjuk állítani. A beállítást a 30 térerősség-beállító hálózattal lehet elvégezni. A mérendő mintában fellépő mágneses indukcióval arányos az Epstein-keret (ill. hitelesítő toroid) szekunder tekercsén mérhető feszültség.



34-4. ábra. Automatikus és kézi üzemű Epstein-készülék

Ez a feszültség a 10 tömegerősítő bemenetére kerül, amelynek erősítését a mérendő minta tömegének megfelelően lehet változtatni. A minta tömegét a 36 tömegbeállító kapcsolón lehet beállítani. A tömegbeállító kapcsoló állását a 35 kombinációs hálózat is figyeli, és 700 g-nál kisebb vagy 1399 g-nál nagyobb értéknél hibajelzést ad.

A 10 tömegerősítő bemenetén összegeződik a mágneses indukcióval arányos feszültség és az Epstein-keret levegőfluxusával arányos feszültség, amelyet a 8 kompenzálóinduktivitás és a 9 kompenzálóerősítő állít elő. A 10 tömegerősítő kimenő jele a 11 abszolútérték-képzőre jut, amelyről egyrészt a 12 fajsúlyerősítőre, másrészt



34-5. ábra. Automatikusan és kézi üzemi Epstein-készülék iömbvázlata

a 14 csúcsérték képzőre kerül. A 12 fajsúlyerősítő kimenő jele a mintában levő mágneses indukcióval arányos és azt az M_2 műszer T-ban jelzi. A fajsúlyerősítőt követő μ -erősítő kimenő jele pedig a relatív permeabilitással arányos. Az S_{58-59} jel-fogók megfelelő átkapcsolásával az M_2 műszer vagy B csúcsindukciót vagy μ relatív permeabilitást mér.

A mérendő mintában fellépő mágneses indukció torzítatlan szinuszfüggvény szerinti lefolyását a mérőkeret szekunder oldaláról a 3 kompenzálóerősítőre vezetett negatív visszacsatolás biztosítja. A negatív visszacsatolás mérési módtól függően változtatható. A körerősítés $B-H$ mérés esetén kisebb, mint fajlagos vasvesztéségmérés esetén.

Annak érdekében, hogy a vasvesztéségmérése minél pontosabb legyen, a 16 wattmérő áram- és feszültségjelei autorange áramkörökön keresztül jutnak a bemenetekre, így a wattmérő-áramkörök mindig optimális bemeneti körülmények között működnek. A wattmérő-áramkörök driftjét a 24 mintavevő-tartó áramkör automatikusan korrigálja a mérési szünetekben. A wattmérő kimenő jele a 25 és 26 színhelyreállítókön keresztül jut az M_1 műszerre, amely a mérési értéket W/kg-ban jelzi ki. A mérés pontosságának növelése érdekében a műszer automatikusan átkapcsolódik 0...2 W/kg, ill. 0...20 W/kg méréshatárookra. Az átkapcsolást a 27 műszerautorange áramkör végzi. A készülék mérési frekvenciáját a 34 szekvenciális hálózat, a méréskiválasztást és vezérlést a 32 méréskiválasztás és a 33 rendszervezérlő áramkör határozza meg. A készülék beépített hitelesítőrendszerrel van ellátva, amely egy toroidtranszformátor az Epstein-keretnek megfelelő tekercs-adatokkal.

5. A készülékek fejlesztése és üzembeállítása során nyert tapasztalatok, következtetések

A további fejlődés során újabb igények merültek fel a mágneses mérések területén. Az ún. HI-B anyagok megjelenésével szükségessé vált ezen anyagokból készült minták vasvesztéségmérése 2T csúcsindukcióval. A problémát sikerrel megoldottuk, jelenleg is működik egy ilyen készülék a berlini VEB TRO gyárban.

Ismeretes az Epstein-keretes vasvesztéségmérések azon problémája, hogy a keretbe lemezelt minta sarkaiban az átlapolások miatt a mágneses indukció eltér a kívánt értéktől, emiatt a mért vasvesztéség sem egyezik meg az elméletileg meghatározottal. Ennek a problémának a megoldására közös kutatómunkába kezdtünk két szovjetunióbeli kutatóintézetrel, amelynek eredményeképpen készüléket fejlesztünk ki új konstrukciójú járommal.

Irodalom

- [1] *W. Jellinghaus: Magnetische Messungen an ferromagnetische Stoffen.* Walter de Gruyter & Co. Berlin.
- [2] *IEC Standard 404-2 Magnetic materials Part 2: Methods of measurement of magnetic electrical and physical properties of magnetic sheet and strips,* 1978.
- [3] *VKI gyártmányismertető: TR-9805 típusú közvetlen mutatós elektronikus 1 kg-os Epstein-mérőkészülék.*
- [4] *TR-9850 automatikus és kézi üzemű Epstein-mérőkészülék gépkönyv.*

35. Diszkrét PID algoritmusok számítógépes vizsgálata a szabályozási kör szimulációjával

PÁPAY ZOLTÁN – KŐHALMY SÁNDOR

ÖSSZEFOGLALÁS

A félvezetőeszközök sebességének növekedése és árak csökkenése időszerűvé és kifizetődővé teszi, hogy a folytonos PID szabályozók helyett erősáramú folyamatok szabályozására is egyszerű, mikroprocesszorral megvalósítható diszkrét PID algoritmusokat alkalmazzanak.

A szerzők bemutatják a legismertebb diszkrét PID algoritmus származtatását. Kitérnek a diszkrét PID algoritmusok realizálhatósági feltételeire. Szimulációs példák segítségével bemutatják és rajzgépi outputtal illusztrálják a diszkrét PID paraméterek automatikus, optimális beállítását.

A cikk az 1982. évi intézeti Alkotó Ifjúság Pályázaton I. díjat nyert pályázati munka alapján készült.

МАШИННЫЙ АНАЛИЗ ДИСКРЕТНЫХ PID АЛГОРИТМОВ С СИМУЛЯЦИЕЙ СХЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

З. Папай—Ш. Кехалми

Резюме

Увеличение скоростей и понижение стоимости полупроводниковых деталей обеспечивают актуальность и экономию применения простых, дискретных PID алгоритмов, реализуемых микропроцессором вместо непрерывных PID регуляторов, для регулирования высокоточных процессов.

Авторами излагается происхождение наиболее известных дискретных PID алгоритмов. Указываются условия реализации дискретных PID алгоритмов. С помощью симуляционных примеров представляются и графопостроительным выходом иллюстрируются автоматическая, оптимальная установка дискретных PID параметров.

Статья изготовлена на основе работы, полученного I-й приз на конкурсе „Творческая молодость” 1982г.

RECHNERGESTÜTZTE UNTERSUCHUNG VON DISKRETEN PID-ALGORITHMEN DURCH SIMULATION DES REGELKREISES

Z. PÁPAY—S. KŐHALMY

Zusammenfassung

Durch die Erhöhung der Geschwindigkeit und der Preissenkung der Halbleiternmittel wird es zeitgemäss und wirtschaftlich sein, wenn auch zur Regelung von Starkstromprozessen anstatt der kontinuierlichen PID Reglern einfache, durch den Einsatz von Mikroprozessoren realisierbare diskrete PID-Algorithmien angewendet werden.

