



**A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
FOLYÓIRATA**

**XXXVI. évfolyam
B U D A P E S T**

1985

12

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET FOLYÓIRATA

XXXVI. évfolyam 1985. 12. szám

BHG ORION TERTA

MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

XXXI. évfolyam 1985. 12. szám

MEV REMIX TKI

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

III. évfolyam 1985. 12. szám

Felelős szerkesztő:

DR. TÓFALVI GYULA

Szerkeszti a szerkesztőbizottság

A szerkesztőbizottság elnöke:
HORVÁTH IMRE

Szerkesztők:

ANGYAL LÁSZLÓ

MÉREY IMRÉNÉ

SZÖLLŐSI GYÖRGYNÉ

*

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG

HTE

Rovatvezető: Mérey Imréné

Dr. Flesch István

Forintos György

Gál Ferenc

BHG

Rovatvezető: Angyal László

Tudományos szerkesztő: dr. Frajka Béla

Bernhardt Richard, dr. Eisler Péter,

dr. Gosztony Géza, dr. Kerpán István, Klug

Miklós, Laczkó Endre, Sztaiacs Ákos

MEV

Rovatvezető: Kászonyi László

Tudományos szerkesztő: dr. Kormány Teréz,

Balogh Albert, Csornai László, Czermann

Mihály, Hidas György, Huszka Zoltán,

dr. Ligeti Róbertné, dr. Mátray Géza,

dr. Motál György, Schödl Ervin

ORION

Rovatvezető: Jakubik Béla

Tudományos szerkesztő: dr. Frigyes István,

Csernoch János, Froemel Károly, Szabó Károly,

Szász Gerő

REMIX

Rovatvezető: Rippel Géza

Tudományos szerkesztő: dr. Kormány Teréz,

Bodnár László, Kovács Gyula, Mészáros Sándor,

Molnár László

TKI

Rovatvezető: dr. Baranyi András

Tudományos szerkesztő: dr. Lajtha György,

dr. Henk Tamás, dr. Kása István, Megyesi Csaba,

dr. Sárkány Tamás, dr. Simonyi Ernő

TERTA

Rovatvezető: Bánsághi Pál

Tudományos szerkesztő: dr. Gordos Géza, Baján

Tibor, Benedek Elek, Kovács Oszkár, Hutter

Mihály

*

Szerkesztőségi ügyekben

és kéziratokkal kapcsolatban

felvilágosítást ad: Szöllősi Györgyné,

telefon: 495-098

ROVATOK

Egyesületi élet

Rendszertechnika

Kapcsolástechnika

Vezetékes technika

Fénytávközlés

Vezeték nélküli technika

Adástechnika

Vételtechnika

Mikroelektronika

Alkatrésztechnika

Hálózatelmélet

Elektromágneses problémák

ROVATGAZDÁK

HTE (H)

TKI (□)

BHG (#)

TERTA (↔)

ORION (*)

MEV ()

REMIX (Δ)

ROVATTÁRSÁK

BEAG

BME

BRG

EMO

El. Szöv.

FMV

GAMMA

HTSZ

HAGY

HTV

KONTAKTA

KŐPORC

KFKI

M. Posta

ML

MM

MFKI

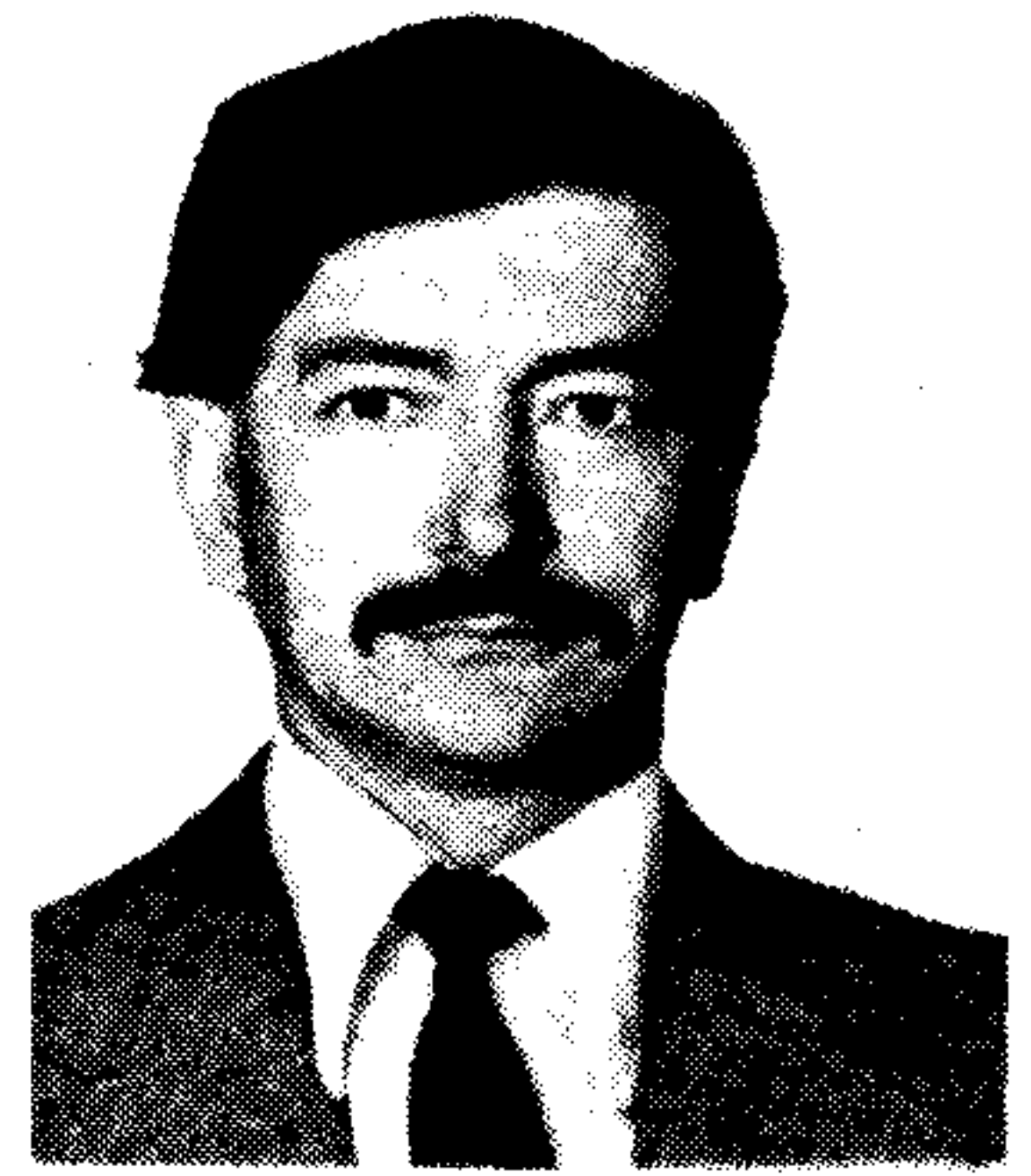
TUNGSRAM

TARTALOM

DR. FERENCZ CSABA: Az űrtevékenység helyzete és trendje	529
Szemle	543, 569
DR. GYULAI JÓZSEF: Rétegstruktúrák vizsgálata és a VLSI	544
Beszámoló: 8. Nemzetközi konferencia a fizikai rendszerek zajáról,	
4. Nemzetközi konferencia az l/f zajról (Dr. Ambrózy András)	547
ÁGOSTHÁZI MARGIT—DR. GOSZTONY GÉZA—SCHULLER	
J. ATTILA—SZENTIRMAI FERENCNÉ: A DIPEX tároltprog-	
ram vezérlésű digitális alközpontok forgalmi vizsgálata	548
DR. KÁSA ISTVÁN: YIG-hangolású mikrohullámú oszcillátorok ter-	
vezési problémái	554
LADVÁNSZKY JÁNOS: Mikrohullámú áramkörök reflexiós mátrixá-	
nak pontos mérése hálózatanalizátorral	561
CSAPÓ ZOLTÁNNÉ: Öntőgyanták a híradásiparban	566
REMIX: P7022 miniatűr cermet beállító potenciométer	570
MEV: Mikroelektronikai alkatrészek	572
Tartalmi összefoglalások	575

Az űrtevékenység helyzete és trendje*

DR. FERENCZ CSABA
MTA (ELTE Geofizikai Tanszék)



ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány a világban folyó űrtevékenység pillanatnyi helyzetét és a következő években várható változásait, fejlődési trendjeit méri fel a békés célú űrkutatásra koncentrálva. Az űrtevékenységet már a jelenben és a közeli jövőben a világgazdaság egyik lényeges tényezőjének minősíti.

„Indul a küszöbről az út,
Ha nem sietek, elszelel.”
(Tolkien)

„Nem könnyű országból
kitörni.”
(Madách)

Az előző helyzetkép egy évtizede készült (1976-ban — megjelent: Híradástechnika, XXVIII, 129—136, 1977). Tanulságos, hogyha az új helyzetkép készítésekor erre is visszatekintünk. Akkor még tendencia volt, hogy az űrkutatás a földi civilizációt egyre mélyebben átfogó és átformáló, *lényeges* emberi tevékenység, amelynek a civilizációba beépülése komplex, sokoldalú és kiküszöbölhetetlen, s melynek elmellőzése az életképes technológiáktól való elszakadást eredményezi. Ma már ez nyilvánvaló állapot. Az elmúlt évtizedben egyrészt kibontakozott a „Földre zárt” társadalom több súlyos problémája (sivatagosodás, éhínség, erdőpusztulás és pusztítás, ivóvízhiány stb.), és sok szempontból érzékelhetők az emberiség létét veszélyeztető tényezők. Másrészt kibontakoztak az űrtechnika-űrtechnológia ipart és teljes gazdaságot átformáló területei, amelyek — ha elegendő idő áll a rendelkezésre a lehetőségek békés kiaknázására — talán lehetővé teszik civilizációnk erengia- és nyersanyagbázisának alapvető kiterjesztését a világűr Földhöz közeli részeinek a birtokbavételével és lehetőségei kiaknázásával, az ember és a bioszféra érdemben elválaszthatatlan egysége létezési területének kibővítését, a „Földre zártság” feloldását. Ennek megfelelően az űrkutatásban a „hősi korszak” végleg elmúlt. Előtérbe került az egyes, kutatói kísérletek helyett a professzionális gyakorlat. A kezdeti „kutatási kíváncsiszkodást” felváltotta a műholdas technika, a rutinszerű űrrepülés, a Földre és a földi problémákra orientáltság, a gazdaságossági elemzés, a nyereségre törekvés és a piaci szempontok figyelembevétele, azaz a világűr tényleges birtokbavétele (pillanatnyilag a Föld-közeli térrészé) a kutató expedíciók nyomában — mint az eddig mindig történt. Csak gyorsabban! De a problémák talán még gyorsabban növekednek, amelyeket az

DR. FERENCZ CSABA

1941. X. 23-án Csíksomlyón született. Középiskolai tanulmányait Békésen végezte, majd 1964-ben a Budapesti Műszaki Egyetemen híradástechnikus villamosmérnök-ként kitüntetéses oklevelet szerzett. 1968-ban „Sub auspiciis rei publicae popularis” kitüntetéssel egyetemi doktorrá avatták. 1972-től a műsza-

ki tudományok kandidátusa, majd 1981-től a műszaki tudományok doktora. 1961 óta foglalkozik űrkutatással folyamatosan, mérnöki, kutatói és tudományos-szervezői tevékenysége döntően e területre esik. Az űrkutatásban végzett munkájáért 1980-ban az Elnöki Tanács a Munka Érdemrend arany fokozatával tüntette ki.

új tudás, technika és terület birtokbavételével kellene megoldani.

A jelen felmérés készítésekor a szakirodalom már annyira kiterjedt, hogy egyszerűbbnek tűnt hivatkozások helyett egy-egy terület egységes helyzetképének megadása — természetesen az összeállító „szemüvegén át” nézve.

1. A kutatásról

A kutatási tevékenység technikája már a hetvenes évek közepére kialakult. Azóta e téren „forradalmi változás” nem történt, de a műholdas és űreszközös (űrhajó-űrrepülőgép, űrállomás, bolygóközi szonda stb.) technológia finomítása és kihasználása a kutatásban igen komoly előrelépést jelentett és jelent a közeljövőben is.

A jelenlegi kutatási alaptevékenység a Naprendszer megismerése, tulajdonságainak feltárása, létrejöttének és működésének megértése. Az elmúlt időszakban részletesebben vagy csak tájékozódó jelleggel (egyszeri mérés) a Földön és környezetén kívül megvizsgáltuk (mármint az emberiség) a Holdat, a Napot, a bolygóközi teret a Naphoz közelebbi és távolabbi területeken, a Merkurt, a Vénuszt, a Marsot, a kisbolygóövezetet a kisbolygók megközelítése nélkül, a Jupitert és holdjait, a Szaturnuszt és holdjait. Rövidesen eléri az egyik űrszonda (Voyager—2) az Uránuszt, majd onnan a tervek szerint továbbrepül a Neptunuszhoz, amelyet még az évezred vége előtt elér. Ugyanakkor más űrszondák közelednek a Naprendszer határához, amelyet a Nap és a Galaktika mágneses terének találkozási zónájaként definiálunk, mint a magnetopauzát a földi légkör határáként. Így egyre nagyobb áttekintésünk van a Naprendszer bolygói és holdjai állapotáról, eltérő és közös jegyeikről. Ez utóbbiak különösen fontosak a Föld állapota megítéléséhez. A Naprendszer megértése során sokat várunk jelenleg a már folyamatban levő üstököskutatási programoktól és a tervezett közvetlen kisbolygóvizsgálatoktól. A Nap és a Föld-közeli bolygóközi tér állapotának és tevékenységének a figyelése szinte szolgálatsszerűvé vált, ami

* A cikk a Magyar Tudományos Akadémia Távközlési Rendszerek Bizottsága által megvitatott tudományos helyzetkép alapján készült.

különösen fontos, miután már nyilvánvaló életünk soktényező kapcsolódása a Nap és a bolygók közötti tér állapotához.

Egészen új kép kezd kibontakozni, részben az űrkutatás eredményei alapján a földi életről, a teljes földi bioszféra működéséről. Ennek első megfogalmazása volt az ún. „GAIA-hipotézis”, amely a teljes földi élő rendszert egyetlen globális, szabályozott entitásként kezeli, amely a bolygón a létezése szempontjából optimális feltételeket tart fenn. A hipotézis a bolygókutatási, légkörkutató, exobiológiai és földi biológiai stb. eredményekre támaszkodva született meg. Teljesen eltér a hagyományos nézetektől. Ezért nemzetközi, interdiszciplináris Föld-tudományi programot kezdeményeztek, hogy előre lehessen lépni a Nap-Föld rendszer fizikai, kémiai és biológiai működésének feltárásában és „a bioszférában az élet eredete és túlélése misztériumának” megértésében (COSPAR Inf. Bull., No. 99, 28. o., 1984). Ez a „Nemzetközi Geoszféra-Bioszféra” program, amely kialakulóban van. Az mindenesetre bizonyos, hogy a már eddig megszerzett ismeretek sem értelmezhetők a régi keretek között és a kibontakozó új kép világképünket alapvetően érinti. (Az új elemeket természetesen mindenkinek be kell építeni világnézetébe is). Bizonyos, hogy a „természet leigázása” helyett egészen új stratégiát kell kialakítanunk, amelyben a harmóniára törekvés, a többi élőnek — mint nélkülözhetetlen partnernek — a szeretete alapvető. Ezt nekünk mérnököknek is mielőbb meg kell érteni. A befutó új eredmények e téren különösen fontosak. E kutatási területhez sorolható, de végeredményben független terület az ember és általában az élőlények (növények, állatok) űrbeli tartózkodásának biztosítása, az űrbeli életfeltételek tisztázása, a minimálisan szükséges mikrobioszféra (űrállomás stb. szerkezete, biológiai rendszere, gravitációpótlás módja stb.) kialakítása, szerkezetének tisztázása, azaz az űrrepülésekhez kapcsolódó orvos-biológiai tevékenység.

Megkezdődött és gyorsan fejlődik a távolabbi kozmikus környezetünk megismerése, azaz egyre több és jobb specifikációjú csillagászati célú műhold pályára állítása. A földi légkör korlátozó hatásának eltűnése lehetővé tette az észlelési frekvenciasáv kiterjesztését mind a hő-infra, mind az UV és röntgen tartományokra. Ez egyfelől e sávok egyfajta birtokbavételét jelentette (leképezés, rádiometria), másfelől azonnal egészen új ismereteket is szolgáltatott (születő bolygórendszer felfedezése stb.). A közeli jövőben nagyméretű teleszkópok kezdenek üzemelni műholdpályán (különböző frekvenciasávokban), ami a legkifinomultabb, új felfedezésekkel kecsegtető csillagászati tevékenység világűrbe áttelepülését jelenti.

2. A gazdaságba integrálódó űrtevékenység

Minőségi változás kezdődött és zajlik pillanatnyilag is az űrtevékenységen belül. Ez azonban, mint várható is volt, nem a szorosabban vett (és érintőlegesen már áttekintett) kutatás szervezetét-szerkezetét érinti, hanem a űrtevékenység összes többi részét, amelyről már korábban is lehetett tudni, hogy gazdaságilag hasznosítható és a továbbiakban a civilizációnak ugyanolyan szerves része lesz, mint a hagyományos ipar, mezőgazdaság, közlekedés, postaszolgálat stb.

A 3. Ipari Forradalom teljes erővel kibontakozott. Egyre világosabban látszik, hogy a jövőben a valamilyenfajta űrbeli *autonómiával* nem rendelkező államok csak másodrendű és monoton romló-visszaszoruló minőségű szerepet játszhatnak minden téren! Az autonómia lehet teljes körű (például: Szovjetunió, USA, Franciaország, Japán, Kína), vagy korlátozott, de érdemi (például: ESA-tagországok India, Brazília, Argentína). Lényeges, hogy a hordozóeszközök, a programok, a teljes felhasználás (adatforgalom, vezérlés, startidőkitűzés, startlehetőség, szakemberek űrbe indítása stb.) érdemben közvetlenül hozzáférhető legyen, hiszen már nem kutatásról van szó — az csak egy (szűk) részterület —, hanem komplex ipari-gazdasági tevékenységről. — Ezért a jövőben szerencsésebb lesz, ha űrkutatás helyett magyar nyelven is *űrtevékenységről* beszélünk, amelynek van kutatás-fejlesztési része is és amelyhez kapcsolódva, szállítóeszközöket (űrrepülőgépek, űrhajók, űrállomások, bolygóközi és kutató rakéták) felhasználva folytatódik a világűr közelebbi és távolabbi térségeinek a kutatása.

A kvantitatív előrejelzések az űrtevékenység várható alakulásáról ugyan sok szempontból bizonytalanok, de tájékozódásra azért megfelelőek. Jelenleg (1985 elején) a közhasznú (vagy kommersziális) űrtevékenységben világszerte összesen több mint 2000 cég vesz részt. 1995—2000-re az űrpiac globálisan kb. 20 millió munkahelyet biztosít és a teljes forgalom meghaladja az 500 milliárd \$-t évente. (A pénzegység US dollár és 1 milliárd \$ = 10^9 \$.)

Az egyik vezető „űrkutató” államban, az Egyesült Államokban a 90-es évekre várható űrtevékenységet 1984 elején még 10 milliárd \$/év-re becsülték, de 1985 elején már 50 milliárd \$/év-re. Ennek területenkénti megoszlása is figyelemre méltó:

teljes űrhírközlés	~ 15 – 20 milliárd \$/év,
gyógyszeripar	~ 20 milliárd \$/év,
egyéb anyaggyártás	≥ 5 milliárd \$/év,
távérzékelés	~ 2 milliárd \$/év,
műholdszervíz (pályán végezve)	~ 1 – 2 milliárd \$/év,
startok	~ 1 milliárd \$/év,
űr-hardware	0,5 – 1 milliárd \$/év stb.

Ezek az összegek — ismét hangsúlyozandó — nem költségvetési tételek, hanem nyereséges ipari-gazdasági tevékenység várható forgalmi adatai.

Az űrtevékenységet a századfordulóig terjedő időben még az jellemzi, hogy drága és technikailag sem kockázatmentes. Ez jelöli ki, alapvetően a kezdeti időben, az egyes olyan területeket, amelyek mégis nyereségesek lehetnek, mert más módon nem biztosítható és fizetőképes kereslettel rendelkező szolgáltatást nyújtanak, drága, de feltétlenül szükséges anyagokat használnak, amelyeknek a világűri gyártási költségeit az előnyeik kompenzálják stb. Bár az árak gyorsan csökkennek, még mindig magasak. Kezdetben (1960-ban) 1 kg tömeg Föld körüli pályára állítási költségei kb. 2 millió \$-ra rúgtak. Ez azonban csak durva átlag, mert tíz évvel később is még egy Hold-repülés költségei (Holdon történt leszállással együtt) a kutatási-fejlesztési arányos költséghányad nélkül (!) 0,5 milliárd \$-t tettek ki. 1985-ben a startköltségek a kezdeti érték ezredére (!) csökkentek, de még így is 1 kg tömeg Föld körüli pályára állítási költsége kb. 2000 \$.

Ez az érték várhatóan tovább csökken a feltehetően még e században kifejlesztendő második generációs űrrepülőgépek és új technológiájú hordozó rakéták üzembe állításával. Az nyilvánvaló, hogy a „hősi-korszak” alapvetően *egyutas* technikájával szemben a *ciklikus felhasználás* a perspektivikus minden téren a szállító eszközöktől az űrobjektumokig. (Ez alól csak a világűr kutatásának egyes feladataihoz idomított eszközök kivételek, például amelyek elhagyják a Naprendszer, leszállnak egy-egy bolygón, vagy egyéb speciális feladatot hajtanak végre.) A ciklikus felhasználás magába foglalja mind az ismételt felhasználhatóságot, mind a pályán történő szervizelést, mind a szolgálati idő letelte után, illetve hiba esetén történő visszaállítást, javítást-felújítást és ismételt szolgálatba állítást.

Az űripar-űrtevékenység lehetőségeit, a tevékenységek jellegét a világűr tulajdonságai szabják meg, amelyeket itt is érdemes áttekinteni. Ezek:

- súlytalan környezet, amelynek következtében a Földön a súlyerőnél jóval kisebb erők (felületi feszültség, elektrosztatikus vonzás-taszítás stb.) tisztán érvényesülnek és felhasználhatók;

- a rendkívül tiszta és ellenőrizhető sugárzási környezet, széles tartományban változtatható hőmérséklet és energiasűrűség, a Nap sugárzásával is elérhető nagy meleg és az árnyékban tartással elérhető nagy hideg;

- folyamatosan rendelkezésre áll a napsugárzás, mint hő és villamos energia forrása (ez utóbbi például napelemes átalakítás után), valamint a részecske-sugárzás is;

- hang és egyéb rezgés mentes környezet, amelyben csak a saját eszközök rezgésével (gépi tevékenység, mechanikai stb. feszültségek, ...) kell kalkulálni;

- űrbeli tehetetlenségi pályák, amelyek lehetnek időben nagyon stabilak, illetve előírt Föld (általában bolygó) láthatóságot biztosítóak, ahol vagy a felszínnek, vagy az űreszköznek kell adott módon látszani;

- a rendelkezésre álló hely a földi viszonyokhoz képest igen nagy, habár nem „végtelen”, amire éppen a geostacionárius pálya zsúfoltsága a legjobb példa.

A pillanatnyilag meglevő, illetve kialakuló legfontosabb űrtevékenységi területek — már a várható forgalom felsorolásnál szerepeltek — az alábbi három fő csoportba sorolhatók:

- hírközlő és egyéb szolgáltató (távérzékelő, navigációs stb.) műholdak,

- $g \approx 0$ gyártás: gyógyszerek, egyéb vegyületek, ötvözetek, egykristályok stb.,

- állami és magán űrszállító eszközök és a gyártó-üzemeltető vállalatok, szervizszolgáltatás, forgalom-biztosítás stb.

Azonban e területek helyzetének kritikus elemzése szerint pillanatnyilag csak a műholdas hírközlési ipar virágzik, de ezt 40 éve előre lehetett látni (lásd. A. C. Clarke 1945-ös geostacionárius pályán levő műholdakkal történő távközlésre vonatkozó szabadalmát). A többi területen az állami kutatóprogramokon túl az óvatos próbálkozás és várakozás időszakát éljük, illetve néhány területen éppen zajlik az áttörés vagy legalábbis pilot-programokat futtatnak.

Az űrszállítás és űrbéli közlekedés minőségi változását vonja maga után a növekvő forgalom, s az, hogy az űrtevékenységbe autonóm módon egyre több

ország, illetve cég kapcsolódik be. Így egyre több állami felügyelet alatt álló intézmény tevékenykedik önállóan — például: a Szovjetunió Állami Űrkutatási Bizottsága, SZUTA Interkozmosz Tanács, USA-NASA, ESA (Nyugat-Európa), aztán Kína, Japán, Franciaország, Anglia, NSZK, Olaszország, India, Indonézia, Brazília, Argentína, Svédország, ... nemzetközi szervezetei. De megjelentek az űrszállításban, startszolgáltatásban, űreszközyártásban stb. önállóan működni kezdő magánvállalkozások, a magán-rakétaépítő cégek. Ilyenek az Ortrag, a McDonnell-Douglas Astronautics Co., az Astrotech Int. Co., az Orbital Science Co., a Transpace Carriers Inc. stb. Ezek közül némelyik nagyon komoly technológiai és gazdasági súlyú, míg mások önálló, az eddigi állami közvetlen felügyelettől független rakétafelbocsátókká válnak. Így a Delta rakéták startját a Transpace Carriers Inc. veszi át; az űrrepülőgéppel kompatibilis továbbszállító rakétafokozatot (transfer orbit stage), amely az űrrepülőgéppel felvitt terhet más pályára tovább viszi majd, az Orbital Science Co. fejleszti és a tervek szerint üzemelteti is. De a NASA meglevő 4 db űrrepülőgépe mellett az Astrotech Int. Co. egy űrrepülőgép megvásárlását és üzemeltetését fontolgatja ... Ezért az űr-forgalom biztosan sűrűbb és szerkezetileg is összetettebb lesz. A *káosz* megelőzésére elkerülhetetlen, hogy a nemzeti űrkutatási szervezetek (például a NASA) a teljes nemzeti űrtevékenység forgalom ellenőrzési és irányítási funkcióját alakítsa ki a légiközlekedésben szokásossal analóg módon. Ugyanakkor hasonló módon létre kell hozni az egész űrközlekedés és űrforgalom nemzetközi szabályozását.

Mindenesetre a változások megkezdődtek, a régi, megszokott állapotok múltóban és bizonyosan újak alakulnak ki.

3. Az űrhírközlés

A kozmikus hírközlés az 1958 óta (Score műhold) eltelt húsz évben túljutott az alapvető műholdas technológia kifejlesztésén és használatba vételén. 1978-ban kizárólag távközlési célból már 18 db műholdat bocsátottak fel, és ezek nagy része szolgálati feladatokat látott el, illetve lát el, csak néhány szolgált fejlesztési célt. A ma (1985) folyó űrhírközlési kutatás valójában olyan fejlesztés, amely a meglevő és születő igények kielégítését célozza, mint a hírközlési ipar bármely más (hagyományos) területén. Az űrhírközlés nyereséges üzletté vált! Dominánsan alapkutatás a $\geq (50 \sim 100 \text{ GHz})$ tartományok birtokbavételéért folyik. De itt sem az űrtechnika, a műholdas technika a kérdéses, hanem a frekvenciák mérnöki birtokbavételének a felhasználás színhelyétől független alapproblémái. Az űrhírközlésben megoldottnak tekinthető a kozmikus technológia (műholdak kialakítása, feljuttatása, föld-műhold kapcsolattartás stb.). Megjegyzendő, hogy az 1960/70-es előrejelzések mind az űrhírközlés szerepét, mind a költségeit illetően általában hibásak voltak. Az űrhírközlés szerepét alábecsülték, globális és populáris elterjedését ugyancsak, míg a költségeit túlbecsülték, gazdaságosságát csak néhány speciális esetben ismerték fel. Ezt azért kell hangsúlyozni, mert a jelenlegi és a közeljövőben várható helyzet globális és helyi hírközlési minőségváltást jelent nemcsak régi és pillanatnyi elképzeléseinkhez ké-

pest, hanem a rutinszerűvé vált valódi állapothoz képest is. Ez hazánk amúgy is rossz hírközlési helyzetét, ha nem kapcsolódunk be a változásokba, még tovább ronthatja.

A változás röviden talán a „totális hírközlés” kialakulásaként jelölhető meg. Ez azt jelenti, hogy az űrhírközlés technikai bázisára támaszkodva az egyébként is robbanásszerűen fejlődő hírközlés mindenféle emberi tevékenység területére kiterjed és azt (így az egyéni és a gazdasági életet is) érdemben befolyásolja. Az űrhírközlés minőségi változásának is, mint annyi másnak, a technikai háttere az elektronizálódás, amelyet az űrkutatás indított el még a kezdet kezdetén, s ma már azzal szervesen összefonódva igen gyorsan fejlődik, hamar túlhaladva minden technológiai jellegű futurológiai előrejelzést.

1. táblázat

Az űrhírközlésben használatos frekvenciasávok

Szokásos jelölés	Frekvenciataromány
UHF vagy P	(100 MHz) 300 MHz — 1 GHz
L	1—2 GHz
S	2—4 GHz
C	4—8 GHz
X	8—12,5 GHz
Ku	12,5—18 GHz
K	18—26,5 GHz
Ka	26,5—40 GHz
V (közepe)	kb. 50 GHz

Megjegyzés:

A $\geq$ V tartományokban (beleértve az infravörös, az optikai fény stb. frekvenciákat) kutatás, hírközlési használatba vételi kísérletek és egyes speciális feladatok megoldása folyik (csak) jelenleg.

3.1. Műholdas hírközlés

A globális műholdas távközlési szolgálat már hosszabb ideje megoldott, technikailag egyre jobb minőségű, szinkron pályán elhelyezkedő műholdas átjátszó állomások segítségével. Működési sávjuk általában a C-sáv (és S-sáv), a 6/4 GHz. — (Megjegyzések: 1. A sávokat általában a szokásos betűjelzéssel adjuk meg. Ezt a sávjelölést az 1. táblázat tartalmazza. A jelölésben — pl. C/S sáv — az első frekvencia a föld-műhold, a második frekvencia a műhold-föld irányt jelzi. 2. A cikkben nem ragaszkodtunk a postai, jogi megnevezésbeli kategóriákhoz, hanem szabadabb, *műszaki orientáltságú* megnevezéseket alkalmaztunk. Így a hírközlés ez esetben értelemszerűen rádiós hírvitelt — hazai postai nomenklatúránkban „távközlést” — jelent. Távközlésnek itt a nagytávolságú, alapvetően pont-pont orientált műholdas információátvitelt nevezzük. Hasonló módon műsorszórásnak nevezzük a tv- (és rádió-) műsorok nézők (és hallgatók) felé történő szétsugárzását, míg a többit, pl. műsorcsere, a távközléshez soroltuk. Ezért a műsorszórásnál tárgyaljuk e műszaki okok miatt nemcsak az egyéni állomásokkal is vehető és venni engedélyezett nagy teljesítményű műholdas műsorszórást, hanem a jogilag és pénzügyileg a távközlési kategóriába tartozó, a megfelelő szolgáltatási díjat megfizető közösségi vevőkkel levehető, kisebb teljesítményű műholdas műsorelosztást is. Ez utóbbit az egyéni vevőkkel nem lehet és nem is szabad venni, ahogyan a

földi mikroláncokba sem szabad „loposzkóppal bele nézni vagy behallgatni” stb. — A postai szolgáltatási, jogi és szabályozási, bérleti-pénzügyi stb. kérdésekkel e cikkben nem foglalkozunk. — Két nagy nemzetközi műholdas űrtávközlési szervezet üzemelteti a közforgalmi rendszereket: az „Intelsat”, kiterjedt globális érdekeltséggel; és a jelenleg jóval kisebb taglétszámú „Interszputnyik”. Szerepük a nagytávolságú (pont-pont típusú), ezen belül a kontinensközi, valamint a nagyforgalmú területeken folyó távközlésben alapvető. Azonban a ma már hagyományosnak nevezhető műholdas távközlésen (nagytávolságú telefon, telex, stb. átvitel, tv és rádió műsorcsere, ...) kívüleső területeken lejátszódó gyors fejlődés e szolgáltatásokat is érinteni fogja — elsősorban a komplex hírközlési feladatokat ellátó űreszközök (geostacionárius pályára telepített komplex hírközlő állomások) megjelenésével. Pillanatnyilag ugyanis a $\geq 800 \sim 1000$ km távolságokra a műholdas hírközlés olcsóbb, mint a földi vonalak igénybevétele, s a hosszú terjedési útból (kb. 80 000 km) stb. adódó problémák a telefonbeszélgetések esetén is kielégítő minőséggel leküzdhetők. Annak ellenére kifizetődőbb, hogy a 6/4 GHz-es állomások „világon kívüli”, speciálisan kiválasztott helyeken telepített, nagyméretű ($\varnothing 10 \sim 30$ m) antennákkal üzemelnek. Azonban a 14/12 GHz-es állomások kisebbek és kevésbé érzékenyek a telephely (elektromágneses és természeti) körülményeire, míg a perspektivikus 30/20 GHz rendszerek állomásai egészen kicsinyek, akár mobilok, elbírják már a videofon szolgálatot is. Ezért 1990—2000 közöttre a forgalom zömének a Ka/K sávba áttevődését várják, s az ehhez kapcsolódó műszaki fejlesztés nagy erővel folyik.