In dem Artikel wird die Abstammung des bekanntesten diskreten PID-Algorithmus gezeigt. Es wird auf die Realisierungsbedingungen der diskreten PID-Algorithmen eingegangen. Mit Hilfe von Simulationsbeispielen wird die automatische optimale Einstellung von diskreten PID Parametern gezeigt und durch ein Plotter-Output illustriert.

Der Artikel wurde auf der Grundlage einer Arbeit angefertigt, die bei dem Institutspreisausschreiben „Schaffende Jugend“ im Jahre 1982 den ersten Preis gewonnen hat.

COMPUTER TESTING OF DISCRETE PID ALGORITHMS BY THE SIMULATION OF THE CONTROL LOOP

BY Z. PÁPAY – S. KŐHALMY

Summary

The increase in the speed of semiconductor devices (and the declining prices thereof) makes it timely and profitable to replace continuous PID controllers with microprocessor-based simple discrete PID algorithms for the control of power-current processes as well.

The authors present the derivation of the most familiar discrete PID algorithms. The conditions of realizing discrete PID algorithms are discussed. Using simulation examples, the automatic optimum technique of discrete PID parameters are presented (and illustrated by plotter outputs).

The topic of the paper was awarded with the First Prize of the Creative Youth Competition organized by the Institute for the year 1982.

1. Bevezetés

A nagy integráltságú áramkörök elterjedésével, árak csökkenésével felmerül a lehetőség arra, hogy az eddigi analóg szabályozók helyett az erősáramú technika néhány területén is diszkrét PID szabályozókat használjanak. A diszkrét szabályozás megvalósításához szükséges áramkörök és az ismert algoritmusok sebessége miatt egyelőre főleg lassú ipari folyamatoknál alkalmazzák a diszkrét szabályozókat. Gyorsabb folyamatok (pl. hajtákszabályozás) esetén ezen eszközök alkalmazhatósága a szóbajóhető leggyorsabb algoritmusok végrehajtási idejének a folyamat legkisebb lényeges időállandójával való összevetése útján dönthető el.

2. A diszkrét PID szabályozó

2.1. A diszkrét PID szabályozó származtatása

A legismertebb PID szabályozó időtartománybeli alakja:

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \right]. \quad (1)$$

Ebből az egységugrás-ekvivalens z-transzformáció révén kapott z-átviteli függvény a következő:

$$p(z) = \frac{u(z)}{e(z)} = \frac{p_0 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}}, \quad (2)$$

ahol $t = kh$; h a mintavételezési idő;
 k a mintavételezési időközök száma;
 p_0, p_1, p_2 a diszkrét PID paraméterek.

Az egymásnak kölcsönösen megfeleltethető diszkrét és folytonos PID paraméterek között a transzformációból adódó összefüggések:

$$\begin{aligned}
 p_0 &= K \left(1 + \frac{T_D}{h} \right), \\
 p_1 &= -K \left(1 + 2 \frac{T_D}{h} - \frac{h}{T_I} \right), \\
 p_2 &= K \frac{T_D}{h}.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

2.2. A diszkrét PID szabályozó paramétereire vonatkozó korlátok

A (2) átviteli függvénnyel leírt diszkrét PID szabályozó paramétereinek a következő korlátozásokat kell kielégíteniük, hogy a szabályozó a PID szabályozókra jellemző jelleget adja:

$$p_0 > 0, \tag{4}$$

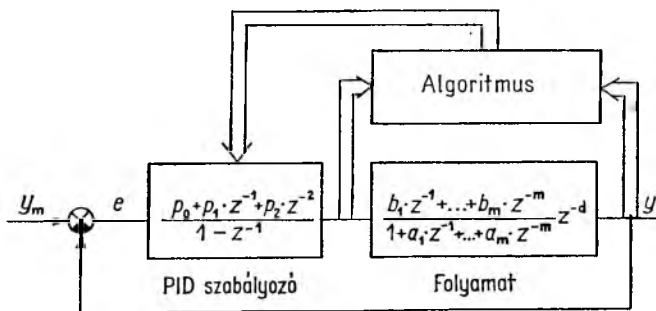
$$p_1 < -p_0, \tag{5}$$

$$-(p_0 + p_1) < p_2 < p_0. \tag{6}$$

3. A diszkrét PID szabályozó paraméterállításának explicit módszere

3.1. Az identifikálhatóság feltételei diszkrét PID szabályozót tartalmazó szabályozási körben

Tekintsük a 35-1. ábrán látható szabályozási kört. Az irányítási cél az, hogy a diszkrét PID szabályozó paramétereit úgy állítsuk be, hogy a folyamat kimenőjele optimális legyen. Ehhez ismerni kell a folyamat aktuális paramétereit, amelyek diszkrét paraméteridentifikációval kaphatók meg. A folyamat be- és kimenőjeléből egyenlő idő-



35-1. ábra

közönként mintát véve ezekből a legkisebb négyzetek módszerével a folyamat diszkrét paramétereinek aktuális értékei meghatározhatók:

$$\mathbf{p} = (\mathbf{F}^T \mathbf{F})^{-1} \mathbf{F}^T \mathbf{y}, \quad (7)$$

ahol \mathbf{p} a becült paramétervektor;

\mathbf{F} a be- és kimenőjel értékeit tartalmazó szituációmátrix;

\mathbf{y} a kimenőjel vektora.

Az identifikálhatóság első feltétele értelmében ismerni kell a folyamat m rendszámát. Ez vagy a priori ismert, vagy struktúrabecslés eredményeként adódik. Az identifikálhatóság második feltétele értelmében a szituációmátrixnak nem szabad szingulárisnak lennie. Zárt körben ez a feltétel nem minden folyamat esetén teljesül. Belátható, hogy a diszkrét PID szabályozót tartalmazó szabályozási körben csak azok a folyamatok identifikálhatók, amelyekre

$$m \leq d + 2, \quad (8)$$

ahol d a holtidőnek és a mintavételezési időnek a hányadosa. A másodfokú folyamatok – amelyek holtidőt nem tartalmazó esetben is identifikálhatók – aránylag könnyen vizsgálhatók, és számos valóságos folyamatot jól közelítenek. Ezek általános alakja:

$$Y(z) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}. \quad (9)$$

Megjegyezzük, hogy a realizálhatóság feltételei a nevező a_1 és a_2 paramétereire nézve:

$$\frac{1}{4} a_1^2 < a_2 < 1, \quad (10)$$

$$a_1 < 0. \quad (11)$$

3.2. A szabályozási algoritmus

Tekintsük a 35-2. ábrán látható szabályozási kört:

$$P(z) = p_0 + p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} = p_0 (1 + p'_1 p z^{-1} + p'_2 z^{-2}), \quad (12)$$

$$\text{ahol } p'_1 = \frac{p_1}{p_0}, \quad p'_2 = \frac{p_2}{p_0}. \quad (13)$$