A globális műholdas távközlési képet azonban több tényező is zavarja. Ezek röviden úgy foglalhatók össze, hogy a (belső és külső) változások minden téren *túl gyorsak*, s ezért a helyzet mind műszakilag, mind üzletileg *instabil*! Az új, külső tényezők között valódi konkurens jelent meg: az optikai (fényvezető szál) hírközlés. Az optikai kábelek esetében a futási idő és visszhang problémák automatikusan megszűnnek (a terjedési út max. 20 000 km, általában 1000—2000 km). Árban is konkurens. Az optikai kábelek már ma is megfelelő minőségűek, s az űrbeli optikai-szál-gyártás megindulása az optikai kábelek minőségét még javítani fogja. Ezért azzal számolnak, hogy a közeli jövőben a szokásos pont-pont telefon stb. szolgálat részben leépül a műholdakról, de ez érintheti még a transzocéáni tv-átvitelt is. (Az első transzatlanti, optikai kábelt 1988-ban helyezik üzembe.) Ezzel együtt komoly fejlődéssel számolnak a műholdas vonalakon is. A globális regionális hírközlésben 1980—81-ben 300~400 db átjátszó (transzponder) üzemelt. (Egy transzponder jellemzően 36 MHz széles sávot, 1200 telefoncsatornát visz át.) 1990-re 640~650 db-bal, 2000-re 1500~1600 db-bal kalkulálhatunk.

A jelenleg legkomolyabbnak tűnő belső zavaró tényező szervezeti jellegű. Ugyanis eddig a globális (természetesen műholdas) távközlést az Intelsat és részben az Interszputnyik bonyolította le, biztosítva a szükséges globális koordinációt is. Ez fontos, hiszen az Intelsat 1984-ben 109 tagállamot tömörített, s a globális koordináció a kevésbé fejlett tagországoknak számos előnyt jelentett. Például biztosították, hogy a

meglevő és műszakilag (de csak „erkölcsileg”) túl gyorsan elavuló, de még sokáig üzemképes földi állomások specifikációi szerinti, minden érdemi szolgáltatást biztosító csatornák álljanak a rendelkezésükre. Azonban a legutóbbi időkben *sok új magáncég*, illetve az Intelsattól (és az Interszputnyiktól) független nemzetközi műholdas hírközlést is biztosító cég jelent meg a piacon. A francia, japán stb. cégeken túl 5 egyesült államokbeli cég. Ez az Intelsat forgalomalakulásában is már érezteti hatását. Míg 1982-ben (az utolsó „zavartalan” évben) az Intelsat forgalomnövekedése 18% volt, 1983-ban és 1984-ben csak 10–10%, s ebből a transzatlanti forgalomnövekedés csak 7,3%. Eközben a teljes műholdas hírközlés robbanásszerűen bővült. A jövőben ezért a globális, nemzetközi hírforgalom lebonyolításában a két, régi szervezet (Intelsat, Interszputnyik) mellett új riválisok is bekapcsolódnak (International Relay, Inc., Comsat Corp., Telecom France, Eutelsat, egy-két japán cég, stb.). A helyzet dinamikusabb és kaotikusabb lesz.

A gyors fejlődést az igények növekedése és az elektronikai technológia lehetőségeinek bővülése együttesen eredményezi. A globális távközlés mellett igen nagy és gyors bővülő a *regionális hírközlés*, amely a leggyorsabban és legkifizetőbben műholdakkal vált megoldhatóvá. A számítógépek (a számítógépi hálózatok, a professzionális és személyi számítógépek) gyors terjedése egyre nagyobb adatforgalmat igényel. Az optikai hírközlés e téren Európában a ≥ 400 Mbps, az Egyesült Államokban a ≥ 1 Gbps adatsebességeket éri el. Ez gyorsítja a csatlakozó műholdas vonalak fejlesztését is. Az adott változási trendnek természetesen súlyos problémái és nyitott kérdései is vannak, hiszen például a személyi számítógépek nem kis része — egyes felmérések szerint a többsége — inaktív, egyszerű divat-vásárlás során került tulajdonosához, másrészt nélkülözhetetlenek. A számítógép-piac telítődése egyelőre fel nem mérhető változásokat hoz majd... Ezekkel és az egyéb analóg kérdésekkel itt nem foglalkozom. Foglalkozni kell azonban e fejlődés gazdasági vonzatával. Mérvadónak tekinthetjük az Egyesült Államok távközlési helyzetének alakulását. Tanulságos a fejlődés dinamikája. 1983 végén az USA távközlését 312 műholdas transzponder szolgálta ki csak 57,4% terheléssel, míg 1984 végén 498 átjátszó 58,4% terheléssel. De ha a 1984 végi forgalmat az 1983 végén meglevő csatornkapacitással akarták volna lebonyolítani, a terhelés 93,2% lett volna, azaz a távközlési rendszer telítetté vált volna és akadályozta volna a gazdaság fejlődését!

Figyelemre méltó a terület dinamikája és a műholdas távközlés részesedése a teljes hírközlési forgalomból. Az USA távközlését példaként használva: 1984-ben a forgalom 47,6 milliárd \$ és ebből műholdas forgalom 24 milliárd \$. Ez évben (1985) kb. 50–51 milliárd a várt teljes forgalom, s ebből 26–27 milliárd \$ műholdas. 1989-re kb. 76 milliárd \$ teljes forgalmat várnak, s ebből 39 milliárd \$ lenne műholdas. A műholdas távközlés igen fontossá vált, a gazdasági súlya nagy és várhatóan még nő. — Ipari-üzleti oldalról nézve a C-sávú műholdas üzlet telítődött, a következő üzleti csúcsot a Ku-sávban várják a legközelebbi jövőben, elsősorban a mai 20 W/csatorna teljesítmény 45 W/csatorna értékre növekedésével. Ez a Satcom K1 1984. novemberi startjával elkezdődött. (Egyéb

vonzatait a műsorszórás kapcsán tárgyaljuk.) Megkezdődött a 10 000 \$ $\leq$ 20 000 \$-os mikroterminálok telepítése, és nagy fellendülést várnak, mivel gazdaságosan alkalmazhatók a raktár stb. kapcsolatokban, a szállítás-rendelés és árajánlat menedzselésben, az élelmiszerszállítás irányításában, a bank- és biztosítási ügyletek terén, egyéb adatátvitelben, számítógépi hálózatokban, terepi expedíciók (olajkutatás stb.) folyamatos komplex kapcsolat biztosításában, helyfoglalásban, információelosztásban, azaz távvezérlés és távmonitorozásban, elektronikus levelezésben, titkosított információátvitelben stb. E szolgáltatások biztosítási lehetőségeinek az értékelése kapcsán „új irányként” felmerült a 60-as évek elején használt, de (a mai) fejlett technológiát alkalmazó *alacsonypályás* (nem geostacionárius pályát használó) hírközlő műholdak felbocsátásának a lehetősége. Lehetséges például, hogy csak a geológiai-ásványkincs kutatási expedíciók kiszolgálása esetén ez optimális és kifizetődő megoldás lenne, hiszen csak az USA kőolajkutatása kb. 50 000 terminált igénylő járművel dolgozik.

A másik fontos terület a *műholdas műsorszórás*, amely a dolog természetéből fakadóan a föld felé irányuló ágon (műsoridő stb. miatt) regionális jellegű, míg a műhold felé irányuló ágon a jelenleg már (különbéféle kísérleti jelleggel) üzemelő rendszereknél regionális, de nem hosszú távon globálissá bővül. (Ez a megjelölés földrajzi és nem tulajdonjogi stb. jellegű, mivel egyébként a műholdas szolgáltatások is a nemzeti szervek és szervezetek hatáskörébe tartoznak, azaz nemzeti jellegűek.) A műsorszórás célja a jó minőségű és sokféle igényt kielégítő, egyidejűleg sokféle műsor vételét lehetővé tevő tv-műsorbiztosítás. Hasonló szolgáltatást biztosít a kábel-tv. (Ennek műsorpolitikai konzekvenciáival nem foglalkozom.) A trendet jól mutatja a nyugat-európai felmérés, ahol kb. 120 millió otthon műsorellátását kell biztosítani. 1990–95 közöttre (10 év alatt) az otthonok kb. 25%-át fogja kiszolgálni a kábel-tv, a településszerkezetből is adódóan. Másik 25%-át el lehet látni a kisebb adóteljesítményű (műsorelosztás — azaz jogilag nem műsorszóró) műholdas csatornák vételével közösségi vevőkön és kábeles elosztórendszeren keresztül. Az otthonok maradék 50%-át a nagy teljesítményű műholdas műsorszórás kell ellássa műsorral, ahol egy egyéni vevő árát kb. egy színes tv-készülék 1984-es árával tervezik azonosra az évtized végére. A tervek szerint csak Európa „felett” 1988–90-ben 136 db kis és nagy teljesítményű műholdas tv-műsor átjátszó üzemel majd a műholdak fedélzetén, s 1990-ben ebből kb. 20 db nagy teljesítményű műsorszóró transzponder szolgálja már ki az igényeket. A fellendülést jól jellemzi, hogy az Egyesült Államok és a Szovjetunió mellett az úriparban-űrkutatásban kisebb volumenű tevékenységet folytató nyugat-európai űrkutatás a kommersziális tevékenység következtében az 1983-tól 1988-ig terjedő öt év alatt megduplázódik. Elkerülhetetlennek látszik az „össz-európai” műsorszórás kialakulása és a műholdas műsorszórás legalább Európában, esetleg globálisan közös szabványának a megvalósítása. Hazánk földrajzi helyzete következtében a Közép-Európát el látó különféle csatornák a Dunántúlt ellátott körzetnek megfelelő térről általában besugározzák, de egyes transzponderek (pl. ESA „Olympus” műhold egyik műsorelosztó csatornája) egész Magyarországot

is. Hazánk viszonyai megítélésénél figyelembe kell venni, hogy az Interszputnyik Szervezet is foglalkozik nagy teljesítményű műsorszóró műhold fejlesztésével, amelynek hazánk egyéni előfizetői ellátása is perspektivikus célja.

Nyugat-Európában a közösségi és egyéni vételt biztosító műsorszórás előkészítését az OTS technológiai holdakkal kezdték 1982-től jó eredménnyel. Ez azonban *nem úttörő* kísérlet, ugyanis 1984-ben már — elsősorban közösségi vevők részére — kísérleti műsor-sugárzásnál tartottak Észak-Amerikában (USA, Kanada), Indiában, Japánban. Észak-Amerikában az egyedi vevők számára is folyt kísérleti adás. Európában 1985—86-ra tervezik a közösségi vevők és az egyedi vevőkészülékek számára egyaránt sugárzó első műsorszóró műholdak üzembe állítását — a TV-Sat műhold a NSZK tulajdona, a TDF—1 Franciaorszá-gé. De még ebben az évtizedben műsorszóró műholdat bocsát fel csak Európában Anglia, a skandináv országok, az ESA, sőt az említett két holdon kívül továbbiakat az NSZK és Franciaország is.

Ez a fellendülés üzletnek is nagy, hiszen az ezredfordulóig kb. 200 „civil” műholddal számolnak 20 milliárd \$ értékben, és például csak 1984—85-ben egyetlen cég (Citicorp Industrial Credit, Inc.) 3 milliárd \$ forgalmat remél 1 millió db (!) átlagosan 3000 \$/db áru parabola antenna eladásából.

A világban általában hasonló az aktivitás: Brazília, Kína, India, Indonézia, arab államok stb. mind rendelkeznek vagy rövidesen rendelkezni fognak hírközlő műholdakkal, de az USA-nak, Kanadának, Japán-nak már sok műhold áll a rendelkezésére. A Szovjet-unió különféle hírközlési (ezen belül távközlési) igény kielégítésére a Molnyija—1, 2, a Raduga, az Ekran, stb. műholdakat üzemelteti. Az évtized vége felé (1987—1990) egyre több *komplex* szolgáltatást nyújtó műhold (inkább már kisebb űrhírközlő állomás) felbocsátását tervezik. A TELE—X Skandinávia műsor-ellátása mellett adatátvitelt is biztosít majd. Az Arab-sat (1985-től) 22 arab ország és szervezet pont-pont közti távközlési kapcsolatát is biztosítja a közösségi tv-vevőkkel vehető (kis teljesítményű) műsorelosztás mellett. Az évtized vége felé jellemző lesz, hogy egy-egy műhold tartalmazza a szokásos pont-pont összeköttetést biztosító 6/4 GHz távközlési átvitelt, a 12/14 GHz tv-műsorszóró átvitelt, ugyanebben a sávban (12/14 GHz) a professzionális szolgálati hírközlést, a kormányzati hírközlési csatornákat (például 7/8 GHz); a követés, a telemetria és parancsadás (TT & C) továbbra is az S-sávban (2 GHz) zajlik. Az 1990-re tervezett Big Communicator műhold sokféle szolgáltatást biztosít egyszerre az igen nagy sebességű (40 Mbps) és nagy teljesítményű szélessávú csatornáktól kezdve, a műholdas mentőszolgálatig. Az évtized végéig a hagyományos űrtávközlésen kívül (C-sáv) az X/Ku-sáv, illetve Ku/X-sáv intenzív használata bizonyos. A NASA koordinálásával azonban folyik a Ka-sáv kísérleti üzemi vizsgálata, amelyet 1990-re a komerciális forgalomra kívánnak igénybevenni. A Nippon (Japán) Ka/K-sávú műhold szolgálatba állítását tervezi 1988-ra. Más szóval az évtized végére az UHF-től (P-sáv) a Ka-sávig minden frekvenciatartományt használni fog a műholdas hírközlő szolgálat. Az egyedi vételt biztosító műholdas műsorszóró csatornák teljesítménye jellegzetesen 100—230 W/csatorna, de

ebből a nagyobb értéket tekintik általában mérvadó-nak. Például az 1987-re tervezett HS 394 műhold (Hughes, USA) a Ku-sávban (műhold-föld irány) 8 db műsorszóró csatornával rendelkezik majd, 230 W/csatorna teljesítménnyel, s nyalábolása lehetővé teszi, hogy vételére 2 láb ~ 0,6 m átmérőjű egyéni vevőantenna elegendő (kb. 30-szoros átmérő/hullámhossz viszony, 2 cm-en). Földi vételre a különféle műholdaknál (a frekvenciától, a csatornateljesítménytől és a vételi céltől függően) $\varnothing 3$ m-től $\varnothing 0,3$ m-ig terjedő antennákat ajánlanak, s még profi vevők árát is 10 000 US \$ alatt kívánják tartani a kellően nagy piac kialakulása érdekében.

Pillanatnyilag még nem a postaszolgálat (vagy analóg közhasznú szolgálat) részeként, de már üzemelnek az első *komplex* adatforgalmat biztosító űrbeli hírközpontok. Ezek egyik jellegzetes képviselője a TDRS—1, amelyik az űrrepülőgépek, illetve a Space-lab és a föld közötti adatforgalmat, általában műhold-műhold adatforgalmat (például Landsat műholdak és földi állomásaik kapcsolatát), szokásos távközlést, kisebb és nagyobb (48 Mbps) sebességű adatátvitelt biztosít. A TDRSS globális szolgálatként jelenleg épül ki. A már említett Big Communicator (1990) hasonlóan összetett szolgáltatást már „közhasznú” szolgálatban is biztosít. Jellegzetes fejlődési irány a földi műholdmegfigyelő állomáshálózatok fokozatos kiváltása az űrben telepített komplex hírközpontokkal. Az ACTS műholdon (Advanced Communications Technology Satellite) komplex telefonközpontot helyeznek műholdpályára a közeljövőben. Tíz éven belül várható, hogy a már említett növekvő adatátviteli igényeket komplex, műholdas hírközpontok elégítik ki, amelyek egymással széles sávú (esetleg a ≥ 50 GHz vagy optikai sávba eső) műhold-műhold csatornákkal állnak kapcsolatban nagyon megnövelve a hálózat rugalmasságát.

A nagy igényű, *speciális* hírközlés területén meg kell említeni az űrkutatás, űrszolgálat és űripar saját hírközlését, a katonai hírközlést és egyes polgári igények kielégítését is. Ez utóbbira jó példát nyújtanak a geológiai expedíciók, amelyek a terepi (szárazföldi vagy tengeri) mérések során real-time kapcsolatban vannak műholdon keresztül anyaintézetükkel, és így a mérést, feldolgozást és értékelést azonnal, a helyszínen el tudják végezni az intézet számítástechnikai apparátusát, adatbankját stb. használva.

E fejlődés előre vetíti a *totális* hírközlés kialakulását, amely a pont-pont közti távközléstől a globális személyhívásig és a vevő-stúdió kapcsolatot is biztosító kétoldalú (vagy aktív) tv-műsorokig terjed. Igen érdekes e fejlődés azért, mert a klasszikus idők rendszertervezési filozófiájának „fejreállítását” jelenti. Régebben azt mondtuk, hogy az űrben kisebb antennákat helyezhetünk el, kisebb adóteljesítménnyel és érzéketlenebb vevőkkel. A földön pedig nagy antennákat, nagy adóteljesítménnyel és érzékeny vevőkkel. E tervezési koncepció a 60-as évek technológiai korlátai miatt triviálisnak tűnt. (Lásd például a hazai Interszputnyik földi állomást is.) Az új igény (például globális és totális személyhívás) kielégítésének feltétele, hogy a földön kicsi, illetve cigarettadoboz méretű, vagy még kisebb, kis teljesítményű, érzéketlenebb vevőjű, kicsi, esetleg irányítatlan antennájú eszközöket használhassunk. Ezért az ezredforduló körülre (pél-

dául Omninet műhold) $\varnothing$ 50—60 m-es vagy nagyobb óriás antennájú (!), 15 kW primer-teljesítményű és igen érzékeny vevőrendszerrel felszerelt műholdakat terveznek. A generális és globális audio, video és adatátviteli szolgálatok kiépülésének a reális technológiai hátterét pedig az biztosítja, hogy a szükséges technológia a katonai hírközlésben érdemben rendelkezésre áll.

3.2. Hírközlés egyéb ürtevékenység kapcsán

Már az előzőekből érzékelhető, hogy egyre nehezebben szeparálható területről van szó. A hírközlés (távközlés, adatátvitel, TT & C stb.) eredetileg is minden emberi tevékenység része volt, ma is az, csak sokkal kiterjedtebben. Így az űrkutatás „hőskorának” hagyományos felosztásai lassan értelmetlenné válnak. Egyes területek azonban éppen az integrálódás közben növekvő súlyuk miatt feltétlenül említést érdemelnek.

Az *ürtevékenység és kutatás* kiszolgálása (TT & C), a kutatási adatok átvitele, azon belül a rendkívül nagy távolságú — pillanatnyilag a Naprendszer határáig megbízhatóan üzemelő — rádiókapcsolat a távközlés és adatátvitel folyamatos kutatását-fejlesztését biztosítja. Ez marad a mindenkori csúcsteljesítmények területe! Dominánsan az S-sávot használja légköri terjedési okokból, kisebb mértékben az UHF, L, X, ... sávokat is. A nagy űrállomásokra áttelepülő követőrendszerek létrejötte után várható az igen nagy frekvenciák használatára történő áttérés.

Egyre nagyobb súlyt kap a műholdas *navigáció* (alapvetően az UHF sávot, néha az L sávot használja), amelyet ma már a légi, tengeri és szárazföldi (akár városi) forgalom is használhat, illetve használ. Működése navigációs és egyéb irányítási információ továbbítását is igényli, illetve a műholdak a navigáció mellett kétoldalú jelzés- és célinformáció-átvitelt is biztosítanak máris, illetve a közeli jövőben. A szolgálat súlyát jól szemlélteti, hogy csak NAVSTAR holdból 1986—88-ban 21 db üzemel a tervek szerint. (Részletesen lásd a 4. pontot.) E szolgálatok összekombinálódnak a különféle célú — jelenleg legkiterjedtebben tengeri — mozgó hírközlési szolgálatokkal (INMARSAT holdak, STARSAT, SKYLINK, PROSAT, ...), amelyek már üzemelnek, illetve még 1990 előtt üzembe állnak. A *mobil* (telefon, telex, képtávíró, ...) kapcsolatot mozgó földi állomás esetén általában az UHF sávban (legtöbbször 800 MHz körül, de üzemelnek 240—400 MHz körül is), repülőgép esetén az L sávban, hajók esetén az L és C sávban, speciális szolgáltatást és a műhold-földi központ kapcsolatot a Ku sávban biztosítanak. De e műholdakra (pl. STARSAT) terveznek L-sávú rural szolgálatot, keskenysávú adatátvitelt, speciális (nem kompatibilis) mobil telefon, alfanumerikus üzenettovábbítást stb. is. (Csak a képtávíró adathálózatban — Ku-sáv — a közeli jövőben globálisan 50 000 földi „állomásra” — készülékre — számítanak.) A mobil szolgálatok között igen fontos a már több műholdat üzemeltető INMARSAT műholdas, tengeri forgalomirányító és mentő szolgálat. 1984 végén már 42 tagállammal rendelkezett, és elkészült, üzemelt 12 tengerparti (kikötői) nagy földi irányító és mentésszervező központi állomás (2 a Szovjetunióban, 2 az USA-ban, 2 Japánban, 1 Norvé-

giában, 1 Angliában, 1 Szingapúrban, 1 Franciaországban, 1 Kuvaitban és 1 Brazíliában). Két parti állomás (Bulgáriában és Argentínában 1—1) még hajóra települve működik a végleges állomás épülésének ideje alatt. Ugyanakkor több mint 3000 hajó van felszerelve Inmarsat rádiórendszerrel. A jól üzemelő rendszer szorosan együttműködik a COSPAS/SARSAT mentőrendszerrel és részt vesz annak fejlesztésében is.

Megszületett a mobil szolgálat egy speciális és kiemelkedően fontos változata — a globális műholdas *kereső és mentő szolgálat* (Search And Rescue SATellite = SARSAT, illetve szovjet változata COSPAS) — a SARSAT/COSPAS rendszer, amely már üzemel és bővül. A Szovjetunió és az USA-n kívül több más ország is bekapcsolódott, és nemcsak a globális érdeklődés nagy, hanem úgy tűnik, hogy elsősorban a szovjet műholdak sikeres működése következtében (az első SARSAT ugyanis meghibásodott), a jövőben a már említett mobil szolgálatot ellátó műholdakra is felkerül a rendszer, a speciálisan csak mentőszolgálatot ellátó holdakon kívül. A rendszer létrehozói a Szovjetunió és az USA mellett Kanada és Franciaország, de bekapcsolódott már sok más állam is és az INMARSAT tengeri forgalomirányító és mentő szervezet. Ez évtől (1985) a rendszer operatív, a kísérleti üzemet sikeresen lezártak tekintik. Az átvitel jelzés (vésszjelzés, lokalizációs adatok, egyszerű jelzésrendszerű üzenet), lassú (480 bps ~ 4 kbps). A rendszer nagyon kis teljesítményű (30 mW $\leq$ 1 W) és fedélzeti memóriát használ (1,5 kbit ~ 320 kbit). Jelenleg a 121,5 MHz (polgári légiforgalmi) és 243 MHz (katonai) frekvenciákon dolgozik szolgálatszerűen, s kísérleti jeleggel a 406 MHz-en. Tervezik egy L-sávba eső frekvencia felhasználását is. A jövőben a INMARSAT műholdjaira a 406 MHz és/vagy az L-sáv beépítése várható. Megítélésem szerint a következő években a sikeres operatív szolgálat megindulása után a SARSAT/COSPAS globális riasztó és mentő rendszer nagyon gyorsan elterjed.

Kiemelt gazdasági jelentősége miatt emlitem meg itt is külön a *földi környezet műholdas megfigyelését* (meteorológia; természeti erőforrás-kutatás; globális, regionális és helyi gazdaságirányítási és veszélyjelzési monitorozás; katonai felderítés; stb.). E szolgálatoknak kétféle hírközlési vonatkozása van.

— Egyrészt igen nagy tömegű adatot kell nagy sebességgel eljuttatni a földi központokba, részben közvetlen megfigyelő ~ műhold ~ földi-központ csatornán át, részben műhold ~ műhold kapcsolatok révén. E jellemzően néhány Mbps, néhányszor tíz Mbps adatforgalom általában az L, S, C és X sávokban bonyolódik jelenleg és a következő néhány évben.

— Másrészt a földfelszínen (szárazföldön, vízen vagy sodródó léggömbön) elhelyezett mérő-adatgyűjtő (automata) állomások adatait műholdak gyűjtik össze és továbbítják földi központokba. Az adatösszegyűjtés (és esetleg mérőállomás lokalizáció), azaz a föld—műhold kapcsolat az UHF sávban üzemel (jelenleg), míg a műhold—földi központ csatorna legtöbbször az S-sávba esik. Jellemző, hogy csak a Meteosat (1990-ig) globális adatgyűjtésnél 16 000 mérő-adatgyűjtőt tud kezelni, illetve adatgyűjtő és lokalizáló üzemmódban 4000-et. Ez a szolgáltatás is terjed. A Landsat, Nimbus, Meteosat stb. holdakon túl pl. Brazília 1989—90-ben saját műholddal 500 mérő-

állomás adatait kívánja begyűjteni, s az Interkozmosz is elvégezte egy ilyen rendszer létesítésének kifejlesztését és kísérleti-üzemi próbáit. (E fejlesztésben hazánk is részt vett.)

A hírközlés terén — a rend kedvéért — meg kell említeni az *amatőr rádiózást* is. Szemben a rövidhullámú időkkel, jelenleg az amatőr műholdaknak nincs technikai-technológiai úttörő jellegük, nagyon színvonalas hobbinak tekinthetők. (Ez nem jelenti azt, hogy teljességgel kizárt lenne valamilyen jó ötletnek az amatőr műholdas hírközlés terén történő felbukkanása, de ezt nagyon esetlegesnek ítélem.)

3.3. Egyebek

A fenti kép jobb megítélhetőségéhez szükséges néhány dolgot még felemlíteni. Rohamosan fejlődik az említett műholdas rendszerek IC-technológiája és közben csökkennek az árak. A műholdak garantált élettartama több év (pl. Arabsat 3 év, HS 394 10 év). Megoldott a műholdak napelemes energiaellátása.

A hosszú élettartam, a nagy globális információforgalom és a geostacionárius pálya zsúfoltsága (interferenciák stb.) megkívánja az összehangolt szabványosítást, a föld—űr—föld vonalak különösen gazdaságos használatát, az űr—űr vonalak egyre nagyobb igénybevételét. Nem tűnik hosszú távon tarthatónak, hogy globálisan többféle műholdas távközlési stb. szabvány létezzen egyidejűleg. Nem perspektivikus. A nagy, komplex, orbitális hírközpontok megszületése a problémákat feltehetően eliminálni fogja.

4. Műholdas helymeghatározás

A korábbi előrejelzések helyesnek bizonyultak. Amint az már 20 éve látható volt, minőségi módszertani (elvi) változás nem történt a geodéziai és navigációs alkalmazások területén, s az elméletileg legegyszerűbbül kezelhető és mérés technikailag is kemelkedően pontos Doppler-eljárás egyértelműen dominánssá vált. E mellett még az elméletileg és mérés technikailag szintén jól kezelhető interferometria (műholdkövető interferométerek VLBI, stb.) és kisebb mértékben a lézeres távmérés szerepel nagyobb súllyal. Az alkalmazás pontosságában és tömegességében azonban rendkívüli áttörés zajlik pillanatnyilag (1980—1990), a Doppler-eljárás nagy pontosságát és a berendezések miniaturizálhatóságát, valamint a műholdas adatátviteli technika gyors fejlődését kihasználva. Ez a változás igen komolyan érinti a népgazdaságot is és a közeljövő életformáját, az élet minőségét is.

Mint ismeretes, Doppler-mérésekre alapozva egy pont (például műhold) térbeli helyzetét 4 ismert pont-ról (földi állomások) lehet meghatározni. (Mesterséges holdak Doppler-görbéi, geodéziai alkalmazása és hazai lehetőségei; BME tanulmány, 1967). Az elméletben persze nincs kikötve, hogy az egy ismeretlen és a négy ismert pont hol legyen. Ezért minden további nélkül lehet a négy ismert pont az űrben és az egy ismeretlen valahol a földön. Ezt a lehetőséget futási idő méréssel is kombinálva próbálták ki a katonai navigációs célra kifejlesztett NAVSTAR műholdas globális helymeghatározó rendszerrel — GPS (Global Positioning System). (Általában is minden műholdas, katonai, navigációs rendszerrel.) A rendszer kb.

18 000 km magas pályán keringő műholdakat használ, amelyek saját azonosítójukkal együtt védett (titkosított) kódolással pályadataikat, pillanatnyi pozíciójukat, precíz időt és Doppler-mérésre, terjedési korrekciókra alkalmas L sávú jeleket sugároznak. A vevő beépített, generált kód segítségével veszi az információ csomagot, amelyből meghatározza a műhold-(földi)vevő *távolságot*. Egy pozícióhoz 4 különböző műhold jelét kell venni, és minden esetben 2 db L sávba eső rádiójel segítségével terjedési korrekciót is végez a vevő egység. A GPS célja egyszeri méréssel nagy pontosságú pozíció-adathoz jutni. A pontosság attól függ a GPS-en belül, hogy a vevőbe épített generált kód a műholdról jövő adatok milyen pontosságú dekódolását teszi lehetővé. A katonai vevőkkel elérhető *egyméréses (navigációs) pontosság jobb 10~16 m-nél* a felszín mentén és jobb 30 m-nél magassági irányban! Polgári alkalmazási célra készült vevőkkel is a pozíció-hiba nem több 30~35 m-nél, biztosan kisebb 100 m-nél. Geodéziai módszereket is használva, azaz sok mérést végezve egy helyen és ki-egyenlítő számításokat is alkalmazva, a néhány dm $\leq$ 1 m hiba abszolút pozícióban nehézség nélkül elérhető.

Jelenleg a NAVSTAR GPS a teljes mérnöki fejlesztési-kivitelezési stádiumban van. A kísérleti NAVSTAR-rendszer teljes sikerrel üzemel, de ez még nem biztosít globális, 24 órás fedettséget. Az első *operatív* holdat 1986-ban viszik pályára valamelyik űrrepülőgéppel. A GPS operatív üzeméhez 18 db műhold kell, a teljes rendszer 1988 végére — 1989 elejére épül ki. Áttörési küszöbnek a 24 órás szolgálat 1988-as megindulását tekinthetjük, amelyik ekkor még csak két-dimenziós helymeghatározást biztosít globálisan. A 18 műholdból álló, teljes GPS 1989-re tervezett üzembe állítása *minőségi áttörést* jelent a 24 órás, háromdimenziós, nagy pontosságú helymeghatározási szolgáltatással. — Hasonló frontáttörési helyzet alakult ki, mint 30 év előtt az inerciális navigáció megjelenésével, bár hatása, most kiterjedtebbnek és átütőbbnek ígérkezik.

A rendszert a katonaság fejlesztette ki és univerzálisan alkalmazza is repülőgépeken, hajókon és szárazföldi járműveken. (Lehetséges például az automatikus átrepülés Amerikából Európába stb.). Már a katonai alkalmazás is komoly üzlet, hiszen e célra a következő 10 évben kb. 27 000 db NAVSTAR vevőt gyártanak. De a NAVSTAR megváltoztatja az összes helymeghatározási munkát a földmérésben, a geofizikában, a földrengéskutatásban és előrejelzésben, ... és nagyon sok egyéb mérnöki munkaterületen. Már pillanatnyilag is (1984 vége) kb. 100 GPS vevőt használnak polgári célra, a kísérleti NAVSTAR rendszerre támaszkodva. Az első polgári NAVSTAR vevő-típus 1985—86-ban megjelenik a piacon. Ezek is megadják bárhol és bármikor a Földön, a három térbeli koordinátát, a sebességet és az időt, csak a fentebb leírtaknak megfelelően kicsit pontatlanabban, s ezért sokkal olcsóbban. A 80-as évek végére a professzionális minőségű, „civil” vevőkészülék ára $\leq$ 10 000 \$-ra várható.

A polgári alkalmazásban a legnagyobb piacot a szárazföldi járműveken történő alkalmazás jelenti a rendkívül nagy db-szám következtében. Már a kezdeti időkben használják a GPS-t a szükségjárművek (men-

tők, rendőrség, tűzoltók, ...), a kamionok és más profi szállító járművek, a vasutak, s 1988–90-től kezdődően, egyre nagyobb mértékben a személygépkocsik. A piaci szempontból második legjelentősebb polgári alkalmazási terület a tengeri (és egyéb, édesvízi) hajózás, amely szintén azonnal használni kívánja a GPS-t, ami a balesetmegelőzéstől az automatikus kurzustartásig stb. mindent lehetővé tesz. Végül a harmadik nagy piac a légiforgalom. Itt a biztonság igen nagy mértékben növekszik. Már a kezdet kezdetén a GPS lehetővé teszi az egészen precíz magassági elválasztást jobb légifolyosó kihasználással, és azt, hogy a gépek pozíciójukat és sebességüket egyidejűleg továbbssugározzák az irányítótornyoknak is. További piac és már a kísérleti fázisban is meglevő polgári alkalmazás a földmérés (geodézia), a térképezés, a pontos és stabil (etalon!) időszolgálat stb.

Még a következő tíz évben, a legnagyobb és legtar-
tósabb piaccá, a személygépkocsikban történő alkalmazás válik. A kísérleteket 1984-ben a General Motors már megkezdte. A személygépkocsiba beépített NAVSTAR vevő a gépkocsi rádióantennájával egybeépített $\varnothing 20 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$ antennával rendelkezik, s az eredményt a vezetővel 23 cm-es színes display-en közli. A mikroszámítógép tárolt, digitális térképet ír ki az ernyőre és azon jelzi a gépkocsi helyét, sebességét, a legfontosabb adatokat (kórház, benzinkút, szerviz, ...), s a térképet automatikusan lapozza. A térképkészlet cserélhető menet közben is. Bevihető előre a gépbe az indulási hely, a cél, a közbülső megállók, kérhető javasolt útvonal stb. (E rendszer fejlesztett változata már reálissá teszi az automatizált közlekedést.) A személygépkocsi-piac méretei és a NAVSTAR rendszer globalitása következtében a következő évtized második felére, azaz $10 < 15$ éven belül ≈ 500 \$/db komplett készülékárát becsülnék.

Figyelemre méltó, hogy emellett kormánytámogatással fejlesztik a személyi NAVSTAR vevőt, amelyik vevőstől, antennástól, display-estől, telepestől el kell férjen egy „king size” méretű cigarettásdobozban.

A polgári felhasználók száma min. 1 millió, de a várakozások szerint *sok millió*. Nem zárható ki, hogy a műholdas hírközlésnél nagyobb üzlet és igen nagy civilizációs hatás bontakozik ki a navigációs mérések e fejlett változatából. Az is érdekes, hogy e katonai céllal indult program, mire szolgálszerűvé kiépül, már „civilizálódik”, és a katonai vonatkozások gazdaságilag kevésbé fontos tényezővé válnak, az igen nagy polgári felhasználás mellett.

5. Távérzékelés

A távérzékelés fizikai alapjait a korábbi helyzetképben (1976) már ismertettem, ezért itt nem ismételtem meg. Az is várható volt, hogy a műholdas távérzékelés keretében a hasonló detekciós elemeket használó alkalmazási területek összefonódnak. Ez a folyamat érdemben megkezdődött és a közeli jövőben a meteorológia és az egyéb célú távérzékelés azonos adatbázisra támaszkodó, de különböző célú adatfeldolgozásként válik csak szét. Ugyancsak a távérzékelés része a katonai és gazdasági felderítés, de ezzel egy-két utaláson túl nem foglalkozom.

5.1. Meteorológia

A már hosszú ideje kialakult meteorológiai műholdas világhálózat folyamatosan üzemel, és tartalmazza a közelítően poláris pályán keringő műholdakat, szinkron pályán levő holdakat, és használ meteorológiai, illetve egyéb műholdakon levő adatátviteli csatornákat. A rendszert a WHO koordinálja. A műholdakat az USA, a Szovjetunió, az ESA és Japán bocsátja fel és üzemelteti, de várható további országok bekapcsolódása is. A műholdakról érkező közvetlen mérési adatok mellett (különböző frekvenciákon készült képek, hőmérsékleti és nedvességi adatok, szél és víz hullám jellemzők stb.) mód van arra, hogy a nagyobb központok által már előzetesen feldolgozott és a műholdakon, mint átviteltető állomásokon át szétsugárzott adatokat vegyék egyes felhasználók interpretációs célból. Ekkor azonban a megszerezhető információ korlátozott értékű a primer adatokkal összevetve. A szükséges észlelési (mintavételi) sűrűség, amely az adatok természetétől és a felhasználási területtől is függ, a ≈ 30 perctől 24 óráig terjed. Az összeolvadási tendencia részeként a meteorológia sok más célú távérzékelési hold adatait is használja, különösen hidrológiai (víz és jég) és környezetállapotra vonatkozó (albedo, levegőszennyezettség stb.) adatokat. Ugyanakkor a meteorológiai holdak műszerei kompatibilis adatokat szolgáltatnak a többi távérzékelő hold adataival, s ezért ezeket egyéb célból (legtöbbször növénytakaró állapot, várható termés becslése stb.) is feldolgozzák, de e célra csak a primer adatok minősülnek teljes értékűnek.

Összefoglalva azt mondhatjuk, hogy megvalósult a globális meteorológiai monitorozás. A jövőben az észlelési és adatátviteli, adatszétosztási és adatfeldolgozási technika még mindig gyors fejlődése várható. Ennek részeként olyan műholdak jelennek meg, amelyek már nem kizárólag meteorológiai célúak, részben sokféle műszert hordozva a fedélzetükön (meteorológiai célúakat és másokat), részben pedig olyan műszereket, amelyek adatai sokféle célra, többek között meteorológiai célra is felhasználhatók.

5.2. Erőforrás-kutatás

A Landsat—1 (ERTS—1) műhold felbocsátása óta (1972) a távérzékelő holdak száma gyors tempóban növekedett, s mind műholdon, mint űrhajón, űrállomáson, űrrepülőgépen sok és sokféle távérzékelő műszer repült és repül. Adataikat népgazdasági és földkutatási-feltérési célból, azaz a megújuló-megújítható és nem-megújuló—nem-megújítható erőforrások feltérására, illetve gazdasági-társadalomirányítási területeken hasznosítják. Ma még alapvetően kísérleti, illetve szolgálat előkészítési-bevezetési fázisnál tartanak világszerte. A közeljövőben, $5 < 10$ éven belül a távérzékelési-erőforráskutatási szolgálatok az életképes gazdaságok fontos és lényeges részévé válnak.

Az alkalmazási területeket már a 70-es évek elején jól lehetett látni. Jelenleg eredményes, de igen nehéz kutató munka folyik az operatív szolgáltatás megindítása érdekében. Tekintsük át röviden a legfontosabb alkalmazási területek helyzetét:

— *Mezőgazdaság*: Mind az erőforráskutatási, mind a meteorológiai, mind a komplex célú műhol-

dak és egyéb űreszközök adatait használja. Operatív célra azonban csak a rendszeres és sűrű adatszolgáltatást biztosító műszerek, azaz a műholdak alkalmasak e téren. A folyamatok — változások — relatíve gyorsak, egy teljes mezőgazdasági ciklus egy év, azaz az észlelési (mintavételi) periódus néhány nap ≤ 1 hét kell hogy legyen. Ez azonban nem követelmény minden adattípussal szemben, ezért különféle műholdak kombinált alkalmazása került előtérbe. A növényzet állapotának, a növényfedettségnek (ültetési sűrűség, növénytakaró vastagsága és egyenletessége stb.), a talajnedvességnek és a felszínközeli légréteg állapotának, kártevők, fertőzések stb. felderítésének a megállapítására sűrűn (néhány naponként, vagy hetenként, speciális helyzetben esetleg sűrűbben is) kellene adatok. A növényzet azonosítására (terményazonosítás, azaz klasszifikáció), a vetésterület felmérésére, a művelés helyzetének és előrehaladásának a megállapítására, a kellően pontos terméselőrejelzés folyamatos kibocsátásához, stb. a (további) adatok hetenkénti < havonkénti időközökben kellene, de általában jobb felbontással. Míg a környezeti állapot meghatározása, a talaj azonosítás, állapot és változások (erózió, egyéb talajpusztulás, belvíz fedettség, hótakaró vastagsága, valószínű fagykár mértéke és kiterjedése, ...) nyomonkövetése elvégzéséhez havonkénti $\leq$ évenkénti adatok is elegendők, sőt az általános talajtérkép karbantartás esetleg ennél ritkábban (2—5 év) is elképzelhető. — Mindezekben a területeken eredményes kutató-fejlesztő és alkalmazási munka folyik. Az azonban kiderült, hogy a mezőgazdasági célú adatok interpretációja igen nehéz, nagyon pontos elméleti modelleket kíván, csak kellő pontosság és megbízhatóság esetén gazdaságos, s ehhez nemzetgazdasági, regionális és globális közgazdasági-piaci számítógépi modelleket is fel kell használni; gyors és pontos, időre történő adatfeldolgozással párosul, ami csak digitális úton oldható meg, ahol mind a geometriai (térképi), mind az indentifikációs pontossági követelmény nagy. Kiemelkedően fontos mind piaci, mind helyi és világlelelmezési szinten. Jelenleg már egyes területeken (növényállapot-felmérés, terméselőrejelzéshez adatszolgáltatás stb.) az operatív szolgáltatás bevezetése is megkezdődött a világ élvonalában. (A magyar mezőgazdaság kiemelt fontossága miatt e téren fokozott erőfeszítések szükségesek, különben a helyzet romlani fog.)

— *Erdészet, földhasználat, településfejlesztés, ipartelepítés:* Ezen alkalmazási terület lényege a felszíntakaró (növényzet, talaj, épületek, víz stb.) minél differenciáltabb azonosítása (klasszifikáció) nagy geometriai (térképi) pontosság mellett. A katasztrófa (erdőtüzek, ...) monitorozásától eltekintve — ami majdnem folytonos, de csak igen durva osztályba sorolást lehetővé tevő (például: tűz — nem tűz) változás-észlelést kíván — nem kíván 1—2 hónapnál sűrűbb észlelést. Egyes esetekben elegendő egyszeri célmegfigyelés (azaz alkalmazható speciálisan felműszerezett űrhajó, űrrepülőgép igen jól kvalifikált személyzettel), illetve 1—5 éves térképfrissítés. Sikertelen megoldani speciális eljárás segítségével az erdőklasszifikálást, azaz az erdőtípusok megkülönböztetését, ami különösen ferde felszínek, azaz nem sík terep esetén igen nehéz. Alkalmazzák a távérzékelést károsult területek felmérésére, erdőművelés tervezésére és ellenőrzésére, újratelepítési tervek kidolgozására, to-

vábbá általános ipari és bányászati területek, lakott területek, rétek, legelők és mezőgazdaságilag művelt földek, valamint erdők megkülönböztetésére, térképezésére, állapotmegfigyelésére továbbá száraz (esetleg sivatagosodó), mocsaras, vízfödte területek felmérésére, változások kimutatására. Az erőforrás-felhasználás tervezésére. Települések kiterjedése meghatározására és településfejlesztési, közlekedési nyomvonal stb. tervek készítésére. Partvonalak, lakott területi tényleges határvonalak, természetes és mesterséges lineamentumok, illetve határok meghatározására. (Még az államhatárok is láthatók az esetek nagyobbik részében az űrfelvételeken.) — Fontos új eljárás ezen alkalmazási területen a Viking Mars-expedíciók idején kifejlesztett módszer, amelynek segítségével a távérzékelési adatokból megszerkesztették (számítógéppel) egy terület (marsi vulkánokra alkalmazták először) *madártávlati* képét. 1983—84 óta ezt sikeresen alkalmazzák a földre vonatkozó távérzékelési adatok feldolgozásában is, elsősorban a településfejlesztés, közlekedési nyomvonal kijelölés, ipartelepítés, épület tájbaillesztés, stb. területeken.

— *Geológia:* Ez a kutatás legtöbbször minél nagyobb felbontásra törekszik, s általában elegendő néhány „felvétel” egy-egy területről, ritkán (évenként-évtizedenként). Mind fotogrammetriai és egyéb hagyományos (analóg, néha vizuális) interpretációval, mind digitális adatértékelési eljárásokkal dolgoznak; nagy felbontással, és a lehető legnagyobb geometriai (geodéziai-térképészeti) pontossággal. Vizsgálják, illetve meghatározzák a különféle geológiai alakzatokat, általában analógiákra támaszkodva kutatják a potenciális nyersanyag és energiahordozó (olaj, földgáz, szén) előfordulásokat, vizsgálják az egyes alakzatok, geológiai egységek pontos kiterjedését, egyes nagy területek egységes képét, az alakzatok keletkezését, eddig észre nem vett alakzatokat tárnak fel stb. Az alkalmazás eredményes.

— *Geodézia, térképészet:* Az abszolút és relatív helymeghatározási módszerekkel (4. pont) együtt távérzékeléssel nyert két és három (sztereó stb.) dimenziós adatok alapján globális, regionális és helyi térképezést végeznek, megkezdtek a napra kész térképészlet kialakítását. Ennek egyik sarokpontja a változás detekció, ami a katonai felderítésben is kulcskérdés volt és a nem polgári területeken megoldottnak tekinthető az élenjáró űrtechnológiát birtokló államokban. E területeken is lényeges a minél nagyobb felbontás. Azonban globális lefedés céljára, illetve az adatok hosszú idejű homogenitása miatt általában is változatlanul fontos a kb. egy évtizede folyamatosan adatokat szolgáltató műszerek (például: Landsat MSS, MKF-6M, Meteor-Priroda MSS, ...) pillanatnyi és jövőbeni üzeme. Ezek standard műszerekké váltak, annak ellenére, hogy felbontásuk nem nagy (70 m $\times$ 70 m, illetve > 100 m $\times$ 100 m) az MKF-6M kivételével. (Más célokra ez a felbontás igen célszerű és e téren is a fentiek miatt jól alkalmazható.) De a belépő újabb műszerek felbontása jellegzetesen a 10 $\times$ 10 m² kategóriába esik, míg a katonai felderítésben a csúcserképek *jobbak* az 1 $\times$ 1 m², illetve 1 $\times$ 1 dm²-nél is. (Lineamentumok esetén a felismerhetőség majdnem egy nagyságrenddel jobb, de a csak a képek alapján történő lineamentum-lokalizáció pontossága az alapfelbontási érték.)

— *Víz-, jég- és óceánkutató:* A vízhelyzet, különösen az áradások nyomon követése időben sűrű észlelést kíván, egyébként a heti-havi adatoktól az évenkénti állapotfigyelésig ritkul az időbeli mintavételi szükséglet. Elkészülnek az előntések térképei, az áradások dinamikáját nyomon követik, térképezik a hó- és jégfedettséget, figyelik az olvadás sebességét, a fagyva tárolt vízmennyiséget, a jég korán keresztül a globális hűlés-melegedés változásait, a felszíni és föld alatti vizek elhelyezkedését. A közeli jövőben speciális holdakkal megkezdődik a szélmező és szélsébség felmérése, a víz hullámok folyamatos vizsgálata (óceánokon, tengereken, nagyobb tavakon — már a Balaton is éppen vizsgálható méretű az első holdak pontosságával — és víztározókon stb.); a vízfelszín hőmérsékletét mérik, a felszínközeli légrétegek páratartalmát; kiegészítve rádiós — azaz időjárástól függetlenül elkészíthető — felszínképekkel és felszíni (terepi) magassági adatokkal. — Például az e célú radaros magasságmérés abszolút hibája ≤ 2 m, relatív hibája max. ± 10 cm (!) lesz. Tehát ezek az adatok fontosak lesznek az összes eddig felsorolt alkalmazásban is. — Így megkezdődik az eddigi vízügyi alkalmazásokon túl az egyidejű meteorológiai és klimatológiai alkalmazás is, a tengerállapot előrejelzése, a változások figyelése, a 200 mérföldes partmenti gazdasági övezetek távérzékeléses operatív menedzselése és ellenőrzése, a partok és a létesítmények állapotfigyelése stb.

— *Környezeti állapot figyelése:* A jelenlegi helyzetben a környezet szennyezettségi állapotának és változásainak felmérése, a még nem ismert szennyező források és szennyezett területek felderítése, a levegő és víz szennyezettségének meghatározása folyik. Szintén igen nehéz interpretációs feladat. A cél a mielőbbi operatív figyelőszolgálat kiépítése és a szennyezési-riasztás megoldása.

— *Államigazgatás:* Az eddigiekből jól látszik, hogy az interpretációs eljárások az államigazgatás számára igen sok adatot szolgáltatnak az állapotfelméréstől (térképek, területhasználat, településhatárok, szennyezettség stb.) az operatív gazdaságirányításig (várható termés, ipartelepítés, úthálózat fejlesztés stb.). Az önállóan műholdat felbocsátó országokban az államigazgatás természetesen a műholdas katonai felderítési adatokat is használja, s ezért a kereszttávérzékelő műholdak felbocsátása és üzemeltetése nagyjából az egyéb felhasználóknak és az önálló műholdfelbocsátásra nem képes országoknak az érdeke.

— *Globális (bioszféra) vizsgálatok:* Már az 1. pontban kitértünk e különösen fontos területre. Az ott leírt kutatást kiegészíti a távérzékeléses adatok egész földre történő értékelése és speciális távérzékelési programok (például: a föld sugárzási egyenlege, globális és helyi alakulásának a vizsgálata) lebonyolítása. A cél a föld életre alkalmas állapotának a megértése és a zavarok időben történő észlelése.

— *Régészet:* Ez az alkalmazási lehetőség már tíz éve is felmerült. Azóta azonban nagy sikerrel alkalmazzák mind hagyományos lelőhelykutatásra (például Bulgáriában), mind új technikával teljesen új feltárásokra. Ez utóbbiak közül kiemelkedik a közép-amerikai őserdő által teljesen elborított és a 80-as évek elején mikrohullámú méréssel feltárt ősi indián út, település- és csatornarendszer, illetve ürrepülőgépes

radarméréssel (Szudánban) a Nílus-völgyhöz csatlakozó és a sivatagi homokkal néhány ezer éve 2–5 m átlagos vastagsággal végleg elfedett, eddig teljesen ismeretlen ősi kultúrvidék felfedezése. Általában a régészeti célú interpretáció segíti a felszín alatti alakzatok felismerési módszereinek a fejlesztését és a megbolygatott — meg nem bolygatott területek elkülönítését, a természetes és mesterséges objektumok megkülönböztetésének pontosabbá válását. — A fontos fejlődési út első lépése az, hogy — elsőként a régészetben, de várhatóan rövidesen más területeken is — a távérzékelő műszereket *laboratóriumokban* alkalmazzák tárgyak (szerkezet, anyagi összetétel) vizsgálatára. Ez azért fontos, mert ilyen esetben nemhogy ronsolni nem kell a vizsgált objektumot, de még a természetes megvilágításon túl besugározni sem. Így ez a módszer a régebbi „roncsolásmentes” vizsgálatoknál (röntgen, neutronaktiváció, röntgen-fluoreszcencia stb.) is veszélytelenebb. Épp ez indokolta a rendkívül érzékeny, igen öreg leletek vizsgálatára a távérzékelés alkalmazását.

A távérzékelési technika nagy fontossága miatt gyorsan fejlődik. Jelenleg még csak a kialakulási fázisban van, ezért is kisebb a közvetlen (és csak a közvetlen) piaci súlya, mint a hírközlésnek vagy a navigációnak. De általános gazdasági, államigazgatási és technológiát forradalmasító szerepe igen nagy. A közvetlen piaci forgalom várhatóan a nyers adatok forgalmazásából (mint a 2. pontban láttuk) kb. 2 milliárd \$/év az USA-ban, s az interpretáció kb. ugyanennyi. E téren nagyságrendi növekedést nem várhatunk. De a Szovjetunió és az USA mellett további műhold-felbocsátó és adatforgalmazó országok, országcsoportok (Franciaország, Japán, ESA, Brazília, talán Kína ...) lépnek be 1 < 10 éven belül, s így tíz év múlva a globális piaci adatforgalom eléri a $10 \leq 20$ milliárd \$ értéket, és az interpretációs forgalom sem lesz kisebb, inkább nagyobb, mivel még több ország (illetve intézet, cég stb.) kapcsolódik be az üzlet ezen részébe.

A technika-technológia fejlődésének fő trendje nyilvánvalónak tűnik: A spektrum minél nagyobb részének birtokbavétele, egyre pontosabb, felhasználási célra orientált műszerek (felbontás, képméret, sávok száma, sávok elhelyezkedése, műszerkombináció, a térbeli-időbeli-frekvenciabeli mintavételezés együttesének megválasztása stb.) felbocsátása, térben háromdimenziós adatszolgáltatás. E mellett a fejlődés mellett több operatív adatszolgálat is létrejön. A közeli jövő távérzékelő holdjait ismételt szervizre és újra hitelesítésre tervezik már, azaz hiba, üzemanyaghiány vagy részletes kalibrálási igény esetén a hold a szolgálati pályáról szervizpályára áll át, ahol űrhajósok a javítást, feltöltést vagy kalibrálást elvégzik, majd a hold visszaáll a szolgálati pályára. (Például így tervezik már Kanadában a RADARSAT műholdat.) Ez nagyon megnöveli az időben egymásutáni adatok hosszútávú homogenitását, a csökkenő üzemköltségekről nem is beszélve.

Miután a távérzékelésnek hagyományos szervezete — lévén teljesen új — még nincs, az egyes országok különféle szervezeti megoldásokkal kísérleteznek, de ettől függetlenül, a szolgálatok kiépítése igen gyors. Például csak Kanadában 5 nagy távérzékelési központ van pillanatnyilag, nagy számítóközpontokkal is fel-

szerelve, ezeket 2 saját távérzékelési adatvétellel foglalkozó rádiós műholdmegfigyelő állomás szolgálja ki és más országokból is vesznek át távérzékelési adatokat. Ugyanakkor a még csak kialakuló és sokszor rendezetlen szervezeti formák miatt időnként adatellátási zökkenőkkel — esetleg bajokkal — kell számolni leginkább a saját adatvevő állomásokkal nem rendelkező országokban, mivel ezeket a műholdfelbocsátóknál és adatszolgáltatóknál fellépő szervezeti gondok (jelenleg például az USA-ban várhatók ilyen jellegű problémák) fokozottan érintik. (Ez hazánkat mezőgazdaságunkon keresztül érinti.)

Az is nyilvánvaló az eddig eltelt több mint tíz év tapasztalatai alapján, hogy a távérzékelés érdemi alkalmazásának kulcsa, a kifinomult elektromágneses hullámterjedési elmélet. Ezért is az URSI kiemelten foglalkozik e területtel, és világszerte előtérbe került az elektromágneses hullámterjedésben járatos szakemberek (mérnökök) képzése, illetve a felhasználók ez irányú jártasságának biztosítása.

6. Ipari tevékenység a világűrben

A világűrbeli környezet speciális anyagtechnológiai laboratóriumi és ipari gyártási körülményeket biztosít. Ezeket összefoglaltuk a 2. pontban és részletesen ismertettük a korábbi (1976) helyzetképben. A rendkívüli környezet, bizonyítottan rendkívüli gyártmányok előállítását teszi lehetővé. Éppen ezért, mint az várható volt, mind a szovjet és az Interkozmosz programokban — a Szozuz-Szaljut rendszerre támaszkodva, mind az USA, Japán, ESA, NSZK, angol, francia, svéd, kanadai, ... programokban — speciális kutatórakétákra (TEXUS, SPAR), majd az űrrepülőgépek szolgálatba állása óta egyes speciális fedélzeti eszközökre, illetve a Spacelab rendszerre támaszkodva, intenzív alap és alkalmazási kutatás folyt és folyik az űrbeli gyártás lehetőségeinek felmérésére, a gyártás megkezdésére. E munkák fontosságát jelzi, hogy az űrrepülőgépek előtti időszakban az NSZK és Svédország egyéb lehetőség híján kutatórakétákkal több mint 100 kísérletet végzett 16 rakétafelbocsátással. Pedig a súlytalanság egy-egy startnál csak kb. 6 percig tartott. A tartósan üzemelő űrállomások (jelenleg csak a Szaljut-rendszer üzemel) e téren kiemelkedő fontosságúak. Ez az egyik oka annak, hogy a fejlett nyugati ipari államok az USA vezetésével szintén megkezdtek űrállomás létesítésének előkészítését. De ugyancsak nagyon fontos a „menetrendszerű”, olcsó és kisebb kockázatú űrrepülés megoldása, azaz az űrrepülőgépek használata. A Spacelab űrlaboratórium pedig az űrrepülőgépek közvetlen ipari hasznosíthatóságához a feltételeket (legalábbis első lépésben) magas színvonalon biztosítja. — Nekünk fontos, hogy Farkas Bertalan repülése alatt módunk nyílt anyagtechnológiai kísérletek végzésére. Ezeket részben kihasználtuk (a vegyipar és gyógyszeripar kimaradt), s így fémötvöztési, felületi feszültség vizsgálati, diffúziós és félvezető kristályosítási kísérleteket végzett el a legénység a Szaljuton. A sok szempontból szép és reménykeltő kísérletek a szükséges intenzitással nem folytatódhattak.

A pillanatnyi helyzet és a közeljövő jellemzésére a már sokszor ismertett kísérleti eredmények felsoro-

lása helyett a nagy ipari érdeklődésből kialakult trendeket tartom fontosnak. Mindenekelőtt ki kell emelni, hogy az (állami) űrkutatási intézmények e munkának csak kisebbik részét végzik, koordinálják és biztosítják a startokat, a fedélzeti munkalehetőségeket. Azonban az űrben csak ipari célra használható — időlegesen magára hagyható, automatikusan üzemelő — majd újra (akár hosszú idő múlva) fedélzetre emelhető, tehát az automata „űrgyarak” előfutárának tekinthető eszközök kifejlesztését már e célból alakult magánvállalkozások végzik. Az egyik típus 1986–87-től, egy másik 1989-től áll az ipar rendelkezésére. Érdekesebb az is, hogy 1988-ban kizárólag ipari megbízásokat lebonyolító Spacelab start várható. Ugyanakkor a NASA már rendelkezik az említett, magára hagyható, univerzális, kísérlethordozó (illetve gyártóautomatát hordozó) egység egy típusával, amelynek egy példánya 1984 óta repül (COSPAR Inf. Bull., No. 102, 108. o., 1985). Az érdeklődés nagy. A 2. pontban láttuk, hogy csak az USA-ban 25 milliárd \$-os üzletet várnak, de egyes becslések szerint csak a kémiai tevékenység (gyógyszeripar, vegyipar) meghaladhatja a 30 milliárd \$-t.

A legrövidebb időn belül felfutó gyártási területnek a *gyógyszeralapanyag-gyártás* és általában a *vegyipar* látszik. E téren kb. egy év késést okozott egy elektroforézis kísérlet anyagának nem kellően steril kezelése, de ez csak zökkenő. A nagy tisztaságú anyagszétválasztás és az erre támaszkodó új gyógyszerek gyártása, a gyógyászat színvonalának emelése — s az űrbeli lehetőségeket nem használó versenytársak kiesése a piacról — még ebben az évtizedben véglegessé válik. Az eddigi eredmények alapján gyártáselőkészítési munkák folynak (illetve az ipari titok-örzés miatt csak becsülhető a programok haladása világszerte az űrrepülések ismertetései alapján). Például, a folyamatos elektroforézis alkalmazásával, a földi gyártásban lehetségesnél nagyobb tisztasággal, 700-szoros (!) hozamnövekedéssel végezhető a fehérjeszeparáció (például: McDonnell Douglas, Johnson & Johnson). E munkák keretében repült a világon először magáncég szakembere űrhajósként a világűrben (Ch. D. Walker a McDonnell Douglas-tól). Azóta már több „cég-űrhajós” repült. Általános igény, hogy a cégek nem speciálisan kiválasztott és kiképzett űrhajósokkal, hanem saját kutatókkal-fejlesztőkkel akarják elvégeztetni az űrbeli munkákat is, mivel egyébként a határfok leromlik, a kutatás-fejlesztés elhúzódik, az egész ráfizetéses lesz és lemaradnak a versenyben is. Ezért várható az űrrepülések adminisztrációjának drasztikus csökkentése mellett a körülmények változtatása (amennyiben ez megtehető), hogy lehetőleg átlagos egészséges emberek repülhessenek űrpilóták és űrhajósok társaságában. (Lásd analógiaként a légiközlekedést.) E téren kiemelkedő az első nem-űrhajós (egy USA szenátor) űrrepülése 1985 tavaszán. Ugyancsak kiemelkedően fontos, hogy $g \approx 0$ környezetben a kísérletek tanúsága szerint nagy fehérjekristályok növeszthetők. Ezért jelenleg a több ezer fehérjekristály szimultán kezeléséhez szükséges eszközöket fejlesztik (cégek is, a NASA-nál is stb.). A nagy kristályok lehetővé teszik a szerkezet gyors és biztos dekódolását, ami új gyógyszerek megszületését eredményezi. Sok milliárd \$-os üzletet remélnek (például: Schering Co., Upjohn Co., Smith Kline Beckman Co.). Igen

nagy és tőkeerős az európai és japán gyógyszeripar és vegyipar érdeklődése is. Figyelmet érdemel, hogy még azokban a programokban is, amelyeket nem kizárólag az ipar finanszíroz, hanem költségvetési stb. támogatást is kapnak, az ipari befektetés általában a költségvetési támogatást meghaladja.

Általában is gyors tempóban fejlesztik tovább az igen kis méretű ($1-100\ \mu\text{m}$) termékek precíz és fél-automatikus, illetve teljesen automatikus kezelésének technológiáját. Ez a gyártástechnológia általában fontos, különösen az űrben növesztett kristályok kezelésénél. De az első, űrben gyártott piaci termék is kis méretű (COSPAR Inf. Bull., No. 101, 76–77. o., 1984). Az előkészítés 1978-ban kezdődött. 1983-ban összesen 15 g polystyrene-t (latexet) dolgoztak fel azonos méretű (!), $\varnothing 10\ \mu\text{m}$ -es precíz alakú gömbökké. Ezeket a mikroszkópi vizsgálatokban lehet etalonként használni. Ilyen precizitású termék a földön nem gyártható. A terméket az USA Mérésügyi Hivatala standard referencia anyagnak elfogadta és a forgalmazását engedélyezte. 1984 ősze óta a kereskedelemben kapható. (A forgalmazó a gyártó és a NASA közösen). A tény, az első űrben gyártott árucikk megjelenése a piacon, frontáttörés! 1985-ben hasonlóan precíz, de más, nagyobb méretű, csak az űrben gyártható etalongömbök előállítását tervezik.

A másik, nagy érdeklődést kiváltott terület a *kristálynövesztés és félvezetőgyártás*, valamint a *fémkohászat*. A cél ultratiszta üvegek, optikai anyagok, kristályok, félvezetők, rendhagyó szerkezetű, összetételű és tulajdonságú fémek és kerámiák esetenként nem is kis mennyiségű gyártása. Az egyik kiemelkedő gyártási cél a mai földi csúcstechnológia által produkálhatónál gyorsabb, kisebb méretű (illetve nagyobb integráltsági fokú) és kisebb fogyasztású elektronika előállítása. Az eddigi tapasztalatok alapján ezt GaAs-bázison tervezik. Irányított kristályosítással, precízen vezérelt hőmérsékleti körülmények között hibamentes GaAs-kristályok növeszthetők. A világűrbeli GaAs-növesztésre nemzetközi (amerikai, európai és japán) tőkével 1979-ben külön cég is alakult (Microgravity Res. Ass.), amely együttműködik az M.I.T.-vel és a NASA-val speciális startbiztosítási szerződése van. Ezen túlmenően, intenzíven fejleszt e téren csak az USA-ban a Grumman Aerospace Co., a Boeing, a GE stb. A GE megítélése szerint ez a közeljövő „aranybánya”. Az űrbeli GaAs-gyártásban a földihez képest 7000%-os hozamnövekedést várnak, a számítógép orientált chipek kapacitása kb. 100-szorosára növekszik (!), s hasonló eredményeket remélnék a mikrohullámú és a lézertechnikában is. Már elkészültek az automatikus űrbeli gyártás tervei, amelyek szerint csak a kész chipeket szállítják majd vissza a földre. Igen fontossá válhatnak a 3M Co. és a John Deere & Co. *karbamid* kristály gyártási kísérletei, amelyek célja, hogy űrtechnológiai bázison az elektronika helyett optikai eszközöket alkalmazzanak. A fémkohászatban a precíz energiabevitelű (elektromágneses) olvasztás, a lebegtetés közbeni ötvöztetés és hűtés, valamint az irányított struktúra kialakítása olyan célok, amelyek a demonstrációs fázison túljutottak. Az űrbeli fémgyártásban is sokan érdekeltek (John Deere & Co., GE, General Dynamics Co., Alcoa, Kaiser Aluminum stb.). 1985-től a gyártási kísérletek bizonyosan megkezdődnek. *Alumínium, vas és wolf-*

ram bizonyosan szerepel a programokban! A nagy tömegben gyártani tervezett fémeket, ötvözeteket a repülőgépek gázturbinás hajtóműveitől a mezőgazdasági gépekig (!) akarják alkalmazni.