Tervezéskor legyen:

$$p'_1 = a_1, \quad p'_2 = a_2. \quad (14)$$

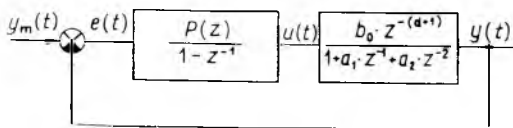
Az elmondottak figyelembevételével a vizsgált szabályozási kört a 35-3. ábra mutatja. Irányítási célnak tekintsük azt, hogy a szabályozási kör kimenőjelenek túllendülése ne legyen nagyobb 5%-nál. Ebből $d = 1$ és $h = 1$ esetén a szabályozási algoritmus:

$$p_0 = \frac{1}{3b_0}, \quad (15)$$

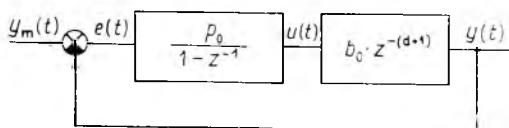
$$p_1 = \frac{a_1}{3b_0}, \quad (16)$$

$$p_2 = \frac{a_2}{3b_0}, \quad (17)$$

ahol a b_0 , a_1 és a_2 paraméterek értékei identifikáció alapján ismertek.



35-2. ábra



35-3. ábra

3.3. Identifikáció és szabályozás egyidejű megvalósításának számítógépes szimulációja

Az előző szakaszban leírtak alapján készült el a szabályozási kör számítógépes szimulációs programja FORTRAN nyelven a VKI TPAi számítógépén. A szimulált folyamat be- és kimenőjeléből azonos időpontokban mintát véve on-line identifikációval határozzuk meg a folyamat paramétereit, ugyanis valós ipari folyamatoknál ezek ismeretlenek vagy változhatnak. A számítások alapja a (7)-ből adódó két rekurzív összefüggés:

$$\mathbf{p}_t = \mathbf{p}_{t-1} - \mathbf{R}_t \mathbf{f}_t (y - \mathbf{f}_t^T \mathbf{p}_{t-1}) \quad (18)$$

$$\mathbf{R}_t = \frac{1}{\varrho^2} \left(\mathbf{R}_{t-1} - \frac{\mathbf{R}_{t-1} \mathbf{f}_t \mathbf{f}_t^T \mathbf{R}_{t-1}}{\varrho^2 + \mathbf{f}_t^T \mathbf{R}_{t-1} \mathbf{f}_t} \right), \quad (19)$$

ahol y a kimenő jel;

\mathbf{R} a konvergenciamátrix;

\mathbf{f} a szituációvektor;

$\varrho \cong 1$ a felejtési tényező;

t , ill. $t-1$ index az aktuális, ill. az azt megelőző] mintavételezési időpontban felvett értéket jelöli.

A folyamat kezdeti – és szimuláció esetén a tényleges – paraméterértékeit úgy választjuk meg, hogy részint realizálhatók legyenek, részint a hozzájuk rendelt szabályozóparaméterek értékei a (4)...(6) PID feltételeknek megfelelőjenek.

3.4. Szimulációs példa

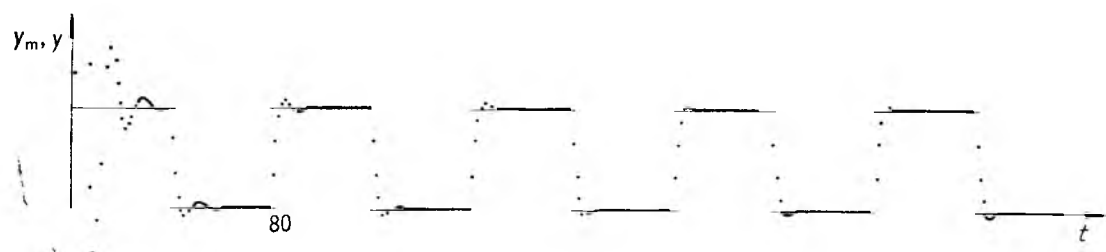
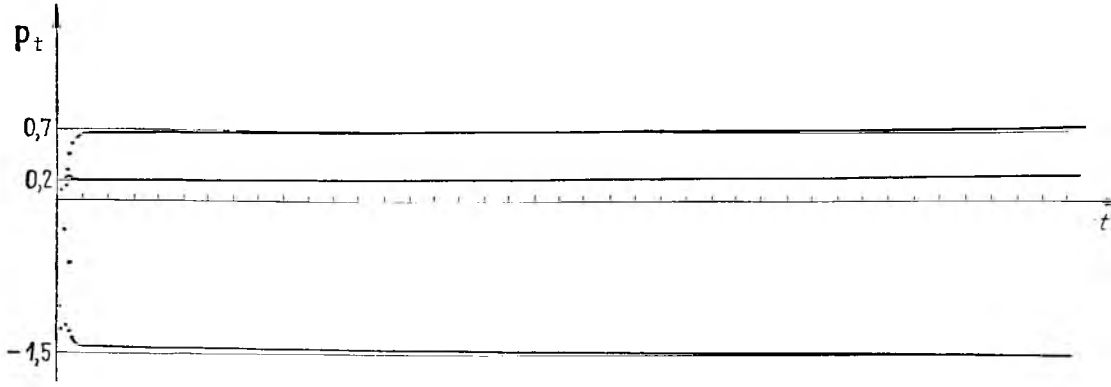
Válasszuk a folyamatparamétereket a következő értékűekre:

$$a_1 = -1,5; \quad a_2 = 0,7; \quad b_0 = 0,2. \quad (20)$$

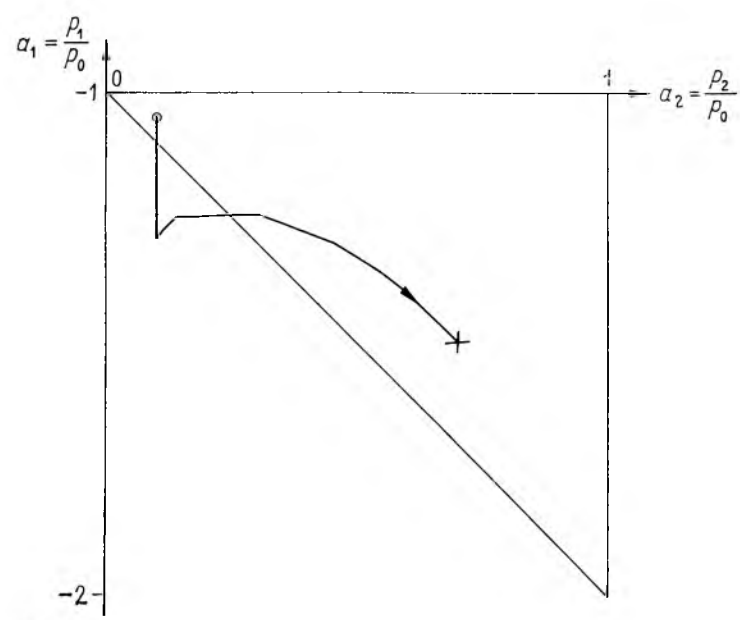
A \mathbf{p}_t paramétervektor elemeinek kezdeti értékei:

$$a_{10} = -1,05; \quad a_{20} = 0,1; \quad b_{00} = 0,05. \quad (21)$$

A 35-4. ábrán látható, hogyan alakul a szabályozási kör be- és kimenőjele és a becsült paraméterértékek az idő függvényében. A bemenőjel 80h periódusidejű négyszögjel. Ezzel ugyanabban a koordinátarendszerben ábrázoltuk a kimenőjelet is. Az ábra felső részében ábrázolt becsült paraméterértékek a harmadik periódusra már pontosak, ennek megfelelően a szabályozási kör kimenőjelenek túllendülése is lecsökken a kezdeti nagy lengések után az előírt 5% alá. A 35-5. ábra



35-4. ábra



35-5. ábra

a realizálhatósági háromszögben ábrázolja az a_1 és a_2 becsült paraméterek trajektóriáját, amint a (21) kiindulópontból a (20) pontba jut. A trajektória kis mértékben átlépi a PID határokat, de visszatér a háromszögön belülre. Szimulációs és gyakorlati esetben is programozható a trajektória korlátozása.

4. A diszkrét PID szabályozó paraméterállításának implicit módszere

4.1. A módszer ismertetése

Ebben a fejezetben implicit identifikációs technikán alapuló „self-tuning” PID szabályozót ismertetünk. A szabályozóparaméterek állítása közvetlen módon történik, explicit identifikációra ehhez nincsen szükség.

Tekintsük a 35-1. ábrán látható szabályozási kört! Minőségi kritériumként válasszuk a

$$V = \frac{1}{2} e^2(t) \quad (22)$$

függvény várható értékét:

$$Q = E \left\{ V \right\} = E \left\{ \frac{1}{2} e^2(t) \right\} \longrightarrow \min_{\mathbf{p}} \quad (23)$$

Q sztochasztikus függvény, sűrűségfüggvénye ismeretlen, de a sztochasztikus approximáció Cüpkín-féle kanonikus alakját használva a Q függvény deriváltja helyett egy V realizáció deriváltját alkalmazhatjuk [5]:

$$\mathbf{p}_t = \mathbf{p}_{t-1} - \mathbf{R}_t \frac{dV}{d\mathbf{p}_{t-1}}, \quad (24)$$

ahol \mathbf{R}_t a konvergenciamátrix t időpontbeli értéke. V gradiense:

$$\frac{dV}{dp_i} = e(t) \frac{\partial e(t)}{\partial p_i}, \quad (25)$$

$$\frac{\partial e(t)}{\partial p_i} = \frac{\partial}{\partial p_i} \left[y_m(t) - y(t) \right] = -e^F(t-d-i) i = 0, 1, 2, \quad (26)$$

$$e^F(t) = \frac{e(t)}{P(z)}. \quad (27)$$

A (26) összefüggés levezetésénél feltételeztük, hogy az optimum közelében vagyunk, azaz a rendszer kimenete a d holtidővel követi a referenciajelet, vagyis a zárt kör átviteli függvénye jó közelítéssel z^{-d} -vel egyenlő [4], [6]. Ezek alapján az $e(t)$ szabályozási eltérés közelítő érzékenységvektora:

$$\frac{\partial e(t)}{\partial \mathbf{p}} = \left[e^F(t-d), e^F(t-d-1), e^F(t-d-2) \right]^T = -f(t-d). \quad (28)$$

A rekurzív paraméterfelújító formula pedig:

$$\mathbf{p}_t = \mathbf{p}_{t-1} + \mathbf{R}_t f(t-d) e(t). \quad (29)$$

Az optimális konvergenciamátrix Cüpkín szerint V Hesse-mátrixának inverze [4]. A Hesse-mátrix egy eleme:

$$h_{ij} = \frac{\partial e(t)}{\partial p_i} \frac{\partial e(t)}{\partial p_j} + \frac{\partial^2 e(t)}{\partial p_i \partial p_j}, \quad (30)$$

tehát a Hesse-mátrix két mátrix összegeként is felírható:

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_1 + \mathbf{H}_2 \quad (31)$$

Ebből \mathbf{H}_1 diadikus szorzat alakjában képezhető:

$$\mathbf{H}_1 = \mathbf{f}(t-d) \mathbf{f}^T(t-d). \quad (32)$$

Jó közelítéssel [4]:

$$\mathbf{H} \approx \mathbf{H}_1, \quad (33)$$

így \mathbf{R}_t mátrix felújításakor nem szükséges mátrixinverziót végezni, mivel \mathbf{R}_t (19)-ből számítható ki. A felejtési tényező, $\varrho \cong 1$ ebben az esetben is.

4.2. Szimulációs példa

Az előbb ismertetett módszer szemléltetésére szolgáló szimulációs példa eredményeit is a VKI TPAi számítógépére írt programok futtatásával kaptuk meg. A (29) rekurzív paraméterfelújító formula programozásánál tekintetbe kell venni, hogy $P(z)$ -nek PID szabályozónak kell lennie, ami úgy biztosítható, hogy a (4)...(6) feltételeket a becsült p_0, p_1, p_2 paramétereknek ki kell elégíteniük. Amennyiben ez nem történne meg, akkor a paraméterfelújítást nem hajtjuk végre, hanem az előző becsült értékekkel számolunk tovább [4]. A

$$\frac{0,2z^{-1}}{1 - 1,5z^{-1} + 0,7z^{-2}} \quad (34)$$

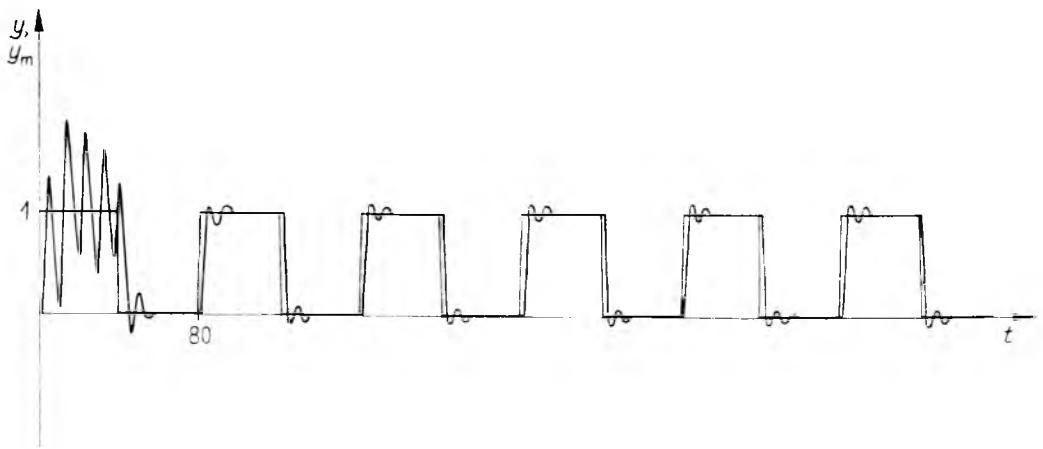
átviteli függvénnyel leírt folyamatot PID szabályozóval szabályozzuk és $80h$ periódusidejű négyszögjellel gerjesztjük. A konvergenciamátrix kezdeti értéke $\mathbf{R} = \mathbf{I}$ (egységmátrix), a paramétervektoré $\mathbf{p} = [1,666; -1,75; 0,167]^T$, $\varrho = 0,98$.