A felsoroltakon túl, számos technológiai kísérlet folyik, a terület igen dinamikus, és az anyaggyártási programokat mindenkor költségoptimalizálással tervezik. Hiszen az űrben dolgozni csak akkor szabad és érdemes, ha megtérül.

Minden eddigi tapasztalatot összegezve a folyamatos ipari gyártás szempontjából is nagyon fontosak a folyamatosan üzemelő nagy *űrállomások*. Ezért a Szovjetunió megkezdte összezsugorolható modulrendszer kidolgozását, hogy a Szaljutokon bevált konstrukciós megoldású egységekből nagy méretű űrállomást alakítsanak ki. Már végrehajtottak sikeres űrállomás (Szaljut–7) és kísérleti modul dokkolást (1984-ben és 1985-ben). Az USA európai és japán közreműködéssel Amerika felfedezésének (Kolumbusz Kristóf, 1492) 500. évfordulója táján (1992–94) nagy méretű űrállomást (a „Columbus”-t) akar üzembe helyezni. Az űrállomások legfontosabb céljai az űrbeli gyártás, a távoli világűr kutatása, orvos-biológiai vizsgálatok végzése és űrbeli rakéta-starthelyként való működés. Úgy tekinthetjük, hogy a kocsis és a gépkocsis egy ország teljes birtokbavételét jelentette, a repülőgép a glóbuszt, míg az űrállomás betörés a Naprendszerbe, kapu a világűrbe, út az első űrvárosok felé, amelyek az élenjáró technológiák, a legnyereségesebb emberi tevékenység otthonai lesznek a jövő században — ha a jelenlegi krízist túléljük, és ha az ember tényleg képes véglegesen a világűrbe települni.

7. Magyarország helyzetéről

E helyzetképnek nem célja, hogy kimerítően elemezze a hazai űrkutatás helyzetét, eredményeit és gondjait, de nem is kíván helyettesíteni egy átfogó hazai helyzetképet. Az űrtevékenység fontosságának gyors növekedése miatt azonban, inkább csak jelzésszerűen, mégis foglalkozni kell a hazai helyzettel.

Önmagában nézve a hazai űrkutatás 1957 óta nagy fejlődésen ment keresztül. 1957-ben csak az első Szputnyikok távcsöves és rádiós észlelésére voltunk képesek. Az 1960-as évek közepére már kutatásról beszélhetünk (optikai és rádiós műholdmegfigyelés, áramkör fejlesztési kísérletek, rakétaszerkezeti stb. vizsgálatok, műholdas geodézia és meteorológia indulása). Majd az évtized végére az Interkozmosz megalkakulásával kibővül az űrkutatás. Négy (fizika, meteorológia, távközlés, orvos-biológia) területen, és a 70-es évek közepétől a távérzékelés területén is, dolgozunk. 1975-ben repül az első magyar elektronikus egység műholdon, 1980-ban magyar űrhajós (Farkas Bertalan) is dolgozik a világűrben. 1984-ben már bolygóközi térben repülnek bonyolult magyar műszerek (a Halley-üstököst kutató VEGA-szondák fedélzetén), és az egyik űrrepülőgépen is van magyar műszer (PILLE dozimeter). Minden évben történik valami. Mondhatnánk, hogy rétünkön nő a fű.

De hogyan nő a többiek rétjén, hogyan alakult relatív helyzetünk? Az elmúlt 20 évet vizsgálva a világban az űrtevékenység minőséget váltott, míg a miénk folyamatosan növekedett ugyan, de nem váltott minőséget. Azaz másoknál jobban nőtt a fű, már kaszálhat-

nak. Aki pedig nem tud időben kaszálni, annak aratási ünnepe is elmarad. — Nézzünk egy húsz évet áthidaló összehasonlítást.

1965 táján világszerte kutatás folyt, nálunk is. Az általunk is művelt területeken e kutatás keretében közel álltunk a kutatók felkészültségében a világszínvonalhoz. A legfontosabb alkalmazási területeken a helyzet a következő: Geodézia — fotogrammetria, Doppleres és lézeres mérések vannak az élvonalban; nálunk fotogrammetria mérések folynak, Doppler-görbék sikeres regisztrálása is megtörténik, lézer-radar még sokáig nincs. Távközlés — már üzemelnek az első távközlési műholdak; nálunk az ATS—3 műholdat felhasználva sikeres transzocéáni összeköttetést hoznak létre. Meteorológia — a világon éppen megindult a meteorológiai műholdak adatainak közvetlen globális vétele (APT-képszolgálat); hazánk Közép-Európában elsőként megoldja az APT-képek vételét hazai eszközökkel. Amatőr műholdak — már vannak; vételük, használatuk nálunk is sikeres. Orvosi kutatások — rendkívül intenzívek világszerte; nálunk még nincsenek. Telemetria, terjedési vizsgálatok stb. — világszerte intenzív e téren a kutatás-fejlesztés; nálunk is folynak az alapozó vizsgálatok, ezért javasoljuk az Interkozmosznak az Egységes Telemetria Rendszer (ETMSz) létrehozását. Egyéb (fizikai, Naprendszer stb.) kutatás — világszinten intenzíven folyik; nálunk még nincs.

1985 táján a fő súly világszerte a hasznosításra, az űrkutatás mellett a domináns ipari-gazdasági űrtevékenységre került. Részletezve egyes területeket: Helymeghatározás — lásd 4. pont; nálunk élvonalbeli készülék nincs, bár a Doppleres helymeghatározásban intenzíven dolgozunk, importkészülékkel; hazai, adott célú elektronika és vevőfejlesztés nagyon korlátozott; navigációban teljesen elmaradtunk. Hírközlés — lásd 3. pont; nálunk üzemel egy Interszputnyik állomás a 6/4 GHz-es sávban, s legújabbán egy szovjet adatátviteli állomás, amely a VEGA-adatokat veszi át a Szovjetunióból; a kommersziális használatba vétel, eltekintve az Interszputnyik állomás nem nagy forgalmától, tulajdonképpen nem kezdődött meg. Meteorológia — lásd 5.1. pont; nálunk a szükséges és lehetséges adatoknak ma még csak egy kisebb részét vesszük, bár a közeli jövőben újabb adatok vétele is lehetővé válik. Erőforráskutatás — lásd 5.2. pont; nálunk az eddigi erőfeszítések ellenére, csak kezdeti alkalmazási kísérletek folynak, s a műszaki-technikai feltételek sem kielégítőek. Orvosi kutatások — világszerte ma is intenzívek és igen kiterjedtek; nálunk is eredményesen folynak több területen, és egy űrrepülés tapasztalatai is leszűrődtek. Telemetria, terjedési vizsgálatok stb. — ma is intenzív tevékenység folyik világszerte; hazánk aktív telemetriai elektronika fejlesztő, de megfelelő rádiós földi állomás híján a többi tevékenység teljesen megszűnt, és ez számos alkalmazást is gátol. Űrbeli gyártás — lásd a 6. pont; nálunk Al-Cu ötvöztetési és félvezetőkristály-növesztési kísérlet folyt az első magyar űrrepülés kapcsán, azóta e tevékenység nem bővült, a gyógyszeripar, vegyipar stb. teljesen kimaradt. Egyéb (fizikai, Naprendszer stb.) kutatás — a világban összességében változatlan intenzitással folyik (1. pont; a kutatási programok, a startok stb. száma érdemben változatlan, s a befektetett összegek is, eltekintve az inflációtól, változatlanok, a többi te-

rülethez képest az arányuk csökken); nálunk e téren zajlott le *ugrásszerű növekedés*, több rakétán és műholdon repültek fizikai mérőműszerek, a fő kutatási irány a nagyobb energiájú részecskék vizsgálata a föld körüli és a bolygóközi térben, a Naprendszerben, és ezen kutatás része a VEGA-programban való nagyértékű magyar részvétel is.

Összegezve a helyzetet azt mondhatjuk, hogy a *relatív* lemaradásunk, eredményeink ellenére is nőtt, és a gazdaságilag-iparilag hasznosítható területeken kialakult lemaradásunk a világszínvonalától nemcsak általános kutatás-fejlesztési gondokra vezethető vissza, hanem a hazai űrtevékenységen belüli nem gazdasági és ipari orientáltságra is.

— Pedig az idő eljárt! Még „indul a küszöbről az út” (amin persze gyalog sokkal nehezebb), de már nem sokáig.

8. Összefoglalás

Az előzőeket összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az űrtevékenység lassan civilizációnk lényeges része lesz, az elektronika és hírközlés, valamint alkalmazásaik fő fejlesztője és használója, és az űrtevékenység ipari-gazdasági-köznapi részéből kimaradó országok az elmaradott országok közé kerülnek jelenlegi helyzetüktől függetlenül.

Ki kell emelni, hogy milyen nagy mértékben megnőtt az elektromágneses hullámterjedési elmélet és praxis, általában az elektrodinamika (BME megnevezéssel: villamosságtan és elméleti villamosságtan) szerepe. Szükséges, hogy ez érintse felsőoktatásunkat is.

Végül, nem szabad elhallgatni, hogy az űrtevékenység is felvet komoly környezetszennyezési és ökológiai problémákat. (Lásd részletesebben a 2. Bécsi ENSZ Világűrkonferencia anyagait). Az ökológia kérdései különösen hosszú idejű űrben tartózkodás, az emberes űrjáratok, űrlaboratóriumok és a majdani űrvárosok kapcsán jelentkeznek, amelyekben miniatűr, mesterséges és biztosan csonka ökoszisztéma van, illetve lesz, amely több lényeges jellemzőjében eltér az ember természetes környezetétől. Az űrszennyeződési problémák általánosabbak, és az űrben keringő törmeléktől és bedöglött műholdaktól kezdve a nagy rakéták startja idején rekombinálódott (azaz kilyukasztott) ionoszféráig terjednek. Többek között ez az egyik oka annak, hogy azok a tervek, melyek szerint a világűrben a Napenergiát mikrohullámú energiává alakító erőműveket kell telepíteni, melyek az energiát lesugározzák a Földre, ahol a szokásos váltakozó árammá alakítanánk, a háttérbe szorultak. Ugyanis egy ilyen nyaláb nagyon megváltoztatná az ionoszféra és áramai szerkezetét, és persze irányítási hiba esetén „halálsugárként” kaszálna a földfelszínen. E helyett az energiát fogyasztó ipar „kitelepítését” mérlegelik.

Néhány nagy műhold és a Skylab űrállomás visszazuhanása a Földre a jövőbeni egyik fontos kérdésre hívta fel a figyelmet. A nagy űrállomások — méretük miatt — nem szabad, hogy a Földre visszazuhanjának ellenőrizetlenül, vagy — adott mérethatár felett — egyáltalán nem. Ezért meg kell előzni a csak nagyon kis valószínűségű ütközésüket, akár embertől származó nagyobb űrronccsal, akár meteorral, akár kormányozhatatlanná vált űrjárművel, például randevú köz-

ben stb. Tehát a nagy úrállomásokat üzembe helyezés után rövidesen fel kell majd szerelni az ilyen katasztrófa elhárítására alkalmas felderítő és megsemmisítő berendezésekkel.

Világunk gyorsan változik, s ebben az egyik domináns tényező ma már az űrkutatás, űrtevékenység. Hogy pontosan hova vezet, azt nem tudjuk. De a „véges Föld” dilemmát feloldhatja. Persze erre nincs garancia. Az azonban biztos, hogy a közeljövő legfontosabb űrtevékenységi haszna nem a remélt (és felvázolt) eredményekben születik meg, hanem az ismeret-

len természete szerint valami olyasmi lesz, amit még el sem tudunk képzelni.

(Főszerkesztői megjegyzés: A helyzetkép hazai eredményekre vonatkozó része, széles körű vitát hozott a szakemberek körében. Ezért, további szakértőket kérünk fel, a hazai helyzet és jövő értékelésére. Amennyiben ezen szakértők a felkérést elfogadják, örömmel adunk helyet gondolataiknak. Ezen témával kapcsolatosan, szívesen vállalnánk egy szakértői vitát is annak érdekében, hogy saját dolgainkat minél szélesebb tartományban és minél több irányból értékelhessük.)

Szemle

Összeállította: Gál Ferenc

Páratlan fejlesztési programot jelentett be az American Telephone and Telegraph távközlési óriáscég: 1990-re 33 ezer kilométeres optikai és mikrohullámú távközlési láncot kíván üzembe állítani. A 2 milliárd dollár körülire tervezett beruházással az amerikai nagyvárosokat, illetve más metropolisokat kívánják összekötni a világtengerek alatt, olyan kábelekkkel, amelyek egyidőben több százezer beszélgetés továbbítására alkalmasak. Ezek az összeköttetések beszédet, zenei hangot, elektronikus információt és szövegfakszimile-, illetve videójelet egyaránt képesek továbbítani, mégpedig a jelenlegi hálózatoknál nagyobb pontossággal és kisebb interferenciával. Az új hálózat az évszázad utolsó 10 évében az AT&T forgalmának több mint felét fogja lebonyolítani. (Reuter, Világgazdaság, 1984. dec.)

✱

Az Elektroimpex 1949-ben az elsőnek megalakult igen nagy szak-külkereskedelmi vállalatok egyikeként kezdte tevékenységét. Az évek során profiljának javarészét át kellett adnia újonnan létesült vállalatoknak, s a nyolcvanas éveket híradástechnikai és finommechanikai alapprofillal kezdte. Tavalyi 7,3 milliárd forintos forgalmával a külkereskedelmi vállalatok sorában a kisebbek közé tartozik.

A forgalom az öt évvel ezelőtti 3,4 milliárd forintról tavaly 7,3 milliárdra nőtt. Konvertibilis elszámolású kiviteli általában szerény határok között mozgott, de ebben is jelentős eredményt tudtak elkönyvelni tavaly: 62 százalékkal 11,7 millió dollárra ugrott exportjuk ebben az irányban. Korábbi exporttermékeik közül kizárólag az Orion tévéket veszítették el, de ez is még a profilkötöttség feloldása előtt történt; igaz, hogy ez akkor 150—180 millió forintos tőkésexport-kiesést jelentett számukra.

Mi a helyzet az elektromos eredményjelző berendezésekkel? A VBKM megkérte és megkapta az önálló exportjogot ezek értékesítésére.

Ez még függőben lévő dolog. A világpiacon az Elektroimpex márkanév ismert, s ott nekik van erős pozíciójuk. Tudni kell, hogy ebben a szakmában egy 1—2 millió dolláros exportüzletért évekig kell dolgozni. Tárgyalásban állnak a gyártó céggel és remélik, hogy olyan megoldásra jutnak, amely mindkét félnek kielégítő lesz.

Az Elektroimpex nyeresége tavaly 120 millió forint volt. Ez behatárolja lehetőségeiket akár vegyes vállalat, akár leányvállalat alapításában, kereskedőházi elképzelésekről nem is beszélve. Fő fegyverük a jövőben is a rugalmasság marad.

Persze nem zárkoznak el mereven semmitől sem. Vegyesvállalati tárgyalásokat folytattak már például francia céggel, de egyelőre nem jutottak megállapodásra. (Figyelő, 1985. május 2.)

✱

A Mikroelektronika Vállalat a magyar elektronikai berendezésgyártó ipar aktív alkatrészgyártója és fejlesztő bázisa. Ennek megfelelően jelentősen képviseltette magát a MIPEL-szakkiállításon. A mai vállalat az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. Budapesti Félvezető Gyárfejlesztésével és a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet egyesítésével jött létre, 1982. elején. 1983-ban a Gyöngyösi Félvezető- és Gépgyár hozzácsatolásával alakult ki mai formája, 4500 fős létszámmal. A vállalat tevékenysége két fő területen bontakozott ki: mikroelektronikai aktív alkatrészek és technológiai és mérőberendezések gyártása és fejlesztése.

A mikroelektronikai program keretében a vállalat legfontosabb feladata: létrehozni az évente 120 ezer szilíciumszelet megmunkálására alkalmas gyártókapacitást. A beruházás első szakaszában a MOS-technológiájú chipüzem készült el, amelyben berendezésorientált áramkörök, memória-áramkörök, majd rutinfeladatok megoldására alkalmas katalógusáramkörök chipjei készülnek. A beruházás második szakaszában a bipoláris chipek gyártósora épült fel elsősorban berendezés-orientált áramkörök és az ipari elektronika egyéb integrált áramköreinek, valamint más aktív elektronikai alkatrészeinek előállítására. A vállalat gyártmányösszetétele a kisebb fogyasztású és nagyobb bonyolultságú áramkörök irányába tolódik el. A diszkrét félvezetőeszközök területén pedig a nagyobb teljesítményű, nagyobb frekvenciás típusok növekvő aránya jellemzi a gyártmányösszetételt.

A félvezetőeszközök szerelése, tokozása és mérése Gyöngyösön történik. A termelés jelentős része exportra kerül. Így adódik lehetőség importból bővíteni a választékot a hazai felhasználók részére.

A mikroelektronikai alkatrészgyártás kiegészítéseként a mérőberendezések terén aktív alkatrészek, elsősorban nagy bonyolultságú integrált áramkörök mérésére, osztályozására szolgáló számítógéppel vezérelt mérőautomaták készülnek. Ilyen termékekből is jelentős exportot teljesít a vállalat. A technológiai eszközök fejlesztése és gyártása a vállalat saját eszközbázisának korszerűsítését is szolgálja a szintén lényeges export mellett.

(Hungexpo Vásár Híradó, 1985/1.)

(Folytatás az 569. oldalon.)

Rétegstruktúrák vizsgálata és a VLSI

DR. GYULAI JÓZSEF

Központi Fizikai Kutató Intézet

Budapesti Műszaki Egyetem Atomfizikai Tanszék



ÖSSZEFOGLALÁS

A nagy bonyolultságú integrált áramkörök megjelenése az anyagtudományok, anyagvizsgálatok területén új feladatok megoldását jelenti. Fontossá válik a felületek — határrétegek pontos leírása, az anyagsugárzás (elektron, ion, foton) kölcsönhatás alapján a rendszer eredeti állapotára való visszakövetkeztetés, mélységfüggő atomösszetételek, ill. felületeken kialakított monorétegek mennyiségi meghatározása. Az anyagtudomány és az ipari fejlesztés elengedhetetlen együttműködésének jó példájaként bemutatja SOS-struktúrák minőségének tudatos befolyásolását.

A mikroelektronika következő évei rendkívül izgalmasoknak ígérkeznek: most jut el a világ az ultimumhoz a „klasszikus” elektronika terén. Most derül ki, hogy melyek azok az elvi korlátok, amelyek megszabják annak az elektronikának a határait, amelynél még lokalizálhatók az aktív és — sokszor — a passzív elemek is, akár csak az elektroncsöves elektronikában. Most vonul be az elektronikai technológiába a valóban atomi szintű anyagépítést lehetővé tevő anyagtudomány.

Egy kis kitérőként talán engedtessek meg kifejeznem, mit is értek én anyagtudományon, anyagmérnökségen, illetve technológián.

A szaktudományok, illetve a tárgyuk szempontjából alaptudományok (szilárdtestfizika, -kémia, metallurgia stb.) rendkívüli haladást értek el az utóbbi időkben. Ennek két fő oka az anyagvizsgálati módszerek tökéletesedése, illetve a számítástechnika bevonulása a szaktudományokba. Ezek tették lehetővé egy sor jelenségnek ma már „kváziegzakt” megértését, leírását. Ezen azt értem, hogy ma már olyan pontossággal lehet a jelenségeket leíró modellek matematikai formuláit megoldani, hogy valamennyi lényeges körülmény figyelembe vehető. (A technológiák sok-sok lépését szimuláló programok sikere a bizonyíték erre.)

Az anyagtudomány („materials science”) elsősorban a probléma megközelítésében tér el az említett szaktudományoktól: az azok által felfedezett és kváziegzaktul leírt jelenségeket (például diffúzió, szegregáció, fáziskiválás, epitaxiás kristályosodás) mint a mikrovilágban működő „szerszámokat” arra használja, hogy a kívánt tulajdonságokat mutató, ha kell atomi szinten rendezett szerkezeteket létrehozza.

Ebben a koncepcióban a technológia az a „drill”, amely reprodukálhatóan megszabja, korlátok közé szorítja ezeknek a „szerszámoknak” működési körét, tartományát, idejét.

Ma már egyre több ponton világos a mikroelektronikai eszközök működése és a szerkezetük közötti korreláció. A legimpozánsabb talán az a nemrég kiderült összefüggés, amely a tranzistorok működésében (hátrányos) szerepet játszó felületi állapotok és a szilícium-szilícium-dioxid határréteg atomisztikus szerke-

DR. GYULAI JÓZSEF

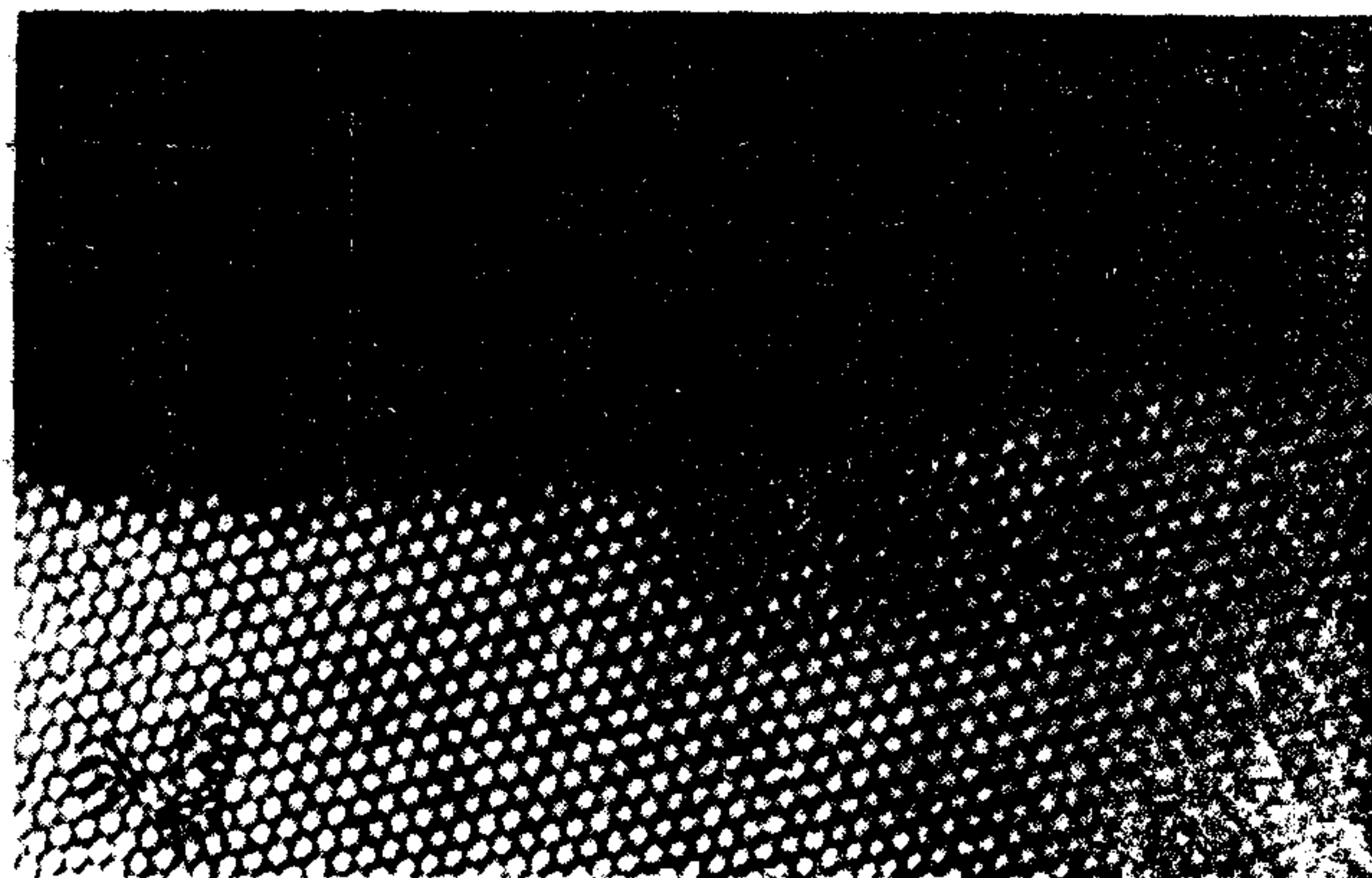
1955-ben a Szegedi Tudományegyetemen végzett. 1956 óta foglalkozik félvezetőkkel, korábban Cds, CdSe, Se, majd Ge, Si felületi jelenségeivel, később GaP, GaAsP fotoelektromos viselkedését kutatta. Kandidátusi fokozatot is e témából szerzett. 1969 óta az implantáció és a félvezető technológiák, valamint a Rutherford ionvisszaszórással végzett felületanalitika a fő témája. Az ő irányításával létesültek a KFKI ilyen laboratóriumai, és az ott folyó kutatások nagy részét ő irányítja. Ő javasolta és menedzselte az EÖTVÖS űrtechnológiai programot.

1979-ben szerezte meg a

tudományok doktora fokozatot. Vendégprofesszorként összesen több, mint három évet töltött a California Institute of Technology-n, a Cornell Egyetemen és a párizsi École Normale Supérieure-n. Mintegy 140 tudományos dolgozata van, több idegen nyelvű monográfia-fejezetet publikált, tíznél több technológiai szabadalomban részes. „Counselor”-ja a Bohmische Physical Societynek, dolgozik EPS, ill. IUVSTA bizottságokban, több konferencia, iskola, könyvsorozat szervező bizottsági tagja. A Budapesti Műszaki Egyetemen Atomfizika Tanszékén részfoglalkozású egyetemi tanár. 1984-ben, munkatársaival, Akadémiai Díjjal tüntették ki.

cium-szilícium-dioxid határréteg atomisztikus szerkeze között fennáll (1. ábra): a felületi állapotok a határréteg atomos lépcsőitől, azaz az ilyen hibáktól származnak, ezeknek a hibáknak az elektromos viselkedésben megnyilvánuló hatásai. Ma már a MOS-tranzistor kapuelektrodájától, a Schottky-gáttól, ohmos kontaktustól atomosan rendezett határréteget várunk.

Az anyagvizsgálati módszereknek bizony, rendkívüli követelményekkel kell szembenézniök.



H 72-1

1. ábra. Az atomsorokat is megmutató rácsfelbontású transzmissziós elektronmikroszkópos kép a Si-SiO₂ határfelület egy hibás pontjáról (2)

1. A „VLSI anyagtudomány” néhány stratégiai kérdése:

E stratégiákat most úgy rendszerezzük, hogy érződjék az anyagvizsgálatokkal való kapcsolatuk.

Felület-határréteg konverzió.

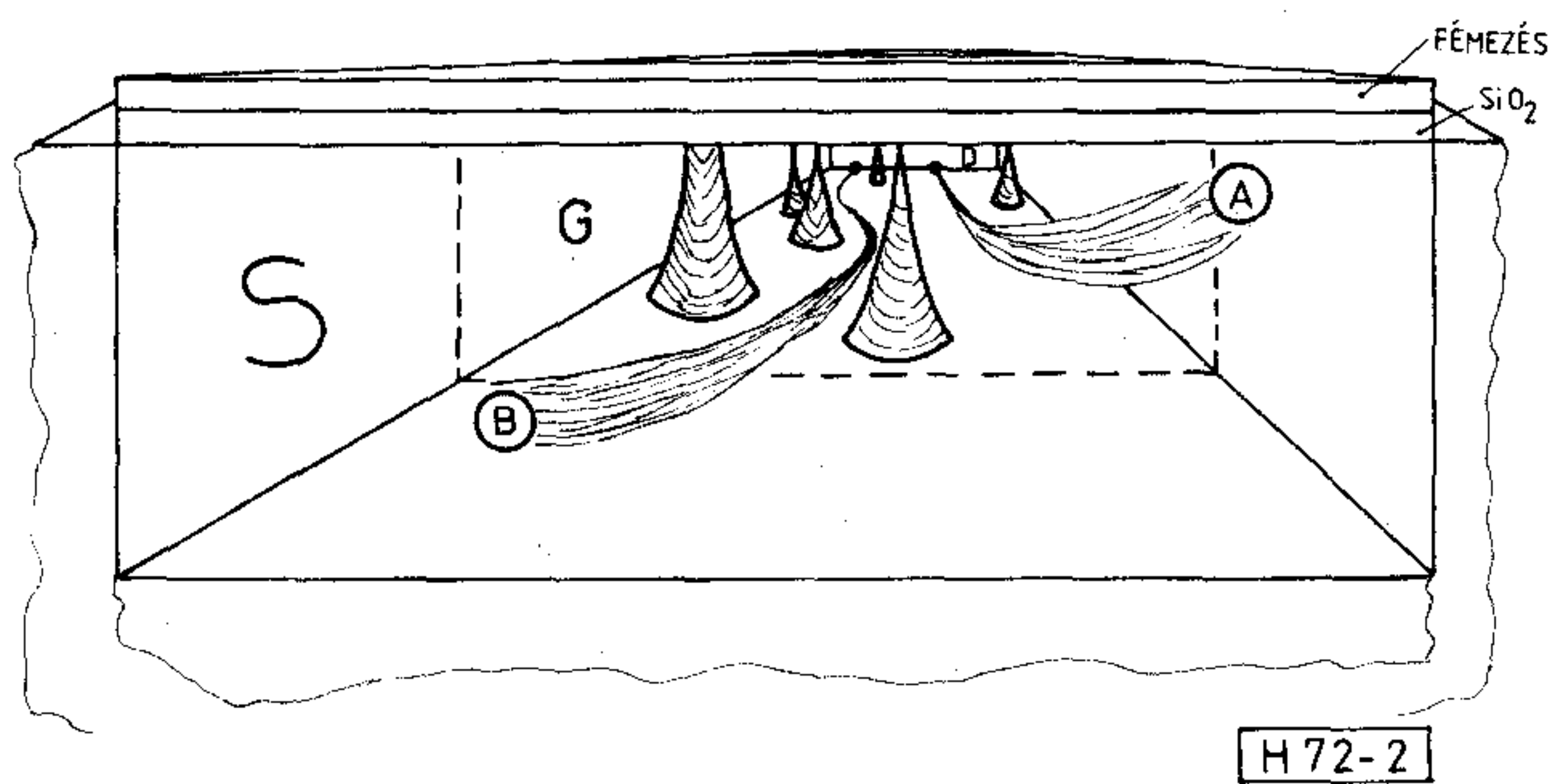
A mikroelektronika planáris építkezési stratégiájából az következik, hogy a felületek csak mint a következő lépésben határréteggé való képződmények érdekesek (1). A funkcionális részekről távoli határrétegektől már többnyire csak a passzíválást, védelmet várjuk.

A miniatürizálás és a viszonylagos szerkezet érzéketlenség.