A 35-6. ábra az y_m referencia- és az y kimenőjelet ábrázolja. Jól látható, hogy az első félperiódus után a kimenőjel jól követi a referenciajelet. A 35-7. ábrán a paraméterek terében láthatjuk a szabályozóparaméterek változását. A trajektória a $p_2/p_0 = 0,1$ és a $p_1/p_0 = -1,05$ pontból indul ki, a 640 időegységnyi tartományban mindvégig a háromszöggel jelölt PID tartományon belül marad. Szimulációs példánk a módszer szemléltetésén túl azt is megmutatja, hogy a PID tartományon belüli pontból elindítva a rendszert lengésekkel beállnak azok a paraméterek, amelyekkel a kimenő jel jól követi a bemenő referenciajelet.

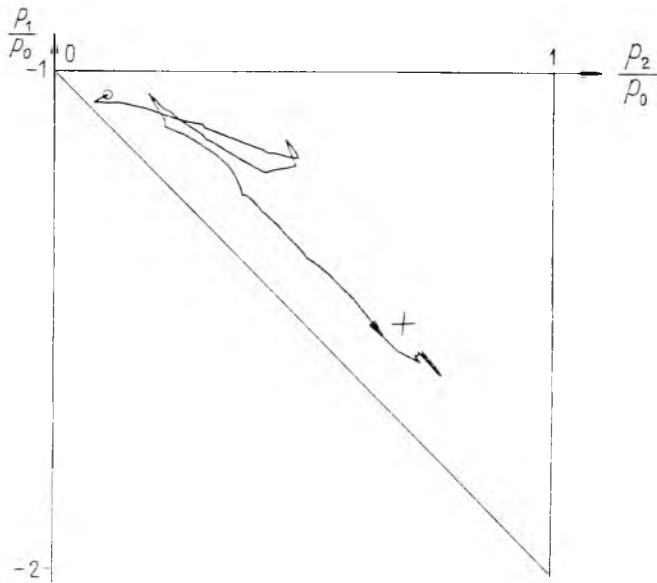
5. Következtetések

Két közelálló algoritmust ismertetünk és vizsgáltunk. Az algoritmusok igen egyszerűek, mindössze a három PID paramétert tartalmazzák, gyorsabbak a bonyolultabb algoritmusoknál, nem igényelnek nagy memóriát. Megvalósításuk a nagy integrálságú áramkörök segítségével viszonylag könnyű. Már meglévő diszkrét PID szabályozók adaptívva tételére is jól alkalmazhatók.

Reméljük, jelen munkánkkal némileg hozzájárulhatunk ahhoz, hogy az egyre dinamikusabban fejlődő szabályozásmélelet adaptív rendszerekkel foglalkozó ágának eredményei minél előbb termelőerővé váljanak.



35-6. ábra



35-7. ábra

6. Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki dr. Keviczky Lászlónak, a műszaki tudományok doktorának, aki tudományos főosztályvezetői, egyetemi oktatói és tudományos közéleti tevékenysége mellett konzultációival lehetővé tette ennek a cikknek a megszületését, valamint mindazoknak, akik a VKI-ban biztosították a körülményeket az alkotó munkához.

Irodalom

- [1] *Dr. Keviczky L. – Dr. Bányász Cs. – Hilger M.*: Folyamatidentifikáció, folyamatirányítási kutatások a szilikátiparban, SZIKKTI Tudományos Közlemények, 1977.
- [2] *Dr. Keviczky L. – Dr. Bányász Cs.*: Optimum Insensitivity of the Discrete-Continuous Transformation, SZTAKI Tanulmányok, 90/1979.
- [3] *Isermann, R.*: Digitale Regelsysteme. Springer Verlag, 1977.
- [4] *Dr. Keviczky L. – Dr. Bányász Cs.*: Direct Methods for Self-tuning PID Regulators, 6th IFAC Symp. on Syst. Ident. and Proc. Par. Est., Washington, 1982.
- [5] *Tsyapkín, Y. Z.*: Adaptation and Learning in Automatic Systems, NAUKA, Moscow, 1968.
- [6] *Pápay Zoltán – Kőhalmy Sándor*: Diszkrét PID algoritmusok és realizálhatósági lehetőségeik vizsgálata a szabályozási kör számítógépes szimulációjával, Alkotó Ifjúság Pályázat, Budapest, 1982.

Tartalom

Erősáramú elektronika és irányítástechnika

1. Áramirányítós szinkron motoros hajtások (*Ballók Imre – Weiner György*) 7
2. Tirisztoros frekvenciaátalakítós hajtássorozat fejlesztése az EVIG részére (*Bencze János – László János – Nattán Péter*) 17
3. Tranzisztoros inverter aszinkron motorok táplálására (*Bogosi György – Nagy Péter – Weiner György*) 27
4. Tirisztoros frekvenciaátalakítós hajtások mikroprocesszoros irányítása (*Sebestyén László*) 35
5. 150 W teljesítményű, kétkimenetű hálózati tápegység (*Szlovik Gusztáv*) 43
6. Vasúti személykocsik egyenáramú energiaellátó rendszere (*Tihanyi László*) 51
7. Mikroszámítógépes szabályozású inverter szünetmentes energiaellátó rendszerekhez (*Bohuss Aurél – Buzás Péter – Dr. Ganszky Károly – Sarkadi Ferenc*) 59
8. A Ferihegyi repülőtér új optikai repülésbiztosító rendszerének áramellátása és központi vezérlése (*Huszár Tibor (UVATERV) – Dr. Poniczky Károly – Soós László – Vörös Miklós*) 69
9. Relés követőszabályozás alkalmazása áramellátási inverterek megvalósításánál (*Dr. Nagy László*) 77
10. Modul felépítésű szünetmentes áramellátó rendszerek (*Németh Géza – Prágai György*) 85
11. Elektronikus berendezések egyenfeszültségű tápegységei (*Molnár Károly – Lakatos János (KONTAKTA)*) 95
12. Hőtároló kályhák korszerű feltöltésszabályozói (*Tüdös Tibor*) 109

A villamos energia közvetlen előállítása

13. Sajtolt, műanyagkötésű elektródokból épített lúgos akkumulátorok fejlesztésének eredményei (*Dr. Kulcsár Sándor – Dr. Lukács József – Dr. Sors László*) 123
14. Transzportjelenségek szerepe savas ólomakkumulátorokban (*Dr. Horváth Pál*) 131
15. Lúgos Ni-Cd akkumulátorok aktív anyagának szerkezeti sajátosságai, adalékai és a villamos tulajdonságokra gyakorolt hatásuk (*Dr. Kulcsár Sándor – Kádár Endre*) 141

Technológiák

16. Napelemek, napelemes áramforrások, napelemes érzékelők (*Pálfy Miklós – Böhönyey Ferenc – Palotay Géza*) 153
17. Kombinált plazma – indukciós acélolvasztás (*Bóday Ottó*) 167
18. Ipari hulladékok feldolgozási lehetőségei plazmatechnológiával (*Bóday Ottó – Dr. Krajcsovics Ferenc – Pócsy Ferenc*) 173

19. Ni-tartalmú Ag érintkezőanyagok előállításának robbantásos portömörítéssel *(Szalay András–Puskás József)* 181
20. Műanyag-fröccsöntési technológiák fejlesztése programozott vezérlésű gépekkel *(Talpai József–Dr. Bardócz László–Dr. Fazekas Gáborné–Dr. Szabados Tamás (KONTAKTA))* 189

Villamos készülékek

21. Kisfeszültségű kontaktorok és kapcsolók nemesfém-takarékos érintkezőrendszerei *(Dr. Néveri István–Pilinyi András–Dr. Polgár Tibor)* 203
22. 12 kV-os vákuumkontaktor *(Dr. Polgár Tibor–Szauter Ferenc)* 215
23. Áramkorlátozó kismegszakítók kapcsolási tulajdonságainak elemzése zárlati áram megszakításakor *(Csányi István–Kóhalmy Sándor)* 225
24. Fémoxid varisztorok a túlfeszültség-védelemben *(Gyimóthy Kálmáné–Cséfalvay Miklós)* 233

Szigeteléstechnika

25. Szabadtéri műanyag szigetelők alkalmazásának és korszerű gyártástechnológiájának irányzatai *(Bognár Alajos–Szaploneczay Pál–Dr. Frojimovics Gábor–Tisler Istvánné)* 249
26. Energetikai transzformátorok szigetelés-diagnosztikája deszorpciós áramgörbe analízisével *(Schmidt János–Csömöre Sándor–Nagy Zoltán (MVMT))* 261

Vizsgálatok és vizsgálókészülékek

27. Mikroszámítógépes vezérlésű patkány-vérnyomásmérő rendszer *(Bíró Lajos–Danitz Béla (Gyógyszerkutató Intézet)–Glofák F. Péter)* 271
28. Akciós potenciál és mechanogram jeleket feldolgozó mikroprocesszoros készülék *(Bokor István–Glofák F. Péter)* 279
29. Villamos készülékek mérés technikája *(Dr. Csáthy Károly)* 287
30. Kis teljesítményű multiplexer ellenállás hőmérséklet-érzékelőhöz *(Dina Sándor–Ribényi András–Sztrókey István)* 297
31. 1000 V alatti aszinkron motorok élettartam-vizsgálatának korszerű módszerei *(Horváth Árpád)* 305
32. Szigetelőanyagok tartós villamos szilárdságának vizsgálata trecing lappangási idejének mérésével *(Bognár Alajos–Dávid Péter–Tamás Ferenc–Zelenyánszki Endre)* 315
33. A savas ólomakkumulátorok pozitív aktív anyagában levő ólomvegyületek minőségi és mennyiségi elemzése termoanalitikai módszerekkel *(Kánya Ernő–Kislaróczy János)* 327
34. Automatikus és kézi üzemű Epstein-mérőkészülék *(Tar Ferenc)* 341
35. Diszkrét PID algoritmusok számítógépes vizsgálata a szabályozási kör szimulációjával *(Pápay Zoltán–Kóhalmy Sándor)* 349

Содержание

Силовая электроника и техника управления

1. Приводы синхронных двигателей с преобразователями тока (*И. Билюк—Д. Веинер*) 7
2. Совершенствование серийного ряда тиристорного привода с преобразователем частоты для фирмы ЭВИГ (*Я. Бенце—Я. Ласло—П. Наттан*) 17
3. Транзисторный инвертор для питания асинхронных двигателей (*Д. Богошич—П. Надь—Д. Веинер*) 27
4. Микропроцессорное управление тиристорными приводами с преобразователем частоты (*Л. Шебештен*) 35
5. Сетевой источник питания мощности 150 вт с двумя выходами (*Г. Словик*) ... 43
6. Система энергоснабжения постоянного тока железнодорожных пассажирских вагонов (*Л. Тихани*) 51
7. Инвертор с управлением на микро-вычислительной машине для непрерывных систем энергоснабжения (*А. Бохушич—П. Бузаич—Др. К. Гански—Ф. Шаркади*) 59
8. Токоснабжение и центральное управление новой оптической системы безопасности полета аэропорта „Ферихедь“ (*Т. Гусар (УВАТЕРВ)—Д-р. К. Пошукчи—Л. Шош—М. Вереш*) 69
9. Применение релейного следящего регулирования при реализации инверторов токоснабжения (*Д-р. Л. Надь*) 77
10. Непрерывные системы токоснабжения модульного построения (*Г. Немет—Д. Прагаи*) 85
11. Блоки питания постоянного напряжения электронных установок (*К. Мошар—Я. Лакатош (КОНТАКТА)*) 95
12. Современные элементы управления зарядом теплоаккумулирующих печей (*Т. Тюдеш*) 109

Непосредственная выработка электрической энергии

13. Результаты усовершенствования щелочных аккумуляторов, изготовленных из прессованных электродов с пластмассовыми связующими (*Д-р. Ш. Кульчар—Д-р. Й. Лукач—Д-р. Л. Шори*) 123
14. Роль транспортных явлений в кислотно-свинцовых аккумуляторах (*Д-р. П. Хорват*) 131
15. Структурные свойства, добавки и их воздействия на электрические свойства никелевой активной массы щелочных Ni—Cd аккумуляторов (*Д-р. Ш. Кульчар—Э. Кадар*) 141

Технологии

16. Солнечные элементы, источники тока и датчики из солнечных элементов (*М. Палфи—Ф. Бехенеи—Г. Палотай*) 153
17. Комбинированное плазмо-индукционное плавление стали (*О. Бодаи*) ... 167
18. Возможности переработки промышленных отходов с применением плазменной технологии (*О. Бодаи—Д-р. Ф. Крайчович—Ф. Почи*) 173
19. Изготовление серебряных контактных материалов, содержащих никел методом взрывного уплотнения порошка (*А. Салаи—Й. Пушкаш*) 181
20. Совершенствование технологий прессовки пластмассы на машинах с программным управлением (*Й. Талтай—Д-р. Л. Бардоц—Д-р. Г.-не Фазекаш—Д-р. А-не Келемен (МЫКИ)—Д-р. Т. Сабадош (КОНТАКТА)*) 189