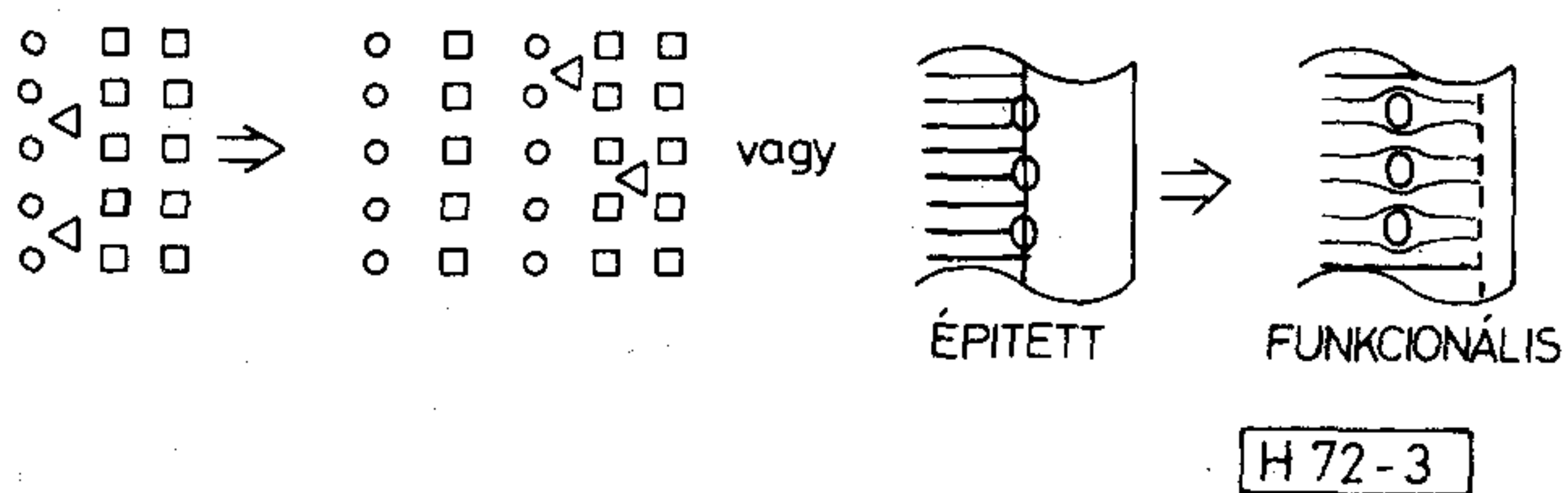
A méretek VLSI, sőt: ULSI (Ultra Large Scale Integration) szintű csökkentése egy érdekes következménnyel jár. Ha egy tranzisztor méretei nagyságrendben a 10–100 nm tartományba esnek, akkor egy implantációs küszöbfeszültség beállítás mintegy tíz bór atomnak a csatornába juttatását jelenti. Ilyenkor az általuk létrehozott elektromos tér egyáltalán nem tekinthető folyamatosnak, hanem lokálisan befolyásolja a töltéshordozók mozgékonyaságát. A vezetés olyasmí, mint egy autóverseny a cseppkőbarlangban (2. ábra). A kis méretek miatt egyre nagyobb esélye van annak, hogy az elektronok nem is ütköznek (ballisztikus vezetés). Ekkor a kristályrácsnak már „csak” annyi a szerepe, mint az elektroncső üvegfalának, azaz a vákuumedénynek: kifeszíti azt a teret, ahol a jelenségek lejátszódnak.

Az építkezési stratégia alternatívái.

A technológiai higiéné gyengéit úgy lehet hatástalanítani — és ez a megszokott a mai elektronikai technológiában — hogy igyekszünk szeparálni a funkcionális határréteget (pn-átmenet, szilícium-szilícium-oxid határréteg, Schottky barrier, kontaktus) az építőltől (3). Azaz egy rétegépítő módszerrel (pl. CVD) leválasztott réteg „épült” határfelületét hőkezeléssel odébb mozdítjuk, hogy a felület esetleges szennyezé-



2. ábra. Fantáziakép egy VLSI MOS tranzisztor gate elektródája alatti elektronvezetésről. Látható, hogy a mindössze néhány implantált bóratomot tartalmazó tértöltési rétegben szinte akadálytalanul repülnek a töltéshordozók



3. ábra. Sematikus rajz épülő és a végső, funkcionális felület eltávolításáról például hőkezeléssel

sei olyan térrészekbe inkorporálódjanak, ahol hátrányos hatásai kevésbé mutatkoznak meg (3. ábra). Ilyen például a termikus oxid növekedésének végén a nemesgázban végzett hőkezelés, amikor is a diffundáló oxigén koncentrációja fokozatosan lecsökken és az utolsó atomi oxidrétegek kialakulnak — nagy felületen szinte lépcsőmentesen.

E stratégiának mostanában alakul alternatívája: az UHV technika fejlődésével elegendő egyetlen atom-sornyi és felület menti mozgási szabadságot adni az érkező atomoknak, hogy hibamentes szerkezet épülhessen — ez a molekulaszugaras epitaxia (MBE). Ennek energikusabb változatai, amit például az Ion Cluster Deposition már átvezet egy új, általánosabb stratégiai elvhez.

A termikus egyensúly alternatívái

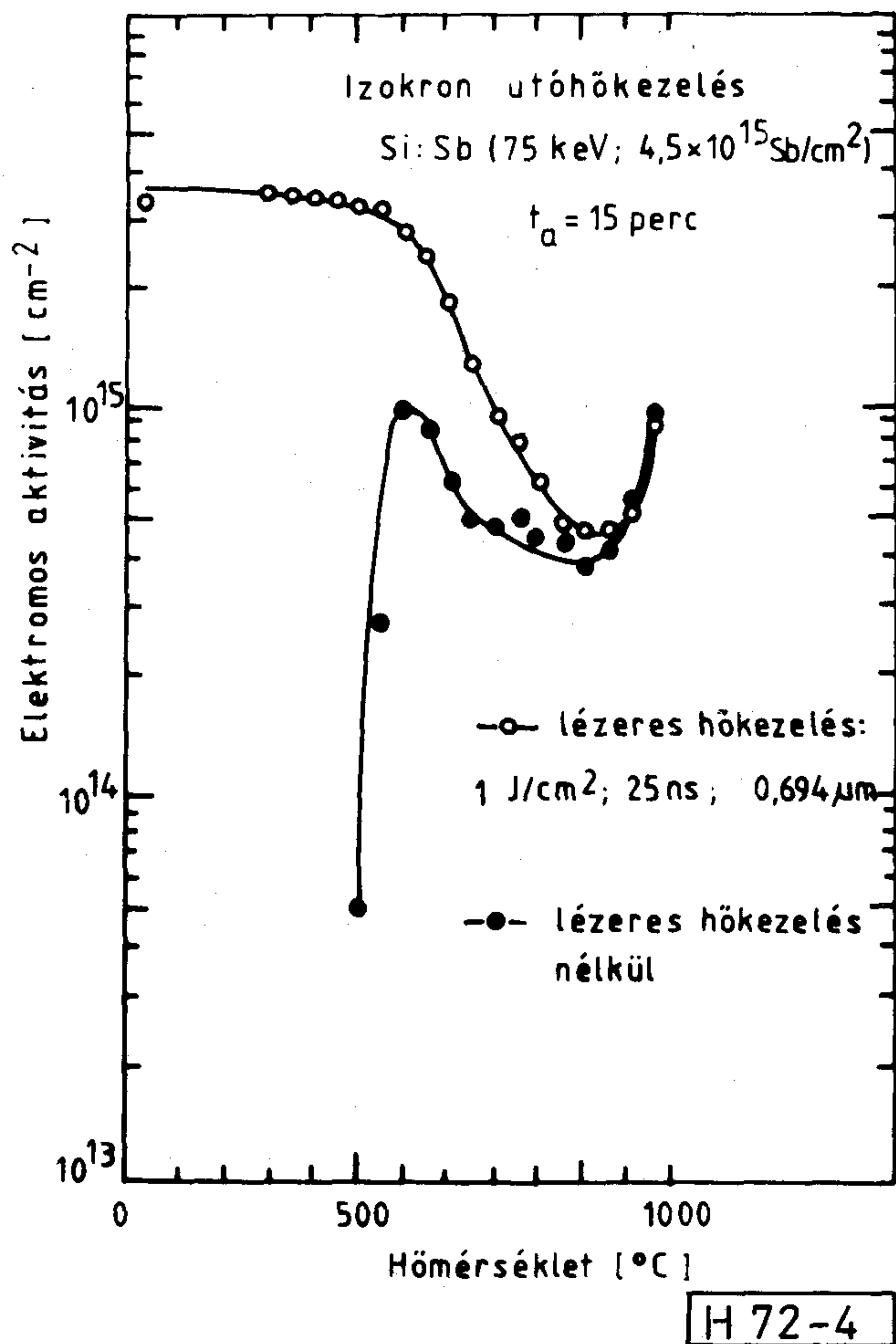
Egy heterogén rétegszerkezet, ahol különféle anyagok, eltérő fázisok vannak, sosem lehet valódi egyensúlyban, de a technológiának legklasszikusabb módszerei (termikus diffúzió stb.) az épülő rendszert közelítik ehhez az állapothoz. Ennek fő előnye, hogy az üzem közben fellépő anyagmozgások nagyságrendekkel kisebbek, azaz az eszköz alig öregszik. Ha pontosan gondolkodunk, egy kemencéből való kivétel mindig jelent bizonyos „befagyasztást”, azaz a kialakuló állapot némileg metastabil.

Manapság alapvető jelentőségűvé nőttek azok a módszerek (elsősorban az ionimplantáció), amelyek úgynevezett *metastabil állapot*hoz vezetnek. Ezeknél az ionos, lézeres, elektronbesugárzásos eljárásoknál lényegében arról van szó, hogy az irányított, lokális energiaközlést követően (annak energiasűrűségétől függően) szilárd- vagy folyadékfázisú reakciók indulnak meg, amelyek addig játszódnak, amíg az anyag hővezető képessége (és a szilícium kitűnő hővezető!) révén lehűl a gerjesztett térfogat. Szilícium esetén pl. 15 m/s — igen: tizenöt méter másodpercenként — az a dermedési sebesség, amely felett a szilícium már csak amorf állapotba tud „rendeződni”. (Ma kb. 60 m/s a rekord kis behatolási mélységű pikoszekundumos lézerpulzussal melegítve). Ma „sokszorosán” egymásba alakuló metastabil állapotok is használható rendszerek lehetnek pl. ionimplantált adalék-eloszlás lézeres hőkezelése után.

A termikus egyensúly előnyeinek elvesztését az így létrehozható, korábban elképzelhetetlen szerkezetek új funkciói kárpótolják. Például az antimon adalék emitter célokra azért nem volt használható, mert egyensúlyi szilárd oldékonysága mindössze 4×10^{19} atom/cm³ (egy atom ezrelék alatt szilíciumban).

A metastabil állapotok stratégiája itt először implantációval belekényszerít nagy mennyiségű antimont a szilíciumba, majd lézeres hőkezeléssel rácspontba viszi, „aktiválja” őket és 100%-os elektromos aktivitást ér el az atomszázalék koncentráció-tartományban. Ha azonban ezt a réteget kemencében felmelegítjük, a metastabil állapot összeomlik — és a végállapot azonos azzal, mintha lézert nem használtunk volna, azaz a rendszer öregedésével számolni kell. Ennek első kimutatása hazai eredmény (4) (4. ábra).

Az előzőekből látszik, hogy az analitikai vizsgálati módszereknek nehéz feladataik vannak: atomisztikus rendtől való apró eltéréseket kell igazolniok, korrelációba hozniok a technológia gyengéivel. Ilyen helyzet-



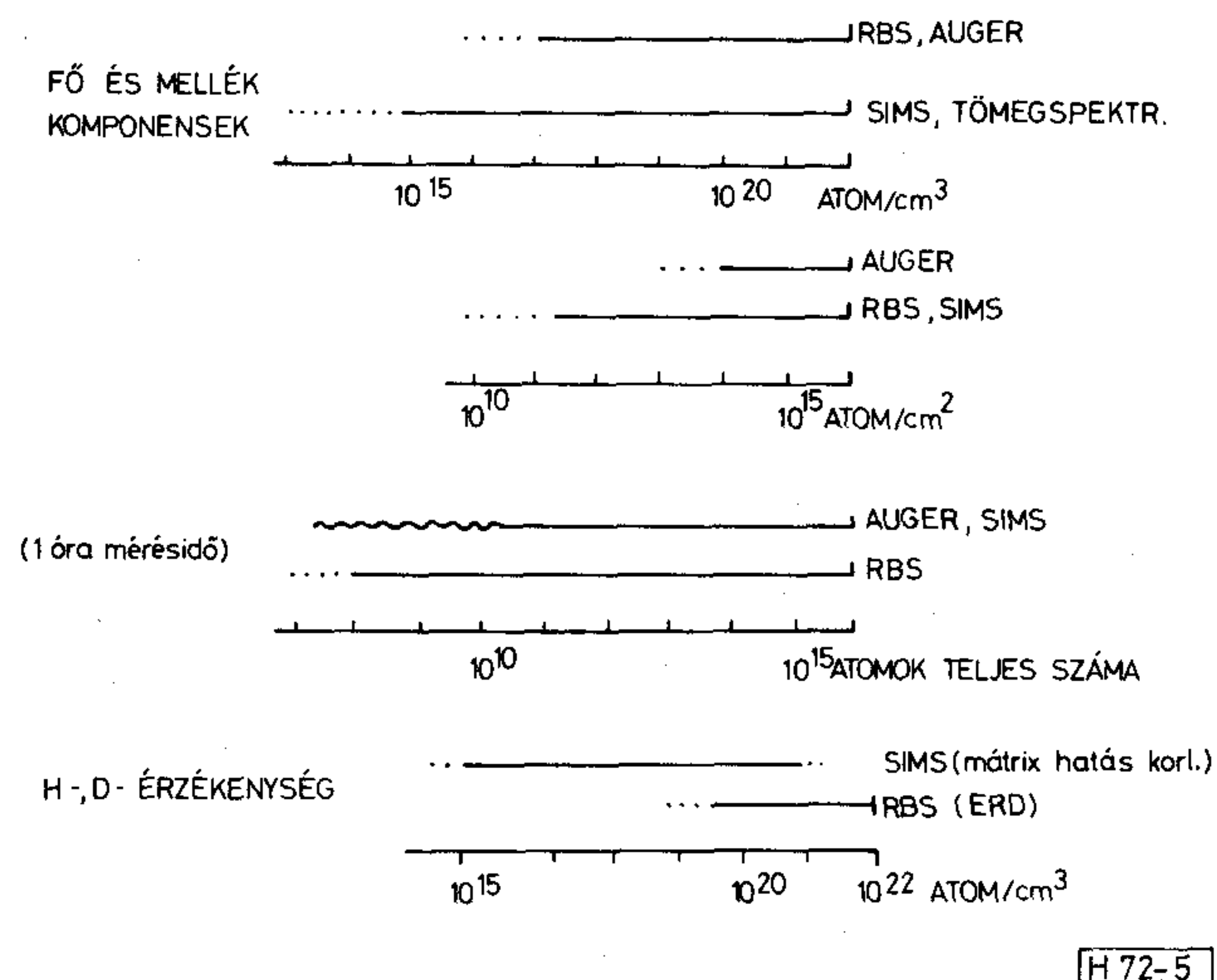
4. ábra. Egy lézeres hőkezeléssel tökéletesen elektromosan aktivizált implantált metastabil szerkezetének összeomlása hőkezeléssel 900° táján a vezetőképesség ugyanakkora, mint a lézerrel nem kezelt, csak kemencében aktivált rétege (4)

ben szokott az ipari haladás nagysándori megoldásokat alkalmazni. Ma ez a mikroelektronikában azt jelenti, hogy olyan mértékben reprodukálható technológiai körülményeket teremt, ahol a keletkező termékek olyan mértékben „klónjai” egymásnak, hogy a funkcionális mérés a fő analitikai eszköz. Ez a teljes automatizáció, robotizáció. Az egyre komplexebb eszközöknél, például az egy Si-szeleten kialakított teljes számítógépnél még egy stratégiai módosulás szükséges:

A szeletjavítás. Egy, az előzőekben is említett komplexitású áramkör olyan értéket képvisel, hogy egyszerű „go-no go” tesztekkel nem szabad minősíteni: a 100%-os kihozatal a követelmény. Ezt pedig csak úgy lehet elérni, ha javítjuk a szelet esetleges hibáit lézerrel, ionsugárral, elektronokkal, lokális rétegleválasztásokkal (pl. lézeres CVD-vel). Itt az analitika ma még ritkán jelent indikációt — inkább a vizuális (pásztázó elektronmikroszkóp) ellenőrzés mutat rá a hibákra. De végül is egy nemdestruktív mikroanalízis szerepe is jelentős lenne. (Sajnos, például a legdirektebb módszer a transzmissziós elektronmikroszkópia destruktív.)

2. A mérés és know how ellentmondása, a mérések igényei

A bonyolult áramkörök tesztelhetőségére itt nem térünk ki. Van a gyártásközi, illetve minősítő mérésnek



5. ábra. A legfontosabb felületanalitikai módszerek érzékenységeinek összehasonlítása. A feladattól függ, hogy melyik módszert célszerű választani.

és a piaci követelményeknek is egy ellentmondása. Ebben a dinamikus szakmában az elsőség és a know how birtoklása még jelentősebb, mint más területen. A know how lényegét azzal az aforizmával is kifejezhetjük, hogy az azt a tudást tartalmazza, hogy mit, mikor és hol *nem* kell mérni (csak a körülményeket kézben tartani). Mivel a szilíciumot, vegyszereket mindenki nagyjából azonos áron vásárolja, extraprofitot csak olyan tényezőkkel szerezhet, mint a mérésen megtakarított összeg. A lemaradás ilyen úton is szedi a vámot.

Az áramkörök elektromos és funkcionális mérései a legjelentősebbek — de csak az úgynevezett mérőábrák bonyolult rendszerén végrehajtott mérések kiértékelése vezethet egy-egy technológiai lépés konkrét hibájának felismeréséhez. Egyetlen tranzistor elektromos kiértékelése csak implicit információkat szolgáltat legtöbbször.

Ezért van analitikai eljárásoknak létjogosultsága annak ellenére, hogy azok csak modellhelyzeteket tudnak kiértékelni — ezeket viszont direkt eredménnyel.

Ma már egy csokorra való olyan módszer áll rendelkezésre, amely egy-egy kölcsönhatás végtermékéből (legyen az elektron, ion, foton) visszakövetkeztet a vizsgált rendszer eredeti állapotára. A legelterjedtebbek és legfontosabbak az elektronmikroszkópok, amelyek direkt képet adnak a felületről, ill. metszetkészítés után a valamivel mélyebb rétegekről is.

Széles körben alkalmazzák a szekunder ion tömegspaktrometriát (SIMS), Auger spektroszkópiát (AES) vagy a Rutherford visszaszórást (RBS).

Hogy melyik módszert válasszuk, az az adott problémától függ. Az „érzékenység” fogalma ugyanis eléggé ambivalens. Ha egy kis koncentrációban eloszlott adalék profilja érdekel, azaz egy olyan grafikont szeretnénk készíteni, amely a mélység függvényében atom/cm³ egységekben mért koncentrációt mutat be, a SIMS-nek aligha lesz versenytársa (bár kvantitatív-vá tenni azt a mérést nem mindig sikerül).

Ha egy könnyű anyagra (pl. grafit) adszorbeált kis mennyiségű („szubmonoréteges”) bevonat kvantitatív

meghatározása érdekel atom/cm² egységekben, RBS-szel a monoréteg százazred részét is gyakran meg lehet kvantitatíve mérni. Ezeket mutatjuk be az 5. ábrán.

Vagy, ha egyetlen mérésből és gyorsan mélységfüggő atomösszetételt, valamint szerkezeti információt akarunk roncsolásmentesen szerezni, ismét az RBS-t választjuk.

3. Hazai lehetőségek

Hazánkban sok módszer áll rendelkezésre, de szinte valamennyi technikailag megújítandó állapotban. Szépen segítették a hazai ipart és néhány kutatóhely nemzetközileg is elimert eredményeket ért el.

Az e témában rendezett HTE-szimpózium egyik előadása ismertette a mélynívó spektroszkópiát és a méréshez hazailag megvalósított berendezést.

Itt egy olyan, elsősorban a RBS-módszer alkalmazásával elért eredményt mutatok be, amelyet a szerző a J. W. Mayer (Cornell University) csoportjai érték el a szilícium zafíron struktúra (SOS) minőségének nagyságrenddel való megjavításában.

A szilícium jól nő epitaxián a zafíron, de a szoba-hőmérsékletre való lehűtés óriási feszültségteret eredményez a határrétegben. A korábbi, úgynevezett „tökéletes adalékolás”-nak nevezett módszerünk (5,1) egy változatát — amelyet inverz epitaxiának nevezhetünk — alkalmaztuk a Si-Al₂O₃ szendvicsre: szilíciumionokat implantáltunk a szilícium csatornáinak irányával párhuzamosan azért, hogy a szilícium réteg felszíne jó kristály maradjon, de a határréteg amorfizálódjék. Ezt követően most nem a zafír felől, hanem a felületi jó kristály felől lenővesztettük a szilíciumot a határrétegig. Ezt meg lehetett tenni mintegy 600°-on. Így az amúgy is kisebb feszültségteret kis vastagságra szorítottuk (6). Ezzel a módszerrel készítik ma a korábbiaknál nagyságrenddel kisebb visszáramot mutató integrált áramköröket a SOS szendvicsen (7).

Egy elvi kérdést kívánok ezzel kapcsolatban leszögezni: ezt a példaként citált eredményt sosem lehetett volna elérni „az iparnak végzett bér munka, bér-mérés” koncepcióban. Itt az ipari fejlesztőkkel kongeni-

ális anyagtudósnak és az anyagtudóssal kongeniális ipari fejlesztőnek közös érdekltségben kellett lennie.

Az elektronikai iparnak végül is kétféle vizsgálati igénye van: a napi termelés kritikus pontjainak ellenőrzése (helyben), ill. a K + F munka, amely helyileg lehet távolabb, de érdekltségben kötelezően közeli: ismerni kell egymás problémáit, egymás know how-ját olyan mélységig, hogy az ipar jól tudjon kérdezni és az anyagtudós úgy tudjon válaszolni, hogy arra is kitérjen, amit nem is kérdeztek.

Végül néhány szó az utánpótlásról. Napjainkban egy új veszély jelentkezik. Mivel pl. a programírás sokkal rövidebb úton vezet sikerélményhez — és ezt ma minden fórum, végül is helyesen, támogatja —, a technikai érdeklődésű fiatalság alig vonzódik az anyagtudományhoz, technológiához. Pedig a modelleket meg is kell csinálni, nem elég gépen lejátszani az életet! Létre kell hozni azokat a mozgatókat, amelyek az anyagtudomány, technológia felé való közeledésre ösztönzik az egyemetek végző ifjúságot. Ma ugyanis gond a káderutánpótlás.

IRODALOM

- [1] J. Gyulai: az „Ion implantation: Science and technology”-ban, ed. J. F. Ziegler, Academic Press, New York, 1984. 139—210. o.
- [2] M. Pasemann—O. P. Pchelyakov: J. Cryst Growth 58, 288 (1982).
- [3] J. W. Mayer—J. Gyulai: az „Applied Atomic Collision Physics”-ben, ed. S. Datz, Academic Press, New York, 1983, Vol. IV, 545—575. o.
- [4] P. Révész—G. Farkas—J. Gyulai: Rad. Effects 47, 149 (1980).
- [5] L. Csepregi—E. F. Kennedy—T. J. Gallagher—J. W. Mayer—T. W. Sigmon: J. Appl. Phys. 48, 4234 (1977).
- [6] S. S. Lau—S. Matteson—J. W. Mayer—P. Revesz—J. Gyulai—J. Roth—T. W. Sigmon—T. R. Cass: Appl. Phys. Letters 34, 76 (1979).
- [7] I. Golecki—G. Kinoshita—B. M. Paine: Nucl. Instr. Meth. 182/183, 675 (1981).

Beszámoló

8. Nemzetközi konferencia a fizikai rendszerek zajáról,

4. Nemzetközi konferencia az 1/f zajról

Az 1968-ban, illetve 1977-ben indult két konferenciasorozat [1] összevont formában immár másodszor került megrendezésre, ezúttal Rómában, 1985. szeptember 9—13. között. Megrendezését az indokolja, hogy valamely fizikai rendszerben fellépő ingadozásjelenségek olyan felvilágosítást is adhatnak a rendszerről, amihez más úton aligha juthatnánk hozzá — pl. új félvezető eszközök, passzív alkatrészek, biológiai rendszerek működése tanulmányozható ilyen módon.

Az 1/f, más néven flicker zaj — bár kereken fél évszázada ismert — még mindig fejtörés elé állítja a kutatókat. Sem a pontos fizikai ok, sem pedig a frekvencia-menet általános magyarázata nem ismeretes. Egy kvantummechanikai magyarázat már az előző konfe-

renciákon is heves vitákat váltotta ki és ezek most is folytatódtak.

Magyaroszágról 3 résztvevő volt, közülük ketten összesen három előadást tartottak. A Nemzetközi Tanácsadó Bizottság javasolja, hogy a következő, 1987-es konferenciára Montrealban, az 1989-esre pedig Budapesten kerüljön sor.

Dr. Ambrózy András

- [1] Ambrózy A.: Beszámoló a zajok (ingadozásjelenségek) nemzetközi konferenciáiról. Híradástechnika XXXIV. 1983/10, p. 455—456.

A DIPEX tároltprogram vezérlésű digitális alközpontok forgalmi vizsgálata*

ÁGOSTHÁZI MARGIT, DR. GOSZTONY GÉZA, SCHULLER J. ATTILA,
SZENTIRMAI FERENCNÉ
BHG Híradástechnikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

A DIPEX a BHG kis kapacitású TPV digitális alközpontcsaládja. Az egy vagy két időosztásos buszból felépülő kapcsolómező vizsgálata számításokkal, illetve egy SIMULA 67 nyelven írott, CDC 3300-as számítógépen futó utánozóprogram felhasználásával történt. A vezérlőegység hívásfeldolgozó képességének meghatározására egy speciális keretprogram készült, amely magán a vezérlő processzoron, annak szabad idejében fut, vizsgálóhívásokat állít elő, és megfigyeli azokat.

1. Bevezetés

A BHG által gyártott DIPEX-rendszer egy mikroprocesszoros vezérlésű digitális alközpontcsalád, amely legfeljebb 100 mellékállomás kiszolgálására készült. Ebben a tartományban a rendszer különböző célokra használható fel, az egyszerű háziközponttól egészen a legbonyolultabb alközponti elrendezésekig.

A rendszer három fő részből áll: (1) a vezérlőegységből, (2) az időosztásos kapcsolómezőből és (3) a vonalsatlakozó áramkörökből (1. ábra) [HORV 84].

A forgalmi vizsgálatok a vezérlőegységre és a kapcsolómezőre terjedtek ki. Általánosan érvényes, hogy a telefonközpontok forgalmi kapacitása veszteségi és várakozási szolgáltatási szint paraméterekkel jellemezhető. A DIPEX-rendszerben a kapcsolómező veszteséget, a vezérlőegység várakozást okozhat. A kapcsolómező vizsgálata számításokkal és számítógépes utánzással történt. A vezérlő szoftver vizsgálatára egy speciális utánozóprogram készült, amely magán a vezérlő mikroprocesszoron fut.

2. Kapcsolómező

A kapcsolómezőben a kapcsolások 32 csatornás PCM-buszokon építhetők fel. A bemenetek csoportokba vannak rendezve, utóbbiak a buszok egyikéhez csatlakoznak. A bemenetek különféle típusú forgalomforrásokat képviselnek. Normál kapcsolások céljára minden buszon 30 időrés áll rendelkezésre. Az ugyanahhoz a csoporthoz tartozó két bemenet összekapcsolására két szabad időrés kell legyen az illető csoporthoz tartozó buszon. Ha az összekapcsolandó bemenetek két külön csoporthoz tartoznak, akkor egy-egy szabad időrésre van szükség az érintett buszokon. Követelmény, hogy ezek az időrészek koincidensek legyenek, a kapcsolómező tehát egy térkapcsolót valósít meg. Az egyes bemeneti csoportok/buszok szempontjából „belső” és „külső” forgalomról lehet beszélni.

*A TELECOM '85 konferencián elhangzott előadás bővített változata — Várna/Bulgária, 1985. okt. 17—19.

Beérkezett: 1985. VIII. 7. (#)

ÁGOSTHÁZI MARGIT

A Budapesti Műszaki Egyetemen 1967-ben okleveles villamosmérnöki, 1972-ben szakmérnöki oklevelet szerzett. 1967 óta dolgozik a BHG Híradástechnikai Vállalatnál.

1970 óta foglalkozik forgalomelméleti kérdésekkel. Fő területe a telefontechnikai vezérlőáramkörök forgalmi kapacitásának vizsgálata.

1975—81 között a BHG üzemi csoportjában, 1981-től a HTE-ben titkár.

2.1. Az egybuszos kapcsolómező

Az egy buszból felépülő kapcsolómező egy egyszerű teljes elérhetőségű csoportot képez, véges számú forgalomforrással és belső forgalommal. Erre a célra három matematikai modellt vizsgáltunk meg. (A) A belső forgalomra vonatkozó közönséges Engset-modellt, (B) ennek a modellnek egy módosított változatát, amely figyelembe veszi a hívott foglaltságát [BAZL 73] és (C) az utóbbi modellt, kiegészítve a megismételt híváskísérletek hatásának figyelembevételével. Itt a [HONI 76]-ban használt közelítő számítási módszert alkalmaztuk. Az egy csoporthoz tartozó bemeneteknek feltevés szerint azonos forgalmi jellemzőik vannak.

2.1.1. Az A modell

Poisson-típusú, véges számú forgalomforrást feltételezve, i időréspár egyidejű foglaltságának valószínűsége könnyen kiszámítható az alábbi stacionárius állapotegyenletekből:

$$P(i) = \frac{\alpha^i}{i!} \prod_{j=0}^{i-1} (M-2j) P(0) \quad (1)$$

ahol

$$P(0) = \left[1 + \sum_{k=1}^N \frac{\alpha^k}{k!} \prod_{l=0}^{k-1} (M-2l) \right]^{-1}$$

N — az időréspárok száma

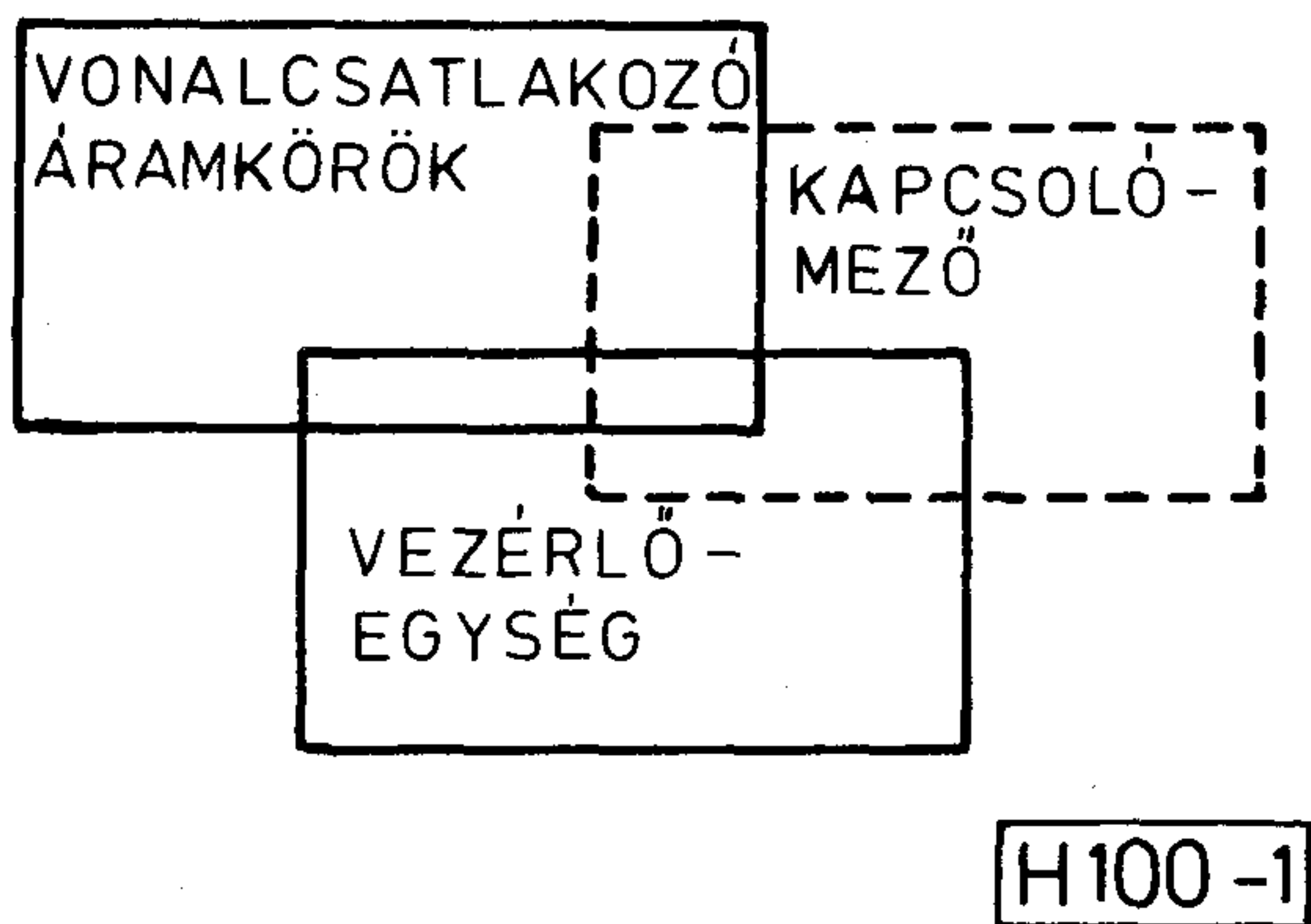
M — a busz bemeneteinek száma

α — egy szabad forgalomforrás kezdeményezett forgalma:

$$\alpha = \frac{a}{2} \frac{1}{1 - (1-B)a}$$

a — a bemenetenkénti felajánlott forgalom

$$B = \frac{\alpha(M-2N)P(N)}{M \frac{a}{2}}$$



1. ábra. A DIPEX rendszer fő részei

amely utóbbi a veszteség valószínűsége (torlódás a kapcsolómezőben).