Электрические приборы

21. Контактные системы контакторов и переключателей низкого напряжения с экономией благородных металлов (*Д-р. И. Нэвери—А. Пилиши—Д-р. Т. Полгар*) 203
22. Вакуумный контактор на напряжение 12 кв (*Д-р. Т. Полгар—Ф. Саутер*) 215
23. Анализ характеристик выключения токоограничивающих размыкателей при отключении токов короткого замыкания (*И. Чани—Ш. Кехалми*) 225
24. Варисторы из металлических окисей в защите от перенапряжений (*К-не Дилоти—М. Чефалвай*) 233

Изоляционная техника

25. Современные тренды применения и современной технологии производства открытых пластмассовых изоляторов (*А. Богнар—П. Саплонцаи—Д-р. Г. Фройшмович—И. Тишлер*) 249
26. Диагностика изоляции энергетических трансформаторов методом машинного анализа десорбционной кривой тока (*Й. Шмидт—Ш. Чемере—З. Надь (МВМТ)*) 261

Испытания и испытательные приборы

27. Система измерения кровяного давления крыс с управлением на микро-ЦВМ (*Л. Биро—Б. Данитз (Институт фармакологии)—Ф. П. Глофак*) 271
28. Микропроцессорная установка обработки потенциала действия и механограмм (*И. Бокор—Ф. П. Глофак*) 279
29. Измерительная техника электрооборудований (*Д-р. К. Чати*) 287
30. Маломощный мультиплексер для резистивных датчиков измерения температуры (*Ш. Дина—А. Рибени—И. Строкаи*) 297
31. Современные методики ресурсных испытаний асинхронных электродвигателей напряжением до 1000 в. (*А. Хорват*) 305
32. Испытание длительной электрической прочности изоляторов методом измерения латентного времени „treeing“ (*А. Богнар—И. Давид—Ф. Тамаш—Э. Зеленьяски*) 315
33. Качественный и количественный анализ свинцовых соединений положительной активной массы кислотно-свинцовых аккумуляторов термоаналитическими методами (*Э. Капя—Я. Кишдароци*) 327
34. Эпштейн-измерительный прибор автоматического и ручного действия (*Ф. Тар*) 341
35. Машинный анализ дискретных PID алгоритмов с симуляцией схемы регулирования (*З. Панаи—Ш. Кехалми*) 349

Inhalt

Leistungselektronik und Regelungstechnik

1. Antriebe mit Stromrichter motoren (*I. Ballók—Gy. Weiner*) 7
2. Entwicklung einer Baureihe von Antriebsregelungen mit Thyristor-Frequenzumrichtern für die Firma EVIG (*J. Bencze—J. László—P. Nattán*) 17
3. Transistorumrichter zur Speisung von Asynchronmotoren (*Gy. Bogosi—P. Nagy—Gy. Weiner*) 27
4. Mikroprozessor-Steuerung für Antriebsregelungen mit Thyristor-Frequenzumrichtern (*L. Sebestyén*) 35
5. Schaltnetzteil mit zwei Ausgängen und mit einer Leistung von 150 W (*G. Szlovik*) 43
6. Gleichstrom-Energieversorgungssystem von Eisenbahn-Personenwagen (*L. Tihanyi*) 51
7. Mikroprozessorgeregelter Wechselrichter für unterbrechungsfreie Energieversorgungssysteme (*A. Bohuss—P. Buzás—Dr. K. Ganszky—F. Sarkadi*) 59
8. Die Stromversorgung und zentrale Steuerung des neuen optischen Flugsicherungssystems des Flughafens Ferihegy (*T. Huszár (UVATERV)—Dr. K. Poniczky—L. Soós—M. Vörös*) 69
9. Anwendung von Folgeregelung bei der Realisierung von Wechselrichtern für Stromversorgungszwecke (*Dr. L. Nagy*) 77
10. Modular aufgebaute unterbrechungsfreie Stromversorgungssysteme (*G. Németh—Gy. Prágai*) 85
11. Gleichstrom-Speiseeinheiten von elektronischen Einrichtungen (*K. Molnár—J. Lakatos (KONTAKTA)*) 95
12. Moderne Aufladeregler für Elektro-Speicherheizgeräte (*T. Tüdös*) 109

Direkte elektrische Energieumwandlung

13. Entwicklungsergebnisse bei Alkali-Batterien, die aus gepressten Elektroden mit Kunststoffbindung bestehen (*Dr. S. Kulcsár—Dr. J. Lukács—Dr. L. Sors*) 123
14. Die Rolle von Transporterscheinungen in Bleiakkulatoren (*Dr. P. Horváth*) ... 131
15. Die Struktureigenheiten, Zusätze und die auf die elektrischen Eigenschaften ausgeübte Wirkung der Nickel-Aktivmasse von Alkali-Batterien (*Dr. S. Kulcsár—E. Kádár*) 141

Technologien

16. Solarzellen, Solarzellen-Stromquellen, Solarzellen-Fühler (*M. Pálffy—F. Böhönyey—G. Palotay*) 153
17. Kombinierte Plasma-Induktions-Stahlschmelzung (*O. Bóday*) 167

18. Verarbeitungsmöglichkeiten der industriellen Abfälle unter Anwendung der Plasmatechnologie (<i>O. Bóday—Dr. F. Krajcsovicz—F. Pócsy</i>)	173
19. Herstellung von Ni-haltigen Ag-Kontaktwerkstoffen mit Hilfe von Pulversintern durch Explosionsverfahren (<i>A. Szalay—J. Puskás</i>)	181
20. Entwicklung von Kunststoff-Spritzgießtechnologien mit Hilfe von programmgesteuerten Maschinen (<i>J. Talpai—Dr. L. Bardócz—Frau Dr. G. Fazekas—Frau Dr. A. Kelemen (MŰKI)—Dr. T. Szabados (KONTAKTA)</i>)	189

Schaltgeräte

21. Kontaktsysteme von Niederspannungsschützen und Schaltern mit Edelmetalleinsparung (<i>Dr. I. Néveri—A. Pílinyi—Dr. T. Polgár</i>)	203
22. 12 kV-Vakuumschütz (<i>Dr. T. Polgár—F. Szauter</i>)	215
23. Analyse der Schalteigenschaften von strombegrenzenden Leitungsschutzschaltern beim Unterbrechen des Kurzschlussstromes (<i>J. Csányi—S. Köhalmly</i>)	225
24. Metalloxid Varistoren im Überspannungsschutz (<i>Frau K. Gyimóthy—M. Cséfalvay</i>)	233

Isolationstechnik

25. Tendenzen in der Anwendung und in der modernen Fertigungstechnologie der Freiluft-Kunststoffisolatoren (<i>A. Bognár—P. Szaploneczay—Dr. G. Frojimovicz—Frau I. Tisler</i>)	249
26. Isolationsdiagnostik für energetische Transformatoren durch die Analyse der Desorptionsstromkennlinie (<i>J. Schmidt—S. Csömöre—Z. Nagy (MVMT)</i>)	261