Ezek a képletek némileg módosított változatai a jól ismert Engset-modellnek, $P(i)$ és B iterációs eljárással határozhatók meg. Ezt a számítást azonban nem kell elvégezni, mert a belső forgalmú Engset-modell egyszerűen átalakítható az eredeti Engset-modellé, behelyettesítve M helyébe $M/2$ -t és α helyébe 2α -t. Ezáltal a fenti összefüggések formálisan egy olyan rendszerre vonatkoznak, amelyben $M/2$ forgalomforrás van egyenként a felajánlott forgalommal, és N teljes elérhetőségű kiszolgálószerv. Az ilyen rendszer forgalmi méretezése a rendelkezésre álló táblázatok és görbésereg segítségével elvégezhető.

2.1.2. A B modell

Tételezzük fel, hogy egy új hívás egyenlő valószínűséggel irányulhat a forgalomforrások akármelyike felé, kivéve természetesen a kezdeményező forgalomforrást. i számú, már fennálló kapcsolást feltételezve a hívott foglaltságának valószínűsége $2i/(M-1)$. A „lost calls cleared” (a torlódott hívások törlődnek) elvet alkalmazva, az új állapotegyenletekből a következő összefüggések vezethetők le:

$$P(i) = \frac{\alpha^i}{i!} \prod_{j=0}^{i-1} (M-2j) \left(1 - \frac{2j}{M-1}\right) P(0), \quad (2)$$

ahol

$$P(0) = \left[1 + \sum_{k=1}^N \frac{\alpha^k}{k!} \prod_{l=0}^{k-1} (M-2l) \left(1 - \frac{2l}{M-1}\right) \right]^{-1}$$

$$\alpha = \frac{\frac{a}{2}}{1 - (1 - F(a))a}$$

$F(a)$ — a hívás sikertelenségének valószínűsége, amely két kifejezésből áll:

$$F(a) = B(a) + BY(a) = \frac{\alpha(M-2N)P(N)}{M \frac{a}{2}} + \frac{\alpha \sum_{i=1}^{N-1} (M-2i) \frac{2i}{M-1} P(i)}{M \frac{a}{2}}. \quad (3)$$



DR. GOSZTONY GÉZA

Fizikusi diplomát és dr. rer. nat. fokozatot az Eötvös Lo-

ránd Tudományegyetemen szerzett 1958-ban ill. 1973-ban. A megismételt telefonhívások forgalmi vizsgálatával kapcsolatos eredményeiért kandidátusi fokozatot kapott 1982-ben. 1963 óta dolgozik a BHG-ban, jelenleg mint a fejlesztés forgalmi méretezési munkáinak irányítója. 1976–1984 között a CCITT II/4 Munkacsoportjának, 1985 óta a II. Tanulmányi Bizottságnak elnöke. Tagja az International Teletraffic Congress állandó nemzetközi tanácsadó testületének. A HTE és az NJSZT tagja.



SCHULLER JÓZSEF ATTILA

1978-ban szerzett matematikusi diplomát az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. Azóta dolgozik a BHG Fejlesztési Intézetében. Az elmúlt években a gyártmányfejlesztéshez kapcsolódó forgalmi méretezési feladatok mellett speciális területként a távközlési rendszerek szolgáltatás használhatóságának matematikai modellezésével és időosztásos kapcsolómezők forgalmi vizsgálataival foglalkozott. Jelenleg a DIPEX alközpontcsalád szoftver fejlesztésében vesz részt.

Itt $B(a)$ a hívástorlódás valószínűsége a kapcsolómező telítettsége miatt, $BY(a)$ pedig a hívott forrás foglaltsága miatti sikertelenség valószínűsége. Ez a modell a [BAZL 73]-ban közölt modellnek egy speciális változata.

A (3) szerinti összetett sikertelenségi valószínűség meglehetősen nagy (1. táblázat).

1. táblázat
A B modellel kiszámított összetett sikertelenségi valószínűség

A bemenetek száma, M	40	60	80	100	120
A híváskísérletek sikertelenségi valószínűsége, $F[\%]$	55,0	33,0	23,7	18,6	15,4
Torlódási valószínűség, $B[\%]$	1				

Az ilyen mértékű sikertelenségi valószínűségek azonban jelentős mértékű hívásismétlést okoznak, aminek a hatása már nem hanyagolható el.

2.1.3. A C modell

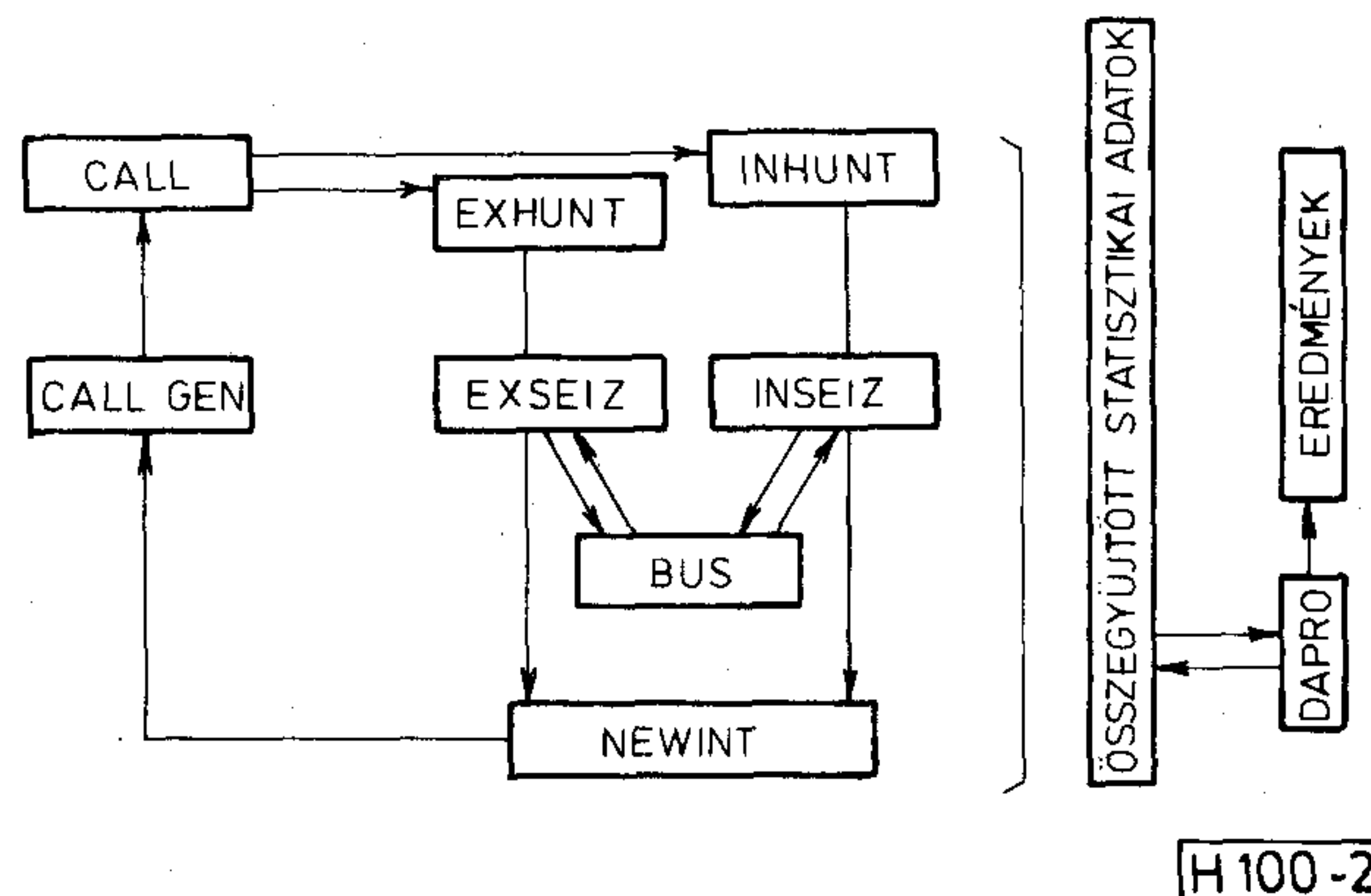
A hívásismétlések figyelembevételére a [HONI 76]-ban leírt közelítő számítási módszert használtuk fel. Ez abból az alapfeltevésekből indul ki, hogy a megismételt híváskísérleteket is tartalmazó új bemeneti folyamat változatlanul Poisson-folyamat marad. Így



SZENTIRMAI FERENCNÉ

1972-ben kezdett dolgozni a BHG-ban programozóként. 1978-ban üzemmérnöki oklevelet szerzett a Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskolán.

Munkaterülete a telefonközpontok forgalmi méretezése kapcsán felmerülő problémák számítógépes utánpótlással történő megoldása.



H100-2

érvényes marad a (3) erre az esetre is, de fiktív megnövelt felajánlott forgalommal, amely az alábbi implicit összefüggésből határozható meg:

$$a^* = a\beta[F(a^*), H(i)] \quad (4)$$

ahol a^* — a bemenetenkénti fiktív felajánlott forgalom,
 a — az eredeti bemenetenkénti felajánlott forgalom (első híváskísérletek) és

$$\beta[F(a^*), H(i)] = 1 + \sum_{j=1}^{\infty} [F(a^*)]^j \prod_{i=1}^j H(i)$$

az ismétlési állandó. $H(i)$ az i -edik sikertelen híváskísérlet utáni ismétlés valószínűsége. $F(a^*)$ ugyanúgy számítható ki, mint $F(a)$ a B modellben, de α helyett egy fiktív α^* -ot kell bevezetni. Mivel (4) szerint a^* implicit alakban van megadva, az egész számítás végül is kétszeres iterációt igényel. Az eredményül kapott $F(a^*)$ -ot használtuk fel a híváskísérletek sikertelenségi valószínűségének becslésére. A torlódási valószínűségek 1% körüli tartományában az eredmények nem bizonyultak érzékenyek $H(i)$ változásaira.

2.2. Kétfuszos kapcsolómező

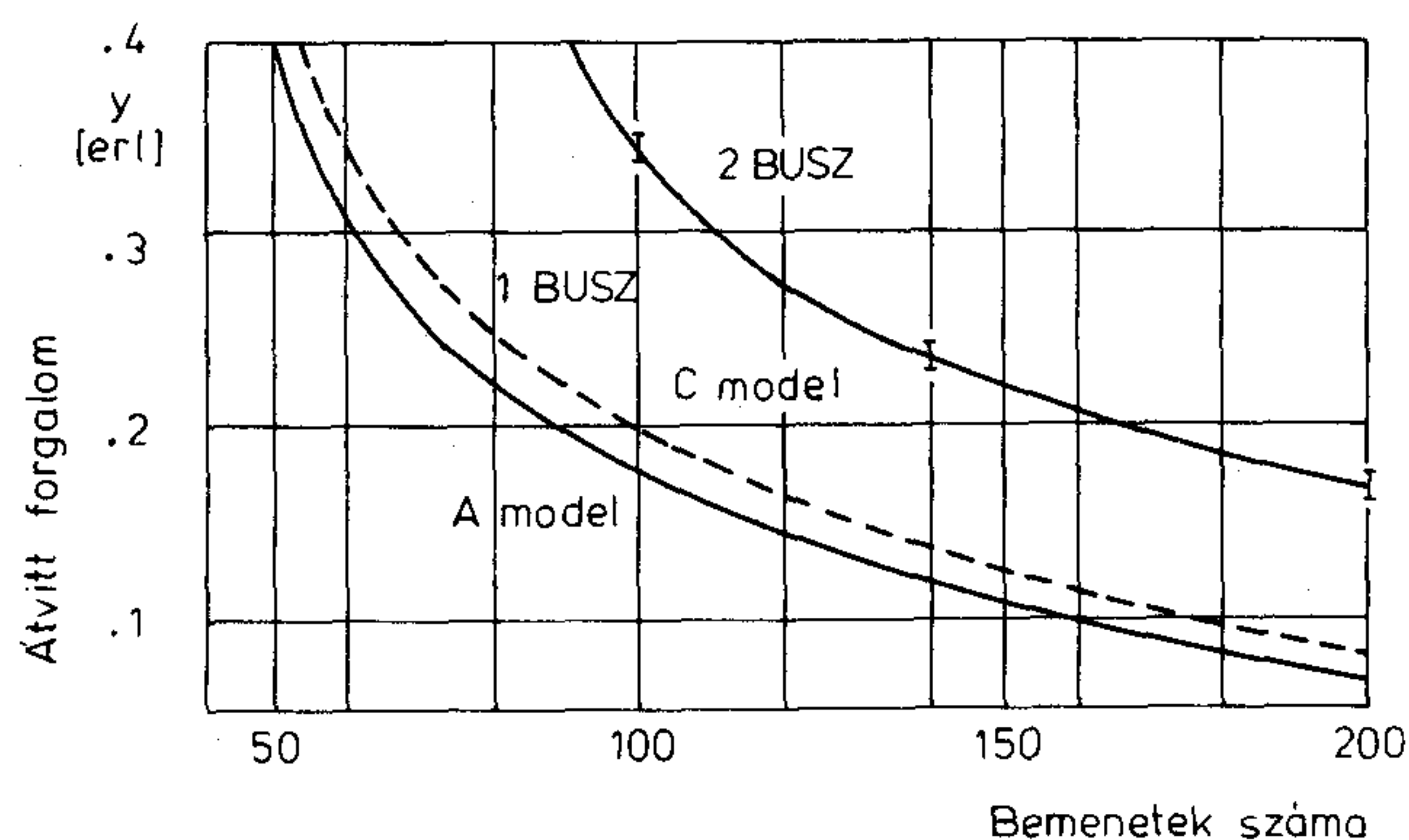
A kétfuszos kapcsolómezők vizsgálatára egy általános, SIMULA 67 nyelven írott utánpótlóprogram készült.

2.2.1. Az utánpótlóprogram

Az új híváskísérleteket a **PROCESS CLASS CALL-GEN** állítja elő. Egy híváskísérlet a buszok valamelyikéhez van rendelve. A két egymást követő híváskísérlet közötti időtartam exponenciális eloszlású. A **PROCESS CLASS CALL** írja le a híváskísérletek tulajdonságait. A belső és külső hívások szabadút-keresését a **CALL CLASS INCALL**, illetve a **CALL CLASS EXCALL** végzi. A **CLASS BUS** tartalmazza a PCM busz tulajdonságait.

Az utánpótlás folyamán a kívánt számú **CALL CLASS INCALL**, **CALL CLASS EXCALL** és **CLASS BUS** egyidejűleg létezik, a belső és külső hívásokat, illetve buszokat képviselve. A belső és külső hívásokat a **PROCEDURE INHUNT** és **PROCEDURE EXHUNT** hajtja végre, az időrések lefoglalását a **PROCEDURE INSEIZ** és **PROCEDURE EXSEIZ** végzi. Utóbbi eljárások intézik a tartásidők nyilvántartását és a bontásokat.

2. ábra. Az utánpótlóprogram részeinek együttműködése



H100-3

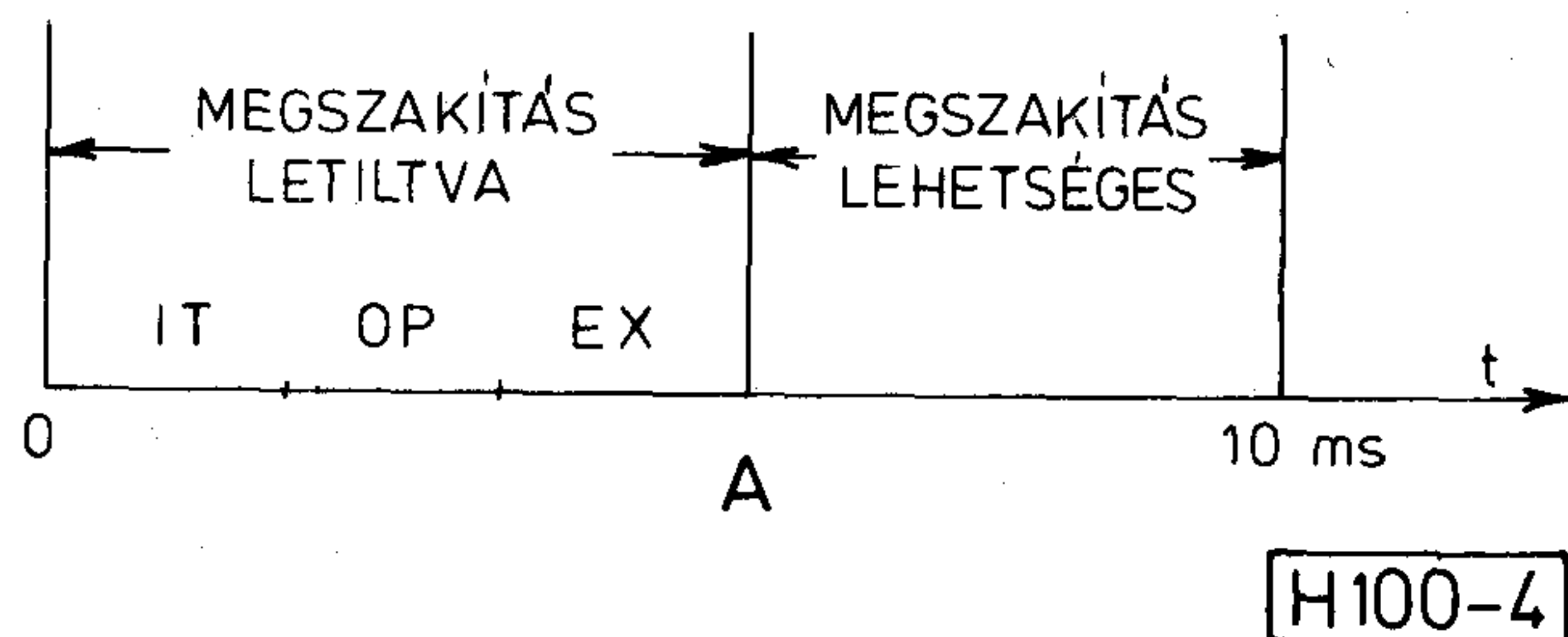
3. ábra. A kapcsolómező forgalmi kapacitása

Mivel feltevésünk szerint a bemenetek Engset-típusú forgalomforrások, ezért hívásintenzitásukat állandóan módosítani kell a szabad források számának megfelelően. Ezt a **PROCEDURE NEWINT** végzi. A **PROCEDURE DAPRO** kiértékeli az összegyűjtött adatokat. — Az 2. ábra bemutatja az utánpótlóprogram részei közötti kapcsolatokat. 25 ezer híváskísérlet végrehajtása körülbelül 15 percet igényel.

2.3. Eredmények

A kétfuszos kapcsolómező utánpótlással meghatározott forgalmi kapacitását a 3. ábra mutatja, feltüntetve az egybuszos rendszerre vonatkozó eredményeket is. Látható, hogy egy busz mindkét esetben csaknem ugyanakkora forgalmat képes lebonyolítani, tehát a belső torlódásra nincsenek jelentős hatással a másik busz bemenetei felé irányuló hívások. További közelítő és egzakt analitikus modellek vizsgálata folyamatban van, ezekről későbbi időpontban számolunk be.

Az eredmények azt is megmutatták, hogy — legalábbis az egybuszos kapcsolómező kis torlódási valószínűségeinek tartományában — a valósághoz közelebb álló, bonyolultabb modell csaknem ugyanazt a forgalmi kapacitást adja, mint a belső forgalmú Engset-modell (azaz a jól ismert Engset-képlet).



4. ábra. Az alapciklus felosztása

3. A vezérlőrendszer

Vezérlőrendszerek forgalmi kapacitását a hardver és a szoftver tulajdonságai együttesen szabják meg.

3.1. A rendszerszoftver felépítése

Az alkalmazott vizsgálati módszer bemutatásához a rendszerszoftver vázlatos ismertetése szükséges.

A rendszer működése 10 ms-os, úgynevezett alapciklusokon alapul. Az alapciklusok felosztását a 4. ábra mutatja. Az alapciklus egy időzítő megszakítással kezdődik, és két fő részre tagolódik: az elsőben a megszakítások le vannak tiltva, a másodikban a rendszer elfogad megszakításokat.

Az első szakaszban prioritásuk sorrendjében a következő programokat hajtja végre a vezérlő: a periodikus hangjelzéseket előállító, úgynevezett IT programokat, a kezelőkészlettől érkező jelzéseket fogadó és feldolgozó OP programokat, és a mellékállomásoktól származó jelzéseket fogadó és feldolgozó EX programokat.

A második szakaszban a hosszú végrehajtási idejű

programok futnak, amelyeknek nem kell szigorúan valós idejű kiszolgálást nyújtaniuk: a kezelőkészletben levő LED-ek működtetése, bontások, vizsgálóprogramok stb.

A vizsgáló programrendszer a 4. ábrán A betűvel megjelölt helyen illeszkedik a rendszerbe.

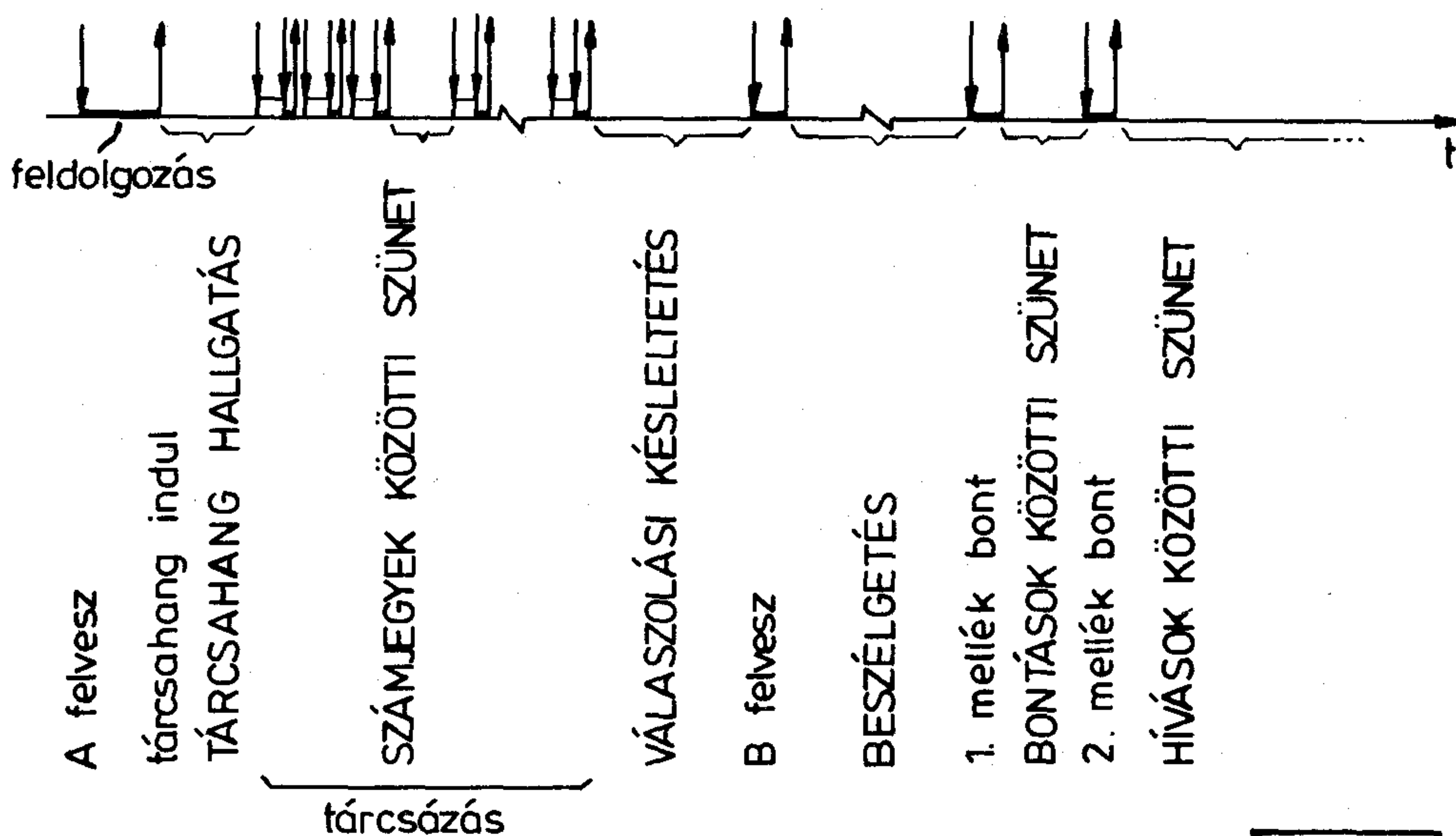
3.2. A forgalmi kapacitás vizsgálatának módszere

A vezérlő szoftver kifejlesztése során szükségessé vált a vezérlőrendszer hívásfeldolgozó kapacitásának vizsgálata. Előzetes becslés és bizonyos mérések azt mutatták, hogy a vezérlőrendszernek elegendő szabad ideje van különböző önvizsgálatok elvégzésére. Ez feltétele annak a speciális utánpótlási módszernek, amelynek fő jellemzője, hogy maga a vezérlőrendszer vizsgálóhívásokat állít elő, és azokon megfigyeléseket, méréseket végez. A vizsgálóhívások megszakításokat írnak be a scanner megszakítási táblába: ezek helyettesítik a mellékállomások tevékenységét [SOÓS 84]. A következőkben a vizsgálat bizonyos alapelveit, a gyűjtött adatok típusait, a vizsgáló programrendszer hibáinak „kigyomlálására” alkalmazott módszereket és a végrehajtott vizsgálatokat foglaljuk össze.

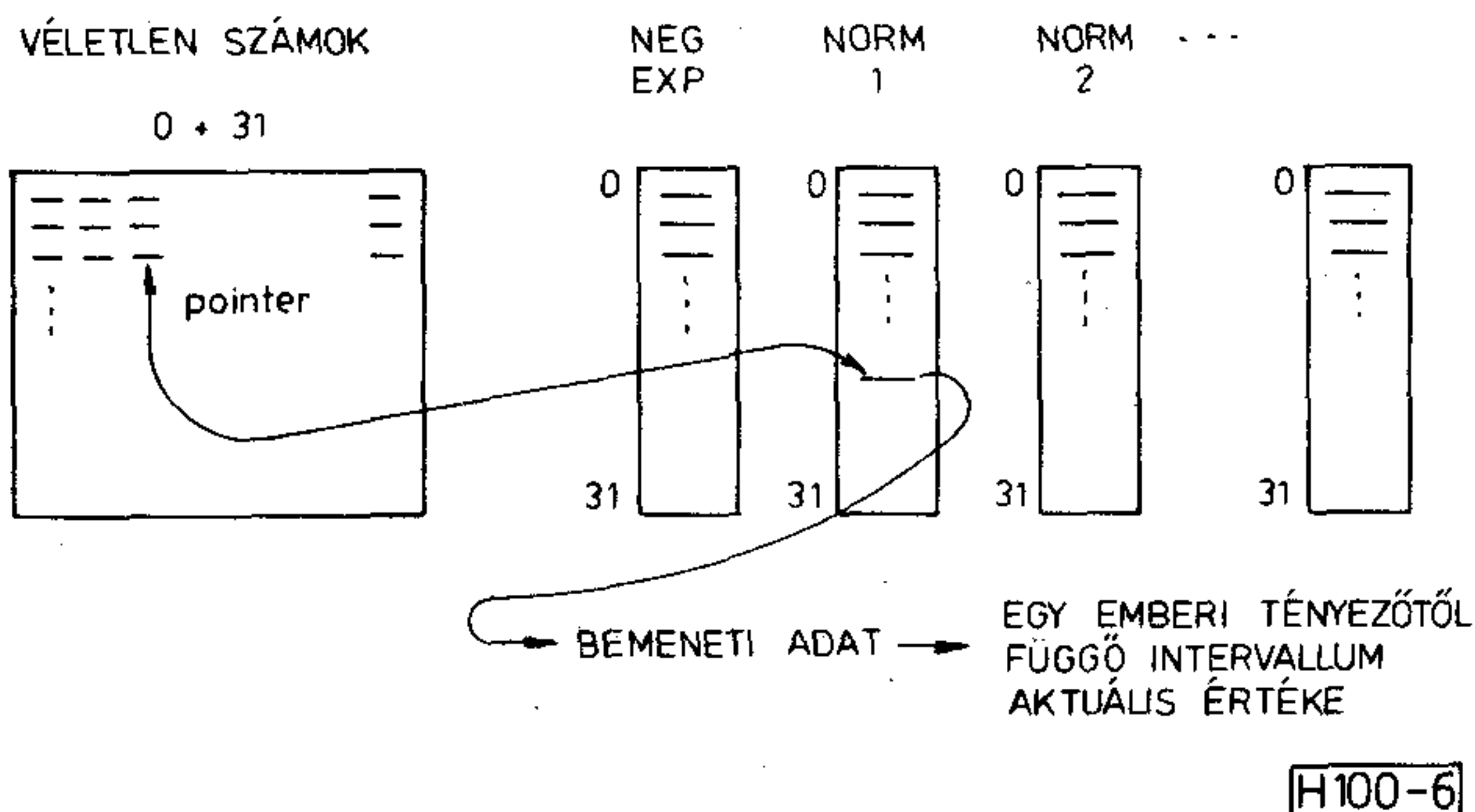
3.2.1. A hívások leképzése

Az 5. ábrán példaképpen egy központon belül maradó, úgynevezett házi hívás idődiagramja látható. A lefelé mutató nyilak jelképezik a vizsgáló programrendszer által előállított jelzéseket. A felfelé mutató nyilak a vezérlő szoftver válaszait jelentik.

Néhány időtartam emberi tényezőktől függ, ilyenek pl. a tárcsahanghallgatás, a számjegyek közötti szünet, a hívott mellékállomás jelentkezési késleltetésének időtartama, stb. Ezeknek az eloszlásai mérések-



5. ábra. Egy belső hívás idődiagramja



6. ábra. Egy emberi tényezőtől függő időintervallum megvalósítása

ből ismertek; a vizsgálat céljára 32 elemű diszkrét eloszlásaikat állítottuk elő egy erre a célra kidolgozott speciális módszerrel [CSÁS 84].

A 6. ábrán láthatók egy adott eloszlású, emberi tényezőtől függő időtartam előállításának lépései. A kiindulópont egy 0 és 31 közé eső, kb. 2 ezer darab véletlen számot tartalmazó táblázat. Egy pointer kijelöl ebben egy véletlen számot, amelynek értéke meghatározza a kívánt eloszláslista egy elemét. A kiválasztott elemet meg kell szorozni egy bemeneti adattal, amelyet minden emberi tényezőre, egymástól függetlenül lehet megadni. Ez teszi lehetővé, hogy a megszakításokat tetszés szerint felgyorsíthassuk, vagy lelassíthassuk. Például a beszélgetés tartásidőhöz tartozó bemeneti adatot 1/60-nak definiálva a beszélgetések átlagos hossza 1 másodperc lesz, a tárolt negatív exponenciális eloszlás 60 másodperces átlagos értéke helyett. Ilyen módon a feldolgozási igények rendkívül nagy sűrűségét, azaz a vezérlőrendszernek az üzemszerűnél sokszorta nagyobb terhelését lehet megvalósítani.

Néhány üzenetpárnak, azaz a hozzájuk tartozó eseményeknek különös fontosságuk van, ezért az üzenetpárok közötti időtartamok ellenőrzés céljából rendszeresen mérendők [GOSZ 80]. Például az „A mellékállomás felvesz” és a „tárcsahang indul” események közötti időintervallum fontos szolgáltatási szint paraméter, amitől elvárható, hogy ne lépjen túl egy adott értéket.

3.2.2. Adatgyűjtés, eredmények

Méréseket minden 10 ms-os alapciklusban végzünk. Az időtartam-mérések pontossága 128 μ s vagy 10 ms lehet. A mért adatokat átmenetileg a RAM memóriában tároljuk. Hogy megbízható adatokat kapjunk, a sztochasztikus szimuláció alábbi módszereit kell alkalmaznunk:

- a megfigyelések megkezdése előtt be kell *melegíteni* a rendszert: ez azt jelenti, hogy először a hívásgenerálás indítandó el, és csak miután megfelelő számú hívás él a rendszerben, akkor kezdhetők a mérések,
- a megfigyelést *több szakaszra* kell felosztani, és a szakaszok mérési eredményeiből átlagokat és konfidencia-határokat számítani,
- egy szakasz *elegendő hosszú* legyen ahhoz, hogy statisztikai egyensúlyi állapot alakulhasson ki. Esztünkben egy teljes méréssorozat 2,5 + 5 óra időtartamú volt, és több ezer hívásra terjedt ki.

Megfelelő előfeldolgozás után az összegyűjtött adatokat hexadecimális alakból decimális alakúvá alakít-

juk át. Mindezt maga a vezérlő processzor végzi offline módon, tehát a mérés-sorozat befejezése után. Az eredmények képernyőn vagy sornymaton jeleníthetők meg.

Teljességre törekvés nélkül az alábbiakban felsorolunk néhány jellegzetes eredménytípust.

(a) Eseményszámlálók

- kezdeményezett hívások száma
- sikeres hívások száma
- torlódott hívások száma
- hívott foglaltsága miatt sikertelen hívások száma

- 10 ms-os ciklusok száma stb.

(b) Szakasonként gyűjtött időtartamok

- időtáblák feldolgozási időtartama
- munkatáblák feldolgozási időtartama
- mérések teljes időtartama
- egy utánzási szakasz nettó időtartama
- egy utánzási szakasz bruttó időtartama, beleértve a bemelegítési időt
- felajánlott forgalom stb.

(c) Eloszlások

- a hívó jelentkezésétől a tárcsahang megérkezéséig terjedő időtartam
- a mellékállomás bontásától a megfelelő bemeneti pont memóriabeli felszabadításáig terjedő időtartam
- egy 10 ms-os ciklusban mérésre fordított idő
- az összes hívásfeldolgozási feladat elvégzése után megmaradó szabad idő
- a foglalt hívástárak száma
- a bontótáblán található feldolgozási igények száma
- a munkatáblán található feldolgozási igények száma
- a szabad időrések száma stb.

3.2.3. A programozási hibák kiküszöbölése

Mivel a magas szintű programnyelvek hibafelismerő, hibabehatárolást segítő szolgáltatásai nem álltak rendelkezésre, ezért a programozási hibák felismerése és eltávolítása fáradságos és meglehetősen időigényes feladat volt. Ennek néhány lépése:

- a véletlenszám-generátor ellenőrzése
- az emberi tényezőktől függő eloszlások megvalósulásának ellenőrzése
- a futások reprodukálhatóságának ellenőrzése
- egyetlen hívásból álló futások részletes elemzése
- az eredmények és előzetes becslésük összevetése
- különböző módon mért adatok összevetése.

Utóbbira példa a „mérések teljes időtartama” és az „egy 10 ms-os ciklusban mérésre fordított idő” eloszlásának, illetve az ebből kiszámítható átlagértéknek a ciklusszámmal való megszorzásakor kapott értéknek az összehasonlítása. A különféle mérésekből származó adatoktól elvárható, hogy megfelelő mértékben megegyezzenek.

Hasonlóképpen, a híváskezelés gyakoriságát megszabó bemeneti adat és a megvalósult felajánlott forgalom jó összhangban kell legyen egymással és a foglalt hívástárak számával.

Ilyen és ehhez hasonló elemzésekkel voltak a programozási hibák felismerhetők, és lépésről lépésre felszámolhatók.

3.3. Forgalmi vizsgálatok

3.3.1. Forgalmi kapacitás

Ez idáig csak belső hívások vizsgálatára került sor. Ebből bizonyos határokig jogosan vonhatók le következtetések egyéb hívástípusokra vonatkozóan is. Nevezetesen azért, mert a vezérlő által hívásfeldolgozásra fordított idő elsősorban az adott időtartam alatt végrehajtandó utasítások számától függ. Ez a szám a feldolgozandó hívások számával arányos, a hívás típusának ilyen tekintetben másodlagos szerepe van.

A normális terhelés mellett végzett vizsgálatokon túl ellenőriztük a rendkívül nagy terhelésű alközpont viselkedését is. A megfigyelések az alábbiakra koncentráltak:

- szolgáltatási szint teljesítmény
- bizonyos memóriaterületek feltöltődése stb.

A forgalmas órai hívásszám (BHCA — Busy Hour Call Attempts) legnagyobb értéke meghaladta a 2200-at. Ez esetben a kapacitás egy részét a mérések kötötték le. Becslés szerint mérések nélkül a vezérlőrendszer a névleges értéknek legkevesebb nyolcszorosát lenne képes megfelelő szinten kiszolgálni.

Fontos megemlíteni, hogy a forgalmi megfigyelések mellett a vizsgáló programrendszer állandóan ellenőrizte a hívásfeldolgozó szoftver helyes működését is.

3.2.2. Egy számítási módszer ellenőrzése

A 2. pontban leírtak szerint az egybuszos kapcsolómező torlódási valószínűségeinek kiszámítására egy Engset-modellt alkalmaztunk. Ezt a közelítést mérési eredményekkel való összehasonlítás útján ellenőriztük. A számítással és méréssel kapott foglalt időrészsám eloszlások tagjai 2%-on belül megegyeztek.

Következtetések

A forgalmi vizsgálatok világosan megmutatták, hogy a DIPEX-rendszer forgalmi kapacitása igen kielégítő, és teljesíti az ezen tartományba tartozó alközpontok iránti követelményeket.

A belső forgalmú Engset-modell a megismételt híváskísérleteket figyelembe véve is jó közelítést ad, és egyszerűen átalakítható az eredeti Engset-modellé, melynek alkalmazásához rendelkezésre állnak a szükséges táblázatok, görbeseregek. Ez általános érdeklődésre számot tartó eredmény (a) a mindennapos forgalmi méretezés és (b) a jövőbeli ISDH alkalmazások szempontjából, hiszen az Engset-formula a tartásidő eloszlásától függetlenül érvényes.

A vezérlő által előállított vizsgálóhívások módszerének az a nagy előnye, hogy a vizsgálat közvetlenül a megvalósított rendszeren, azaz az adott szoftveren történik. Említést érdemel, hogy a forgalom előállításához — beleértve az emberi tényezőket is — nincs szükség független számítógépre, mint más hasonló, eddig végzett vizsgálatok esetében [FONT 71].

IRODALOM

- [BAZL 73] Bazlen, D.: „Multi-stage switching systems with both-way connections for internal and external traffic” 18th Report on studies in congestion theory, ISDT, Univ. of Stuttgart, 1973.
- [CSÁS 84] Császár, Gy.: „Traffic theory oriented approximation of continuous distributions by discrete ones” Proc. of the 3rd ITC Seminar on Teletraffic Theory, Moscow, June 20—26. 1984. pp. 61—65.
- [FONT 71] Fontaine, B.: „Real-time environment simulation” Electr. Comm., Vol. 46, No. 3. 1971.
- [GOSZ 80] Gosztony, G.—Ágostházi, M.—Rét, M.: „EDV Simulationsprogramm zur Bestimmung der Verkehrskapazität des Programmsystems von Rechnergesteuerten Vermittlungstellen” 12. Verkehrswissenschaftliche Tage, Dresden, 1980. Section 1.7.
- [HONI 76] Honi, G.—Gosztony, G.: „Some practical problems of the traffic engineering of overloaded telephone networks” Proc. of the 8th Int. Teletraffic Congress, Melbourne, Paper 141/1—8., 1976.
- [HORV 84] Horváth, I.: „Small capacity digital private automatic branch exchanges developed in Hungary” 11th Int. Switching Symposium, Florence, Session 43/C Paper 4/1—6. 1984.
- [SOÓS 84] Soós, F.: „System software test for PABX exchange DIPEX using the own μ P hardware system” Poster at the 29th Int. Scientific Colloquium, Oct. 29.—Nov. 2. 1984, Ilmenau, GDR.

*Lapunk példányonként megvásárolható
V., Váci utca 10.
V., Bajcsy-Zsilinszky út 76. szám alatti
hírlapboltokban*

YIG-hangolású mikrohullámú oszcillátorok tervezési problémái

DR. KÁSA ISTVÁN
Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk ismerteti a széles frekvenciasávban hangolható YIG-hangolású mikrohullámú oszcillátorok tervezésének alapvető szempontjait. A YIG-rezonátorok ismertetése után részletesen foglalkozik a hangoló áramkör méretezésével és a hangolás célszerű megvalósításával. Végezetül a cikk áttekinti a fontosabb félvezető oszcillátor kapcsolásokat és az oszcillátor tervezésének lépéseit.

1. Bevezetés

A mikrohullámú jelforrások körében egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert az elektronikusan hangolható oszcillátorok, amelyek felhasználása a távközlés és a mérés-technika sok feladatában növekvő fontosságú. Az elektronikusan hangolható mikrohullámú oszcillátorok fontos osztályát alkotják a YIG-hangolású oszcillátorok, amelyek széles frekvenciasávban (oktáv vagy annál nagyobb átfogással) áthangolhatók és spektrálisan tiszta jelet állítanak elő. Az előnyös műszaki tulajdonságok mellett azonban számot kell vetni azzal is, hogy ez az oszcillátortípus sokféle összetett tervezési, technológiai és realizálási probléma megoldását igényli. Közleményünkben ezeket a kérdéseket tekintjük át, és ismertetjük a tervezési megfontolásokat.

A YIG-hangolású oszcillátorokban a rezgési frekvenciát meghatározó elem a YIG anyagból készített rezonátor, amelynek rezonanciafrekvenciáját vas-magnos elektromágnessel kiképzett hangolókörrrel állítjuk be. A rezonátor a mikrohullámú aktív elem körül felépített oszcillátor áramkörhöz hurokkal kapcsolódik. Ehhez az oszcillátor alapkapcsoláshoz gyakran csatlakozik erősítő fokozat is, amely az illesztést, a leválasztást és az előírt kimenő teljesítményt biztosítja. Szerecsés módon a YIG-hangolású oszcillátoroknál a fenti részáramkörök a tervezés szempontjából jól elválaszthatók; így tervezésük külön-külön jó eredménnyel elvégezhető.

2. A YIG-rezonátor

A kristályos ferrimágneses anyagok egyik alosztályát képezik a gránátok, amelyek sajátos kristályszerkezetű fém-vasoxidok. Leggyakrabban alkalmazott képviselőjük az ittrium-vas-gránát (YIG).

A ferrimágneses oxidok viselkedése kiegyenlített spin mágneses momentumú elektronok mozgásával magyarázható [1, 2, 3]. Állandó mágneses térrel előfeszítve az elektronok a mikrohullámú elektromágneses tér hatására precessziós mozgást végeznek, ez ad

DR. KÁSA ISTVÁN

1960-ban végzett a BME Villamosmérnöki Karán. Azóta a Távközlési Kutató Intézetben dolgozik, jelenleg tudományos osztályvezető. Kutató-fejlesztő munkát a mikrohullámú passzív és aktív áramkörök, mikrohullámú nagyberendezések és mikrohullámú mérés-technika terén

végzett. 1964-ben a Budapesti Műszaki Egyetemen doktori címet szerzett, 1974 óta pedig a műszaki tudományok kandidátusa. Mintegy 35 szakcikkén kívül a „Mikrohullámú Kézikönyv” egyik társszerzője és a „Mikrohullámú integrált áramkörök” című könyv szerzője. A HTE és MATE tagja.

magyarázatot a giromágneses effektusra. A precessziós mozgás egy meghatározott frekvencián rezonanciát mutat, ezen a frekvencián a giromágneses anyag permeabilitása maximális értékű.

Telítésig mágnesezett ferrimágneses anyagra a giromágneses (magnetosztatikus) rezonanciafrekvencia az (1) összefüggéssel írható le:

$$f_0 = gH_0 \quad (1)$$

ahol $g = 3,5 \cdot 10^{-2}$ MHz·m/A, az anyag minőségétől függetlenül és H_0 a polarizáló állandó mágneses térerősség értéke az anyagban.

Ha ilyen anyagból egykristály gömböt készítenek, ennek rezonanciafrekvenciája homogén polarizáló állandó mágneses térben, első közelítésben szintén az (1) összefüggéssel adható meg, itt azonban H_0 a külső polarizáló mágneses térerősség.

Az (1) egyenlet fontos következménye, hogy a YIG-rezonátor a polarizáló mágneses térrel — jó közelítéssel — lineáris hangolási törvény szerint hangolható és így módon meglehetősen egyedülálló az elektronikában. Miután az (1) összefüggés széles H_0 , illetve f_0 tartományban érvényes, máris látható, hogy a YIG-rezonátor potenciálisan alkalmas a széles frekvenciasávban történő alkalmazásra.

A vizsgált modellt finomítva, a YIG-gömb egyéb jellemzőit is figyelembe véve kitűnik, hogy bár az (1) összefüggés jó közelítést ad, a rezonanciafrekvenciát különféle okokból (pl. anizotrópia) egyéb geometriai és anyagjellemzők is befolyásolják és ezek a lineáris hangolási törvénytől való kismértékű eltérést okozhatnak. Ezen tényezők közül a legfontosabbak:

- a kristálytengelyek és az előmágnesező térerősség közötti szög,
- a YIG-anyag telítési mágnesezettsége és anizotrópiaállandója,
- a rezonátor esetleges alakhibája vagy inhomogenitása.

Az egykristály anyagok ismert módon anizotróp tulajdonságúak, emiatt a pontos rezonanciafrekvencia

Beérkezett: 1985. VII. 22. (□)

attól függ, hogy az egykristály tengelyei a külső polarizáló térrel milyen szöget zárnak be. Ha a YIG-gömb [110] kristálytani tengelyét az állandó mágneses térre merőlegesen állítjuk be, és a gömböt az [110] tengely körül forgatjuk, a Θ előfordulási szögtől függően a rezonanciafrekvencia finom változását a (2) egyenlet adja meg:

$$f_0 = g \left[H_0 + (2 - 2,5 \sin^2 \Theta - 1,875 \sin^2 2\Theta) \frac{K_1}{M_s} \right] \quad (2)$$

ahol K_1 az anizotrópiaállandó, M_s pedig a telítési mágneszettség; mindkettő függ az anyagminőségtől és a hőmérséklettől.

A (2) egyenletből kitűnik, hogy $29,5^\circ$ -nál, valamint a szimmetriából következően $150,5^\circ$ -nál, $209,5^\circ$ -nál és $330,5^\circ$ -nál az anizotrópia hatás eltűnik; tehát megfelelő beállítás után ismét az (1) összefüggés érvényesül. A gyakorlati alkalmazásokban a YIG-gömböket ténylegesen a [110] tengely irányában rögzítik (ragasztják) egy szigetelő (alumíniumoxid kerámia vagy zafír) rúdra („orientálják”) és az ekörüli elfordítás ténylegesen végrehajtható; ily módon az anizotrópia és ezzel együtt K_1 és M_s hőfokfüggő hatása közelítőleg kiküszöbölhető, vagy a rezonátor finomhangolása elvégezhető.

YIG-rezonátor megfelelő működésének alsó frekvenciáját az határozza meg, hogy kis rezonanciafrekvenciához egyre kisebb polarizáló mágneses tér szükséges, ez végül is nem viszi telítésbe a YIG-anyagot, sőt a lemágnesező hatás miatt a rezonátorban a homogén precesszió megszűnik.

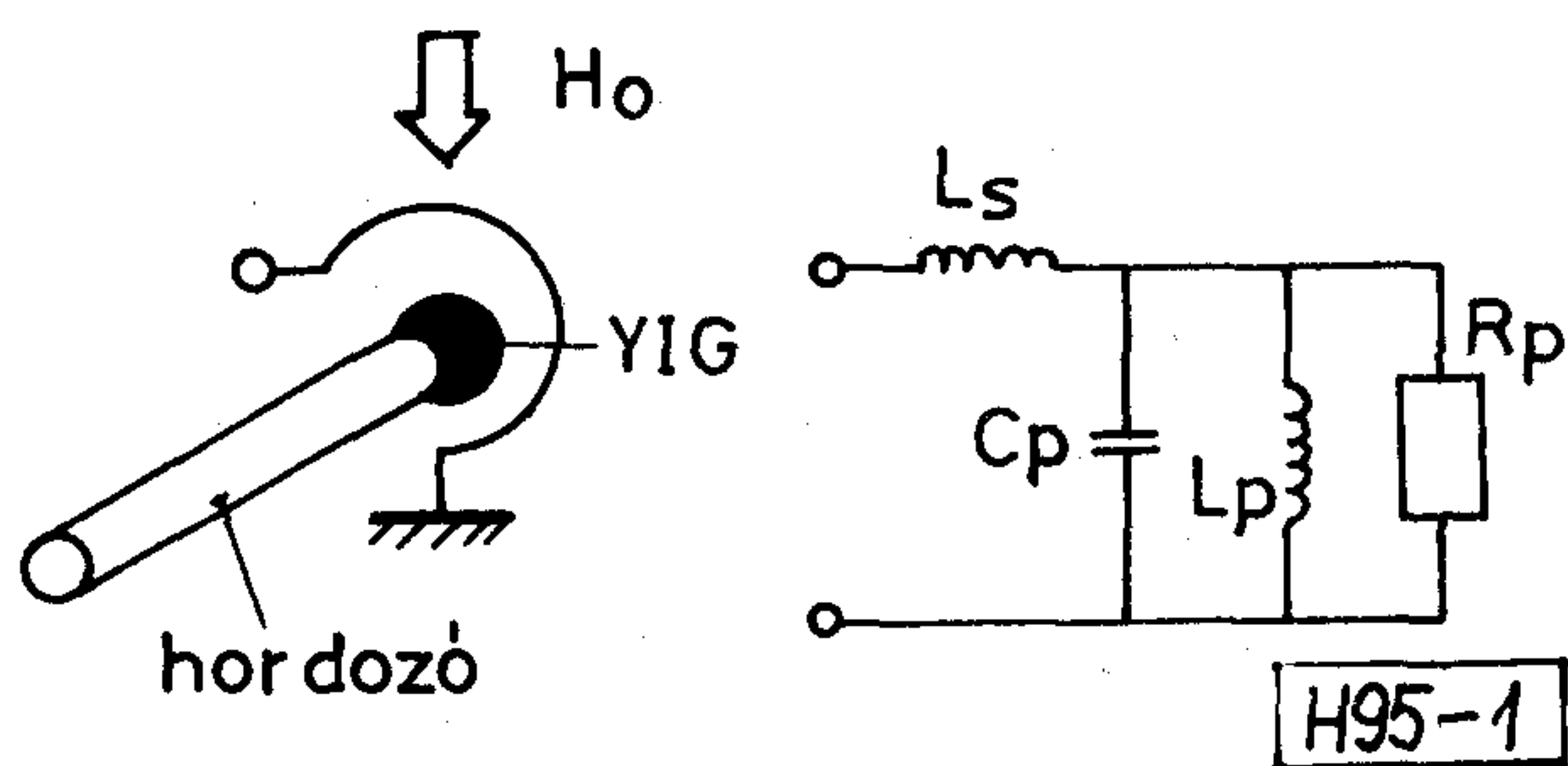
Gömbre ez az

$$f_{a1} = g \frac{M_s}{3} \quad (3)$$

frekvencián következik be, ahol M_s az anyagra jellemző telítési mágneszettség. Tiszta YIG anyagra $M_s = 140$ kA/m. A YIG-rezonátor működési frekvenciáját azonban általában eddig a frekvenciáig sem tanácsos csökkenteni a nemlineáris csatolási jelenségek miatt, hanem az f_{A2} határfrekvencia felett kell működtetni:

$$f_{a2} = 2g \frac{M_s}{3}, \quad (4)$$

ami tiszta YIG-re 3260 MHz. Ha e frekvencia alatt kívánunk YIG-rezonátort alkalmazni, más fémekkel ötvöztött („doppolt”) YIG anyagokat kell felhasználni, ilyen anyagokkal az alsó frekvenciahatár 1 GHz alá csökkenthető.



1. ábra. A csatolt YIG-rezonátor vázlata és helyettesítő képe

Az alkalmazhatóság felső frekvenciahatárát az előbbieknél kevésbé élesen az alábbi tényezők korlátozzák:

— magasabb magnetosztatikus módusok kialakulása,

— a giromágneses anyag növekvő veszteségei,

— a hangoláshoz szükséges nagyobb mágneses térerősség, amelyet elsősorban a vasanyag telítése és a hangolási disszipáció rohamos növekedése határol be.

A YIG-rezonátort a mikrohullámú áramkörhöz általában hurokkal csatoljuk. A hurkos csatolás előnye, hogy közel koncentrált elemű áramkörrel, kis méretekkel és közelítőleg homogén mikrohullámú térrel lehet a csatolást megvalósítani. Ez utóbbi tulajdonság a magasabb módusok gerjesztését csökkenti. Egyszerű analízissel megmutatható, hogy a hurokkal csatolt YIG-gömb helyettesítő képe párhuzamos rezgőkör az 1. ábra szerint, ahol L_s a csatoló hurok induktivitása, a párhuzamos rezgőkör elemei pedig az alábbiak:

$$L_p = \frac{p \cdot g \cdot M_s}{f_0} \quad (5)$$

$$C_p = \frac{1}{(2\pi)^2 p g M_s \cdot f_0} \quad (6)$$

itt p a YIG-gömb és a csatolóhurok geometriájától függő tényező. Figyelemre méltó, hogy a reaktanciák a rezonanciafrekvenciától függetlenek és így a jósági tényező is csak kismértékben változik a szélessávú hangolás során.

A csatolt YIG-rezonátor jósági tényezője több ezres nagyságrendű, ez biztosítja, hogy a teljes oszcillátor rezgési frekvenciáját jó közelítéssel a YIG-gömb rezonanciafrekvenciája határozza meg.

Napjainkban a YIG-hangolású oszcillátorok hurokkal csatolt YIG-gömbbel vannak megvalósítva. Miután azonban a YIG-gömb és a csatolást megvalósító hurok technológiailag nagymértékben különbözik a szokásos planár elrendezésű mikrohullámú integrált áramköröktől és ez gyártástechnológiailag is nehézséget okoz, intenzíven foglalkoznak hangolható YIG-rétegek kialakításával és ezek alkalmazásával oszcillátorokban. A közeljövőben várható a planáris szerkezetű magnetosztatikus hangolású oszcillátorok kereskedelmi megjelenése.

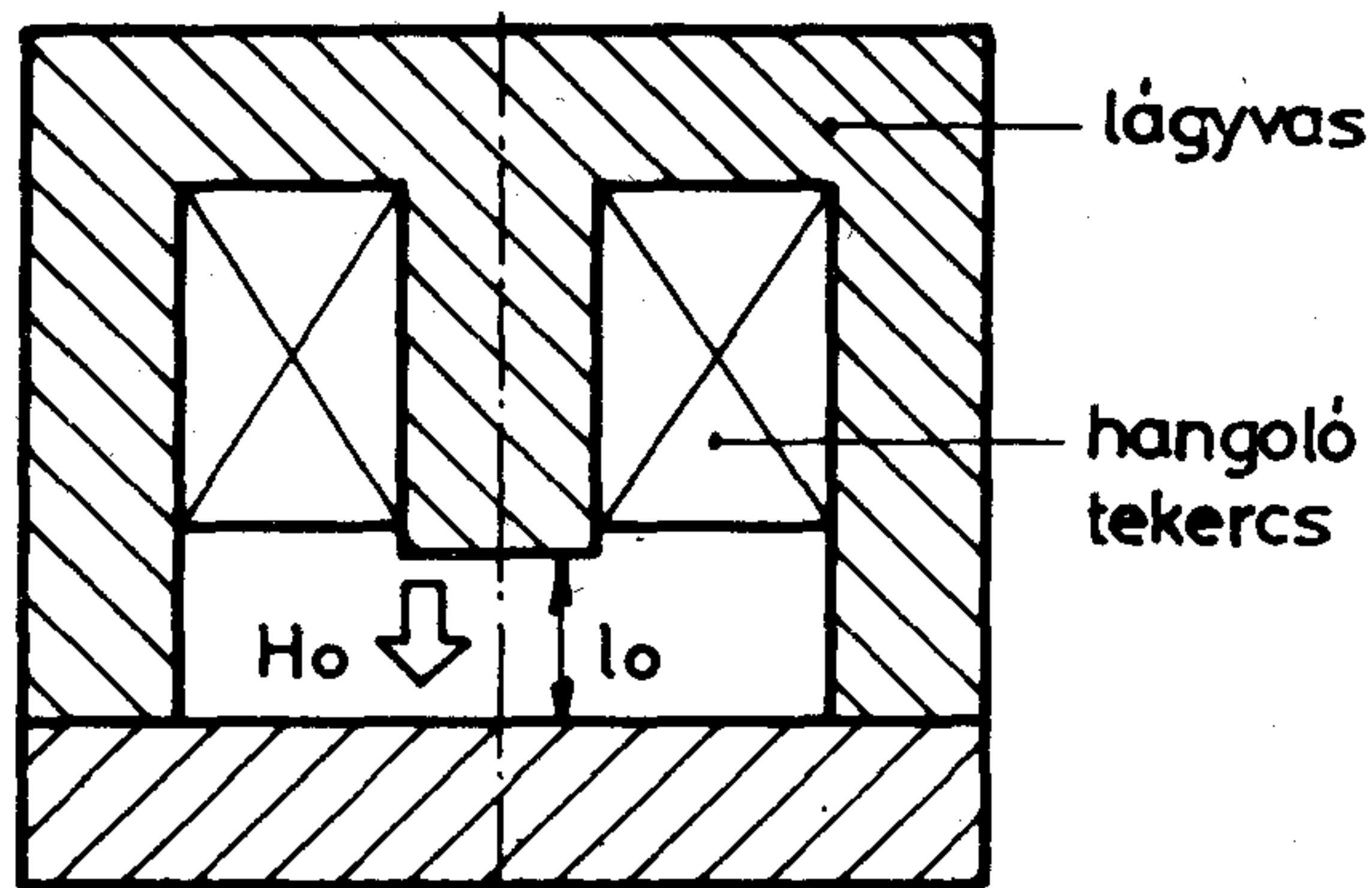
3. Hangoló áramkör

A YIG-rezonátort hangoló polarizáló mágneses teret vasmagos elektromágnessel állítjuk elő. Ennek vázlata a 2. ábrán látható. A lágyvasból készült zárt köpenyű vasmagnak, illetve háznak a hangolótér előállításán kívül a mágneses árnyékolás is feladata.

A hangoló kör tervezése kielégítő pontossággal történhet a lineáris közelítés alapján, miután a lágyvas relatív permeabilitása az egységnél sokkal nagyobb és a gerjesztés lényegében a légrés átmágnesezéséhez szükséges.

Ha az l_0 hosszúságú légrésben H_0 mágneses térerősséget állítunk elő és a mágneses tér jó közelítéssel homogén, akkor

$$H_0 = \frac{NI_0}{l_0} \quad (7)$$



H95-2

2. ábra. A hangolókör vázlatos felépítése

ahol I_0 a gerjesztő (hangoló) áram, N pedig a menetszám. Az S hangolási meredekség ennek alapján

$$S = \frac{f_0}{I_0} = g \frac{N}{l_0} \quad (8)$$

másrészt az N menetszám jó közelítéssel kifejezhető a huzal A_r keresztmetszetének és az A_t teljes tekercsfelületnek a hányadosával:

$$N = \frac{A_t \cdot F_r}{A_r} \quad (9)$$

ahol F_r a rézkitöltési tényező ($F_r < 1$).

A hangoló tekercs fontos jellemzője a P_h hangolási disszipáció és az R_0 ellenállás:

$$R_0 = \varrho \frac{ND_k \pi}{A_r} = \varrho \pi \frac{A_t F_r D_k}{A_r^2} = \varrho \pi \frac{D_k N^2}{A_t F_r} \quad (10)$$

ahol ϱ a huzal fajlagos ellenállása, D_k a hangolótekercs közepes átmérője,

$$P_h = R_0 I_0^2 = \frac{\varrho \pi}{g^2} \frac{D_k l_0^2}{A_t \cdot F_r} \cdot f_0^2 \quad (11)$$

A meghajtó áramkör szempontjából ugyancsak fontos a hangolótekercsen fellépő U_0 feszültség is:

$$U_0 = I_0 R_0 = \varrho \frac{ND_k \pi}{A_r} \cdot \frac{f_0 l_0}{g \cdot N} = \varrho \frac{\pi D_k}{g A_r} f_0 l_0 \quad (12)$$

A hangolási disszipáció az árammal történő hangolás kellemetlen és ki nem küszöbölhető következménye; fontos, hogy a tervező a számos korlátozó tényezőt figyelembe véve, a hangolási disszipációt minimális értékűre csökkentse. A gyakorlatban a hangolási disszipáció elérheti a 0,5...1 W-ot.

Lényeges, hogy adott ház geometria esetén a hangolási disszipáció — első közelítésben — nem függ a menetszámtól, illetve a huzalátmérőtől. (Gyakorlatilag a használatos huzalátmérőkre F_r kismértékben függ a huzalátmérőtől). Másrészt a hangolási disszipáció erősen függ a légréstől és a hangoló áramtól. Ez arra mutat, hogy a hangolási disszipáció csökkentése céljából a légrést az oszcillátor áramkör, illetve csatolt YIG-rezonátor méretei által megszabott legkisebb méretéig kell csökkenteni.

A hangoló áramtól való természetes függés különö-

sen 8...10 GHz feletti frekvenciákon jelent egyre nagyobb gondot; a több wattos hangolási disszipáció a termikus igénybevételt fokozza és a hangoló áramgenerátor disszipációját is megnöveli.

Kézenfekvőnek látszik állandó mágnes beiktatása a mágneskörbe, annak reményében, hogy így a gerjesztő áram és a hangolási disszipáció csökkenthető lesz. Sajnos, az ismert állandó mágneses anyagok hőfokfüggése olyan nagy mértékű, hogy nem teszik lehetővé elfogadhatóan stabil oszcillátor készítését. Az analízis azonban azt is megmutatta, hogy az állandó mágnesről csupán kis relatív hangolási tartomány esetén várható a maximális hangolási disszipáció csökkenése, ugyanis az állandó mágnes relatív permeabilitása egységnyi, így látszólag megnöveli a légrést és ez a tény a hangolási tartomány szélein a disszipáció növekedését okozza.

4. Hangolási nemlinearitás

Bár a gerjesztés lényegében a lineáris közelítés alapján tárgyalható, a mágneskör lágúvas anyaga miatt elkerülhetetlenül fellépnek nemlineáris hangolási hatások:

- a hangolási nemlinearitás és
- a hangolási hiszterézis.

A 3. ábrán látható a vasanyag kvalitatív hangolási görbéje, amely a vizsgált tervezés szempontjából elsősorban a B_v telítési indukcióval és a ΔH_h hiszterézissel jellemezhető.