Prüfungen und Prüfgeräte

27. Mikroprozessorgesteuertes System zur Messung des Blutdruckes von Ratten (<i>L. Biró—B. Danitz (Forschungsinstitut für Arzneimittelforschung)—P. F. Glofák</i>)	271
28. Mikroprozessorgesteuertes Gerät zur Verarbeitung von Aktionspotential- und Mechanogramm-Signalen (<i>I. Bokor—P. F. Glofák</i>)	279
29. Messtechnik elektrischer Schaltgeräte (<i>Dr. K. Csáthy</i>)	287
30. Multiplexer von kleiner Leistung für Widerstands-Temperaturfühler (<i>S. Dina—A. Ribényi—I. Sztrókay</i>)	297
31. Moderne Methoden zur Lebensdauerprüfung von Asynchronmotoren unterhalb 1000 V (<i>Á. Horváth</i>)	306
32. Prüfung der elektrischen Langzeitfestigkeit von Isolierstoffen durch die Messung der „Treeing“-Kanalinsatzzeit (<i>A. Bognár—P. Dávid—F. Tamás—E. Zelenyánszki</i>)	315
33. Die qualitative und quantitative Analyse der in der positiven aktiven Masse von Bleiakkumulatoren befindlichen Bleiverbindungen durch thermoanalytische Methoden (<i>E. Kánya—J. Kisdaróczi</i>)	328
34. Epstein-Apparat mit automatischem und manuellem Betrieb (<i>F. Tar</i>)	341
35. Rechnergestützte Untersuchung von diskreten PID-Algorithmen durch Simulation des Regelkreises (<i>Z. Pápay—S. Köhalmly</i>)	349

Contents

Power electronics and control engineering

1. Machine Commutated Inverter Drives (*I. Ballók—Gy. Weiner*) 7
2. Development of a Series of Frequency Converter Induction Motor Drives for EVIG (*J. Bencze—J. László—P. Nattán*) 17
3. Transistor Inverter for Induction Motors (*Gy. Bogosi—P. Nagy—Gy. Weiner*)... 27
4. Microprocessor Control of Thyristor Frequency Converter Drives (*L. Sebestyén*) 35
5. Switched mode power supply unit with two outputs of 150 W total output power (*G. Szlovik*) 43
6. DC Power Supply System for Railway Carriages (*L. Tihanyi*) 51
7. Microcomputer-controlled Inverter for Uninterruptible Power Supply Systems (*A. Bohus—P. Buzás—Dr. K. Ganszky—F. Sarkadi*) 59
8. Power Supply and Central Control of the New Optical Flight Security System of Ferihegy Airport (*T. Huszár (UVATERV)—Dr. K. Poniczky—L. Soós—M. Vörös*) 69
9. Application of Bang-bang Control in Inverters of Uninterruptible Power Supply Systems (*Dr. L. Nagy*) 77
10. Uninterruptible Power Supply Systems of Modular Design (*G. Németh—Gy. Prágai*) 85
11. DC Power Supplies of Electronic Equipments (*K. Molnár—J. Lakatos (KONTAKTA)*) 95
12. Up-to-date Charge Controllers for Electric Storage Heaters (*T. Tüdös*) 109

Direct energy conversion

13. Results of the Development of Alkaline Storage Batteries Employing Pressed Plastic-bonded Electrodes (*Dr. S. Kulcsár—Dr. J. Lukács—Dr. L. Sors*) 123
14. The Role of Transport Phenomena in Lead-Acid Storage Batteries (*Dr. P. Horváth*) 131
15. Structural Features, Additives and their Influence on the Electric Properties of the Nickel-active Material in Alkaline Ni—Cd Storage Batteries (*Dr. S. Kulcsár—E. Kádár*) 141

Technologies

16. Solar Cells, Solar Power Sources and Photoelectric Sensors (*M. Pálffy—F. Böhönyey—G. Palotai*) 153
17. Combined Plasma-inductance Steel Melting (*O. Bóday*) 167
18. Potentials of Processing Industrial Wastes by Plasma Technology (*O. Bóday—Dr. F. Krajcsovics—F. Pócsy*) 173

19. Sinterising by Explosion of Ni-containing Ag Contact Materials (*A. Szalay—J. Puskás*) 182
20. Improvement of Plastic Injection-moulding Technologies with Program-controlled Machinery (*J. Talpai—Dr. L. Bardócz—Mrs. Dr. G. Fazekas—Mrs. Dr. A. Kelemen (MŰKI)—Dr. T. Szabados (KONTAKTA)*) 190

Switchgears

21. Precious-metal Saving Contact Systems of Low-voltage Contactors and Switches (*Dr. I. Néveri—A. Pilinyi—Dr. T. Polgár*) 204
22. Vacuum Contactor for 12 kV (*Dr. T. Polgár—F. Szauder*) 216
23. Analysis of Switching Characteristics of Current Limiting Miniature Circuit-Breakers at Short-Circuit-Current Interruption (*I. Csányi—S. Köhalmi*) 226
24. Metal Oxide Varistors in the Surge Protection (*Mrs. K. Gyimóthy—M. Cséfalvay*) 234

Insulation technique

25. Trends in the Application and Contemporary Production Technology of Outdoor Plastic Insulators (*A. Bognár—P. Szaplanczay—Dr. G. Frojimovics—Mrs. I. Tisler*) 250
26. Insulation Diagnostics of Power Transformers by the Computer Analysis of Desorption Current Curves (*J. Schmidt—S. Csömöre—Z. Nagy (MVMT)*) 262

Tests and Testing Apparatus

27. Microcomputer-controlled System for Measuring Blood Pressure of Rats (*L. Biró—B. Danitz (Institute for Drug Research)—P. F. Glofák*) 272
28. Microprocessor Based Equipment for Processing Action Potential and Mechanogram Signals (*I. Bokor—P. F. Glofák*) 280
29. Measuring Technics of Switchgear (*Dr. K. Csáthy*) 288
30. Low Power Multiplexer for Resistance Temperature Sensing Elements (*S. Dina—A. Ribényi—I. Sztrókay*) 298
31. Up-to-date Methods of Life Testing of Asynchronous Electric Motors Below 1000 V (*Á. Horváth*) 306
32. Testing of Insulating Materials for Long-Term Dielectric Strength by Measuring the Treeing Inception Time (*A. Bognár—P. Dávid—F. Tamás—E. Zelenyánszky*) .. 316
33. Thermo-Analytical Methods Applied in the Qualitative and Quantitative Analyses of Lead Compounds Contained in the Positive Active Materials of Lead-acid Storage Batteries (*E. Kánya—J. Kisdaróczi*) 328
34. Automatic and Manual Epstein Apparatus (*F. Tar*) 342
35. Computer Testing of Discrete PID Algorithms by the Simulation of the Control Loop (*Z. Pápay—S. Köhalmi*) 350