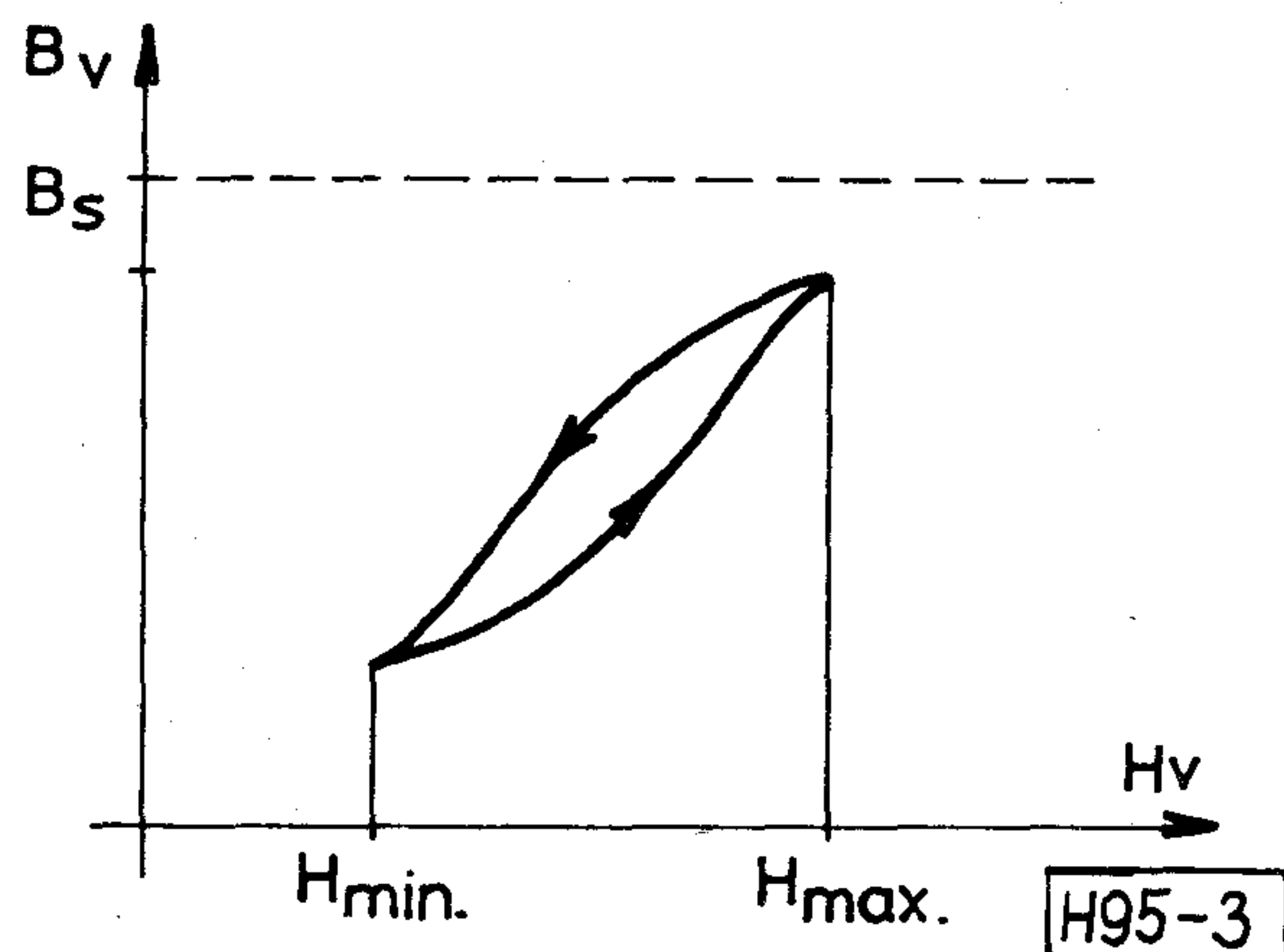
A mágneskör méretezésénél (felhasználva, hogy a permeabilitás egynél sokkal nagyobb) jó közelítéssel feltételezhetjük, hogy a mágneses erővonalak csak a légrésben lépnek ki a vasmagból, így az indukció a vasmagban és a légrésben azonos és állandó. Ekkor a gerjesztési törvény szerint:

$$\frac{B_v l_0}{\mu_0} + H_v l_v = NI_0, \quad (13)$$

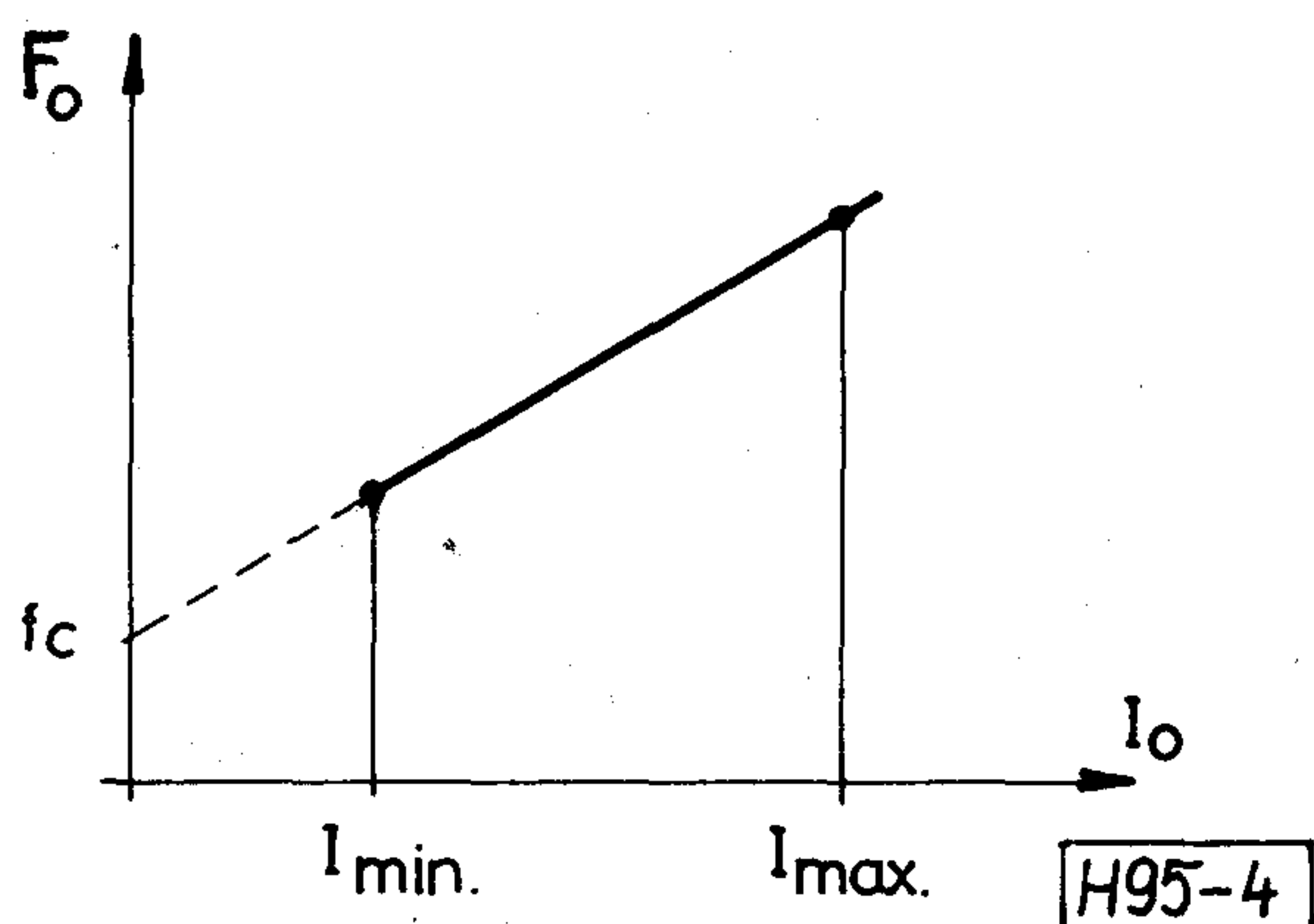
ahol

$$\frac{B_v}{\mu_0} \gg H_v,$$

a v index a vasmagra utal és l_0 az átlagos erővonalhossz a vasmagban.



3. ábra. A vasmag anyagának mágnesezési görbéje



4. ábra. Linearizált hangolási összefüggés

A (14) egyenletből látható, hogy az első taggal leírt légrés linearizáló hatású, a légrés növelésével a hangolási nemlinearitás (és hiszterézis) csökkenthető (de ezzel a szükséges gerjesztés is megnő).

Miután az f_0 rezonanciafrekvencia a légrésben levő mágneses térrel illetve indukcióval arányos, a tényleges frekvencia-hangolóáram összefüggés kvalitatíve hasonló a vasanyag mágnesezési görbéjéhez.

A tényleges hangolási összefüggés még ebben az esetben is jó közelítéssel lineáris. Ha F_0 -al a linearizált névleges frekvenciát jelöljük:

$$F_0 = f_c + SI_0 \quad I_m \leq I_0 \leq I_M, \quad (14)$$

ahol f_c a korrekciós frekvencia (4. ábra), amely a vasanyagtól és a hangolási tartománytól függ.

Ha a hangolás nemlineáris jelenségeiről finomabb képet akarunk kapni, az $f_0 - F_0$ frekvenciaeltérést határozzuk meg.

Itt látnunk kell, hogy F_0 felírása tartalmaz önkényes elemet, pl. meghatározható úgy, hogy a hangolási sáv szélein a hiba zérus legyen (5/a ábra) vagy pedig úgy, hogy a maximális eltérés egyenletes legyen (5/b ábra). Látható, hogy a növekvő frekvenciák felé hangolva a nemlinearitás kisebb. (A két összefüggés f_c értékében különbözik). A 6. ábrán egy megvalósított oszcillátor $f_0 - F_0$ görbéi láthatók.

A nemlineáris hatások csökkentésére az alábbi lehetőségek vannak:

— Nagy telítési indukciójú, kis hiszterézisű lágyvas alkalmazása. Ezek az anyagok különleges ötvözetek, amelyek másnes tulajdonságait az anyag összetételén

kívül az előállítás körülményei (pl. hőkezelés) is befolyásolják.

— Nagy légrés alkalmazása. Ez azonban a hangolási disszipációt növelné, ezért nem járható út.

— A mágneskör gondos kialakításával (megfelelő keresztmetszetekkel) biztosítani kell, hogy a mágneses indukció mindenhol viszonylag kis értékű legyen, hogy a telítés ne jelentsen korlátozást.

A fentiek figyelembevételével a hangolási nemlinearitás és a hangolási hiszterézis értéke 10 GHz alatti frekvenciákon néhány MHz-re csökkenthető.

5. Széles sávban hangolható oszcillátoráramkörök

A széles frekvenciasávban hangolható YIG-rezonátorokhoz olyan oszcillátoráramköröket kell kialakítani, amelyek oszcillációra ugyancsak széles frekvenciasávban képesek. Az oszcillátor áramkörben a hangolható rezonátor alapvetően kétféle módon helyezhető el:

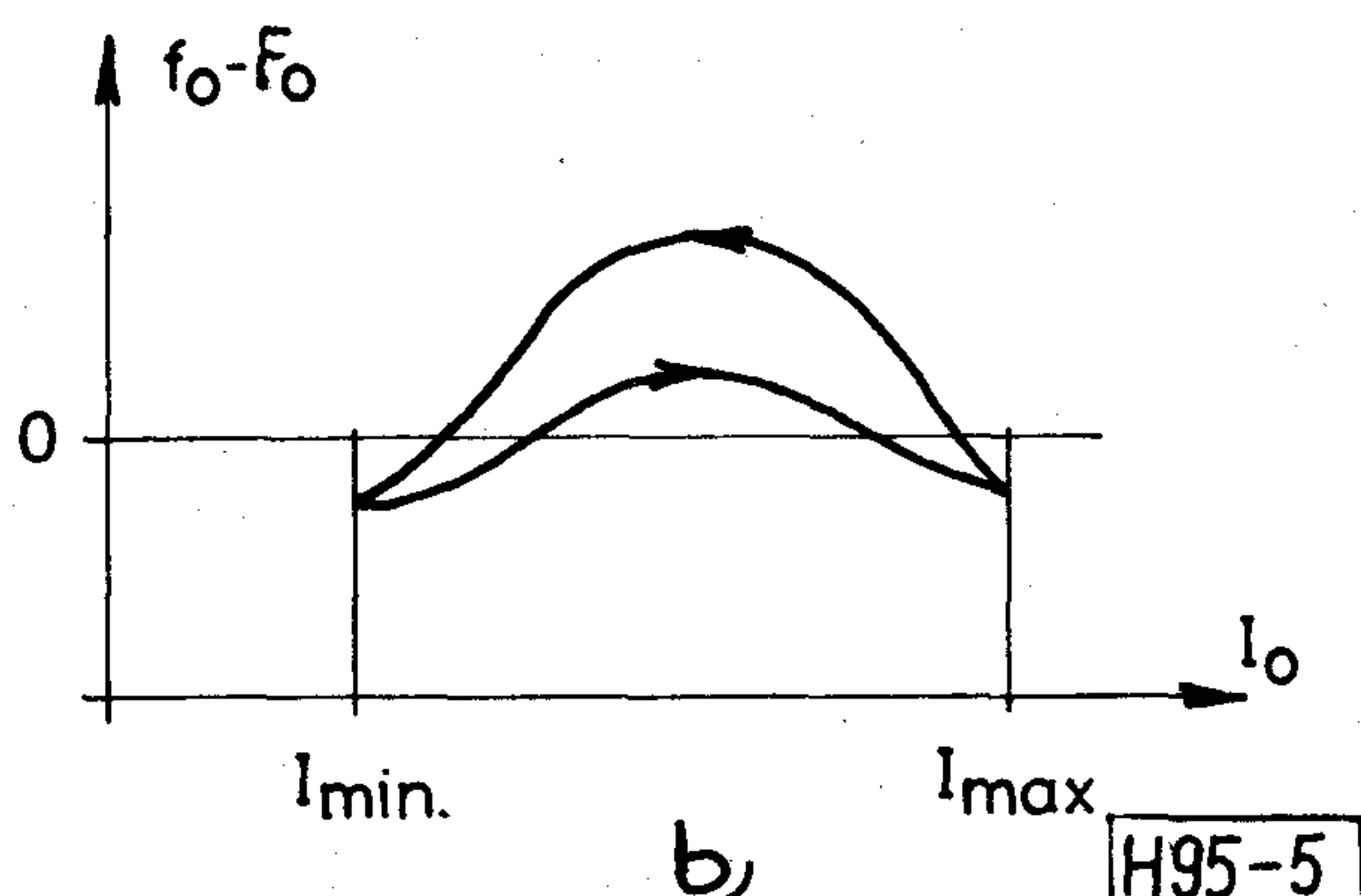
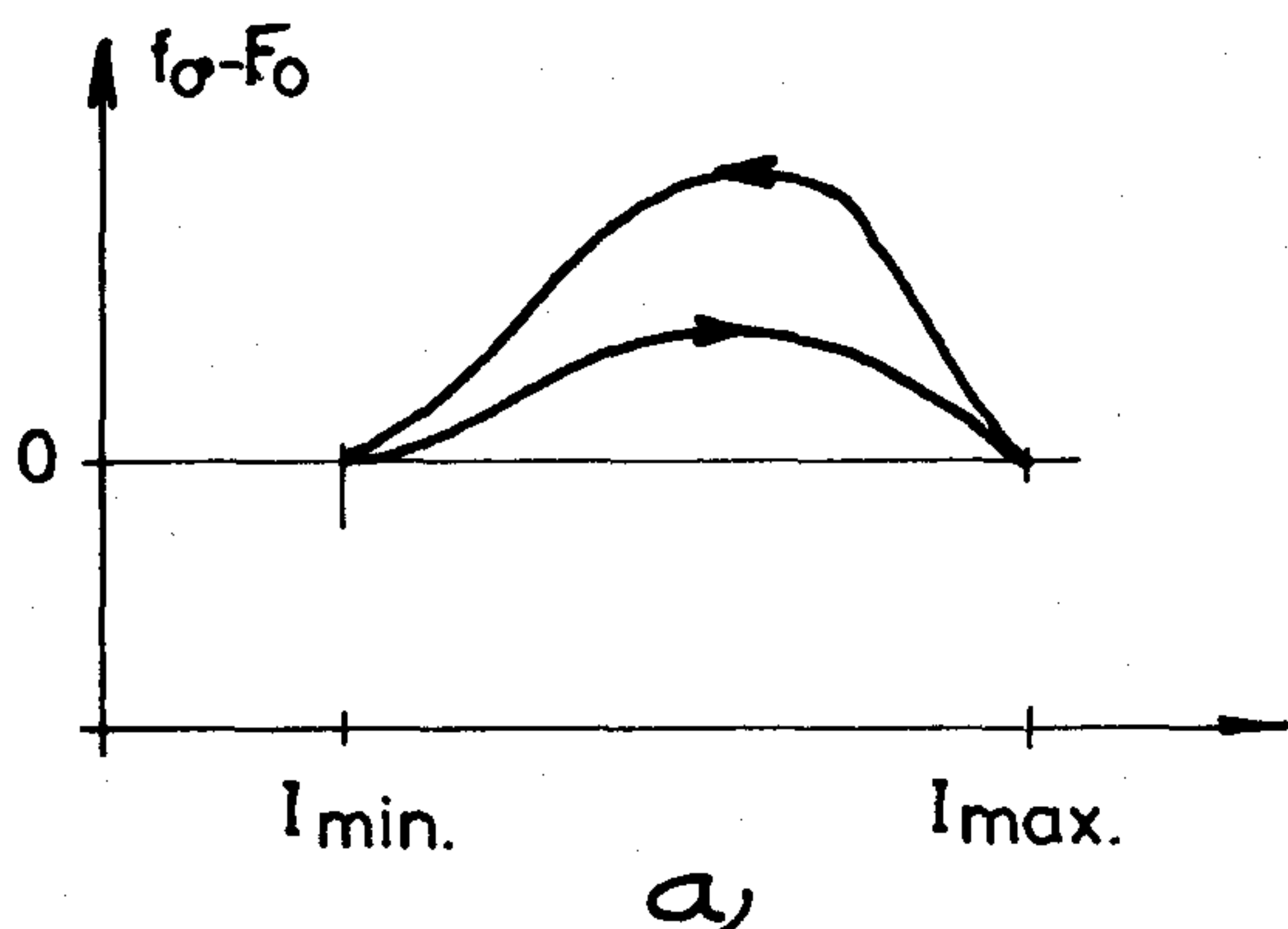
a) negatív ellenállású (vagy konduktanciájú) aktív áramkörhöz rezonátor egykaput kapcsolva, vagy

b) erősítő áramkört rezonátor kétkapun keresztül visszacsatolva (vagyis szelektív visszacsatolást alkalmazva).

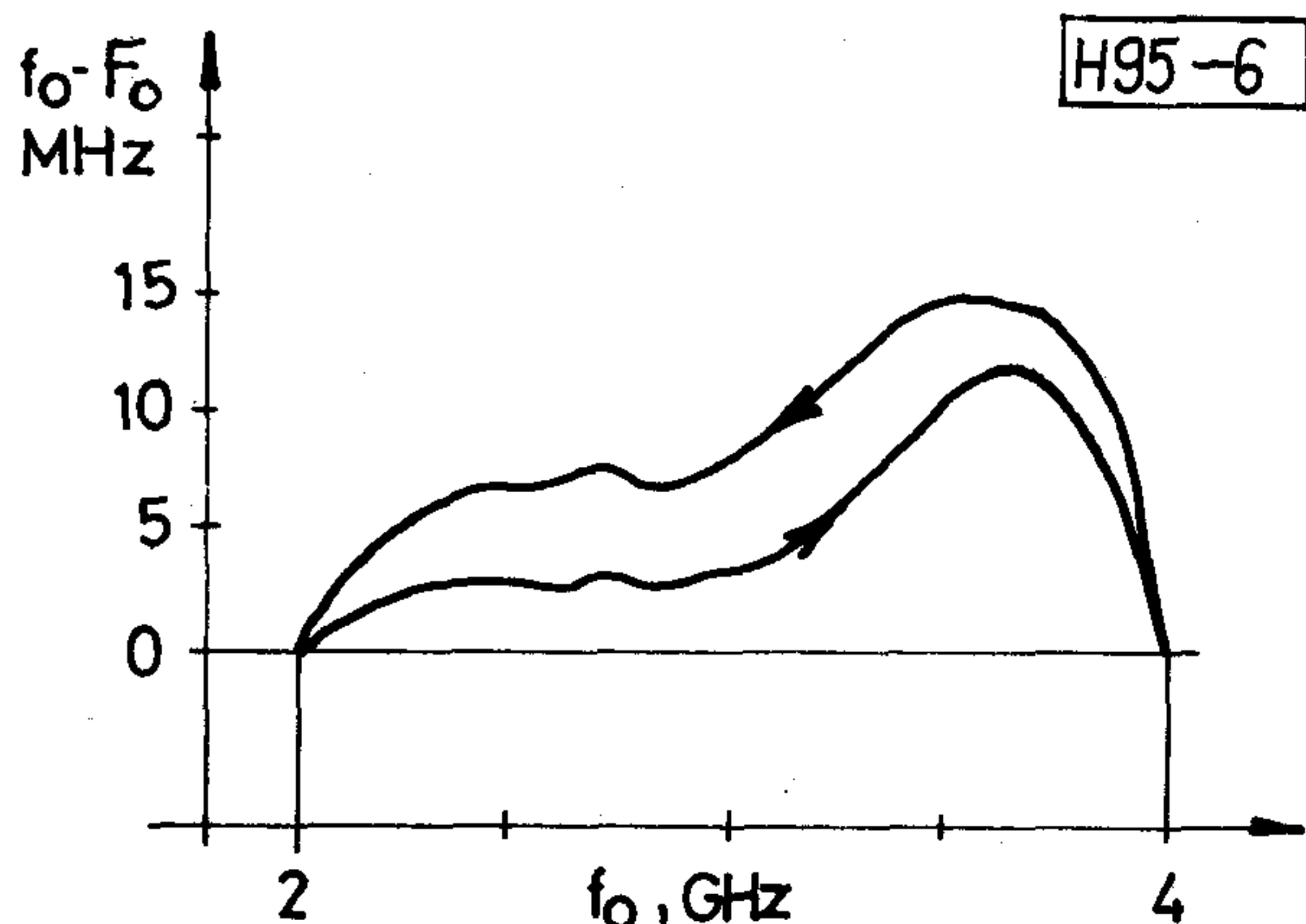
A második esetben az oszcilláció feltétele az, hogy a hurokerősítés egységnyi legyen, a fázistolás a hurokban 360° vagy ennek egész számú többszöröse legyen. Figyelembe véve azonban, hogy a szelektív visszacsatolást tartalmazó áramkör a fizikai felépítés miatt szükségképpen tartalmaz tápvonalszakaszokat és így frekvenciafüggő fázistolást; a fázisfeltétel megvalósítása — és így az oszcilláció — széles frekvenciasávban nem (vagy csak nagy nehézségek árán) biztosítható. Ez az oka annak, hogy a széles sávban hangolható YIG-oszcillátorokat negatív ellenállású (vagy konduktanciájú) áramkörökkel építik fel.

A negatív ellenállást megvalósító félvezető eszköz Gunn-dióda vagy mikrohullámú tranzisztor lehet.

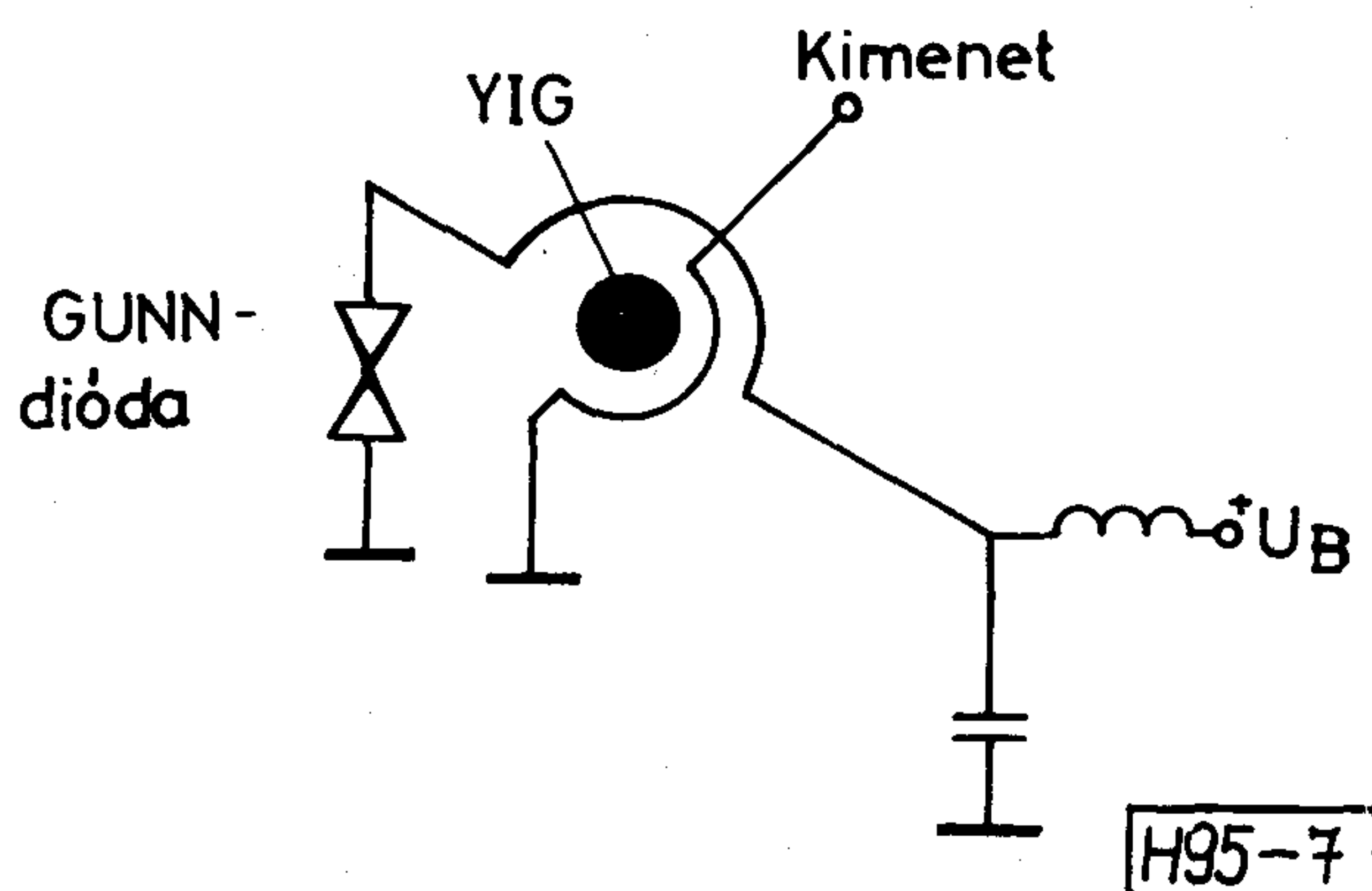
A negatív ellenállású Gunn-dióda hurokkal csatolódik a YIG-gömbhöz (7. ábra), amely nagy jósági tényezője következtében meghatározza az oszcillációs frekvenciát. Különös gondot kell fordítani a Gunn-dióda termikus viszonyaira, mivel a rossz hatásfok miatt a Gunn-diódán több wattos disszipációs terhelés lép fel, ezért a Gunn-diódát igen kis termikus ellenállással kell a hőleadást biztosító fémtömbhöz csatlakoztatni.



5. ábra. Az $f_0 - F_0$ frekvencia eltérés tipikus görbéi



6. ábra. Egy YIG-hangolású oszcillátor mért $f_0 - F_0$ görbéje



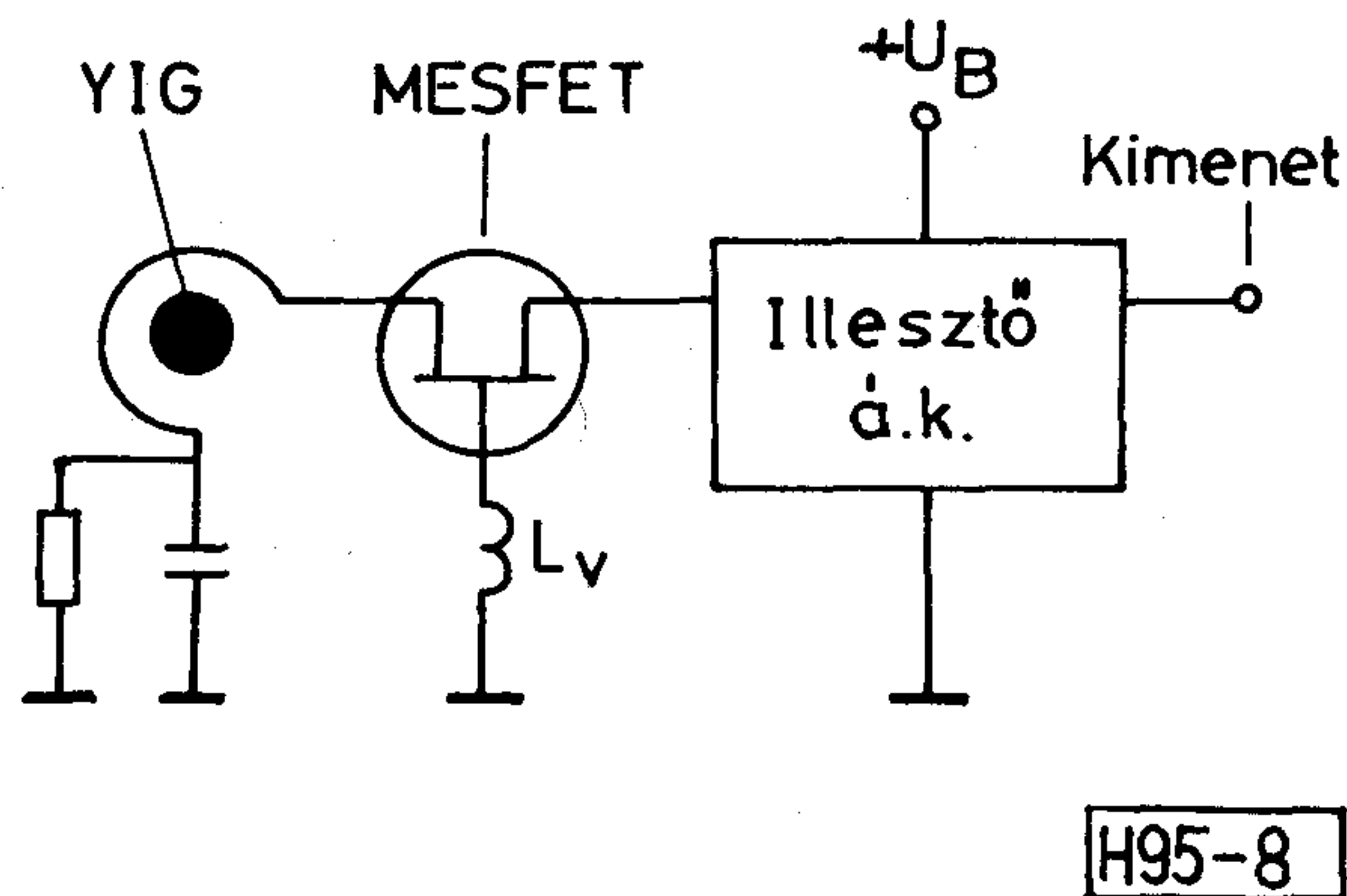
7. ábra. Gunn-diódás YIG-hangolású oszcillátor kapcsolás vázlat

A kimeneten közel illesztett ohmos lezárást feltételezve a Gunn-diódára csatlakozó terhelés egyszerű struktúrájú és így hangolási diszkontinuitások (leszakadás, frekvenciaugrás) általában nem lépnek fel.

Különösen a definiálatlan vagy változó terhelésre dolgozó Gunn-oszcillátoroknál a terhelés hatásának (frekvenciaelhúzás) kiküszöbölésére a kimenetre izoláltort célszerű kapcsolni.

A Gunn-dióda, mint negatív ellenállású kétpólusú eszköz, áramkörileg egyszerűbb felépítést, valamint az aktív elem és a hangolható rezonátor kompakt elrendezését teszi lehetővé, azonban a Gunn-dióda kis — maximálisan néhány százalékos — hatásfoka miatt ez az oszcillátortípus egyre inkább háttérbe szorul a tranzistoros oszcillátorokkal szemben. A Gunn-diódás oszcillátor alkalmazása csak ott lehet célszerű, ahol a tranzistoros oszcillátorok technológiai vagy egyéb okok miatt nem használhatók. A Gunn-diódás hangolható oszcillátorok célszerű alkalmazásának határa egyre magasabb frekvenciák felé tolódik, ez a határ már jelenleg is 10 GHz fölött van. A továbbiakban ezért a tranzistoros oszcillátorokat analizáljuk.

Negatív ellenállású oszcillátorként mind bipoláris, mind térvezérlésű (MESFET) tranzistorokat felhasználnak, a kétféle típus között elsősorban az alkalmazási frekvenciasáv szerint téve különbséget. Jelenleg a határvonal hozzávetőleg 4–5 GHz, ennél nagyobb frekvencián csaknem kizárólag MESFET-et használnak aktív elemként. A tranzistor negatív ellenállású



8. ábra. MESFET-tel felépített YIG-hangolású negatív ellenállású oszcillátor kapcsolás

áramkörre szélessávú visszacsatolás alkalmazásával tehető. A gyakorlatban legelterjedtebb a bázishoz (vagy MESFET esetén a gate-hez) csatlakozó soros induktivitással megvalósított visszacsatolás, (ez a kapcsolat tényleges kivitelében nagyon hasonló a földelt bázisú, illetve földelt gate-ű kapcsoláshoz). (8. ábra). A kapcsolat kitűnik egyszerű realizálhatóságával: a kívánt induktivitás a bázis, illetve gate kivezetés és a föld között könnyen megvalósítható és beállítható.

A szélessávú oszcillátorok tervezésénél a rezgés feltételét általában a kisjelű paraméterek alapján, lineáris modellből határozzák meg [4, 5, 6, 7]. A nagyjelű analízisre és a kimenőszint tervezése eddig alapvetően egyfrekvenciás (vagyis keskenysávú) esetben születtek eredmények [8, 9, 10], amelyek a szélessávú oszcillátor tervezésénél közvetlenül nem alkalmazhatók.

A lineáris modellben a rezgési feltételt admittanciákra, illetve reflexiók tényezőkre felírva:

$$\operatorname{Re}(Y_n + Y_r) \leq 0 \quad (15)$$

$$\operatorname{Im}(Y_n + Y_r) = 0,$$

illetve

$$|\Gamma_n \Gamma_r| \geq 1$$

$$\operatorname{arc}(\Gamma_n \Gamma_r) = k \cdot 360^\circ \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (16)$$

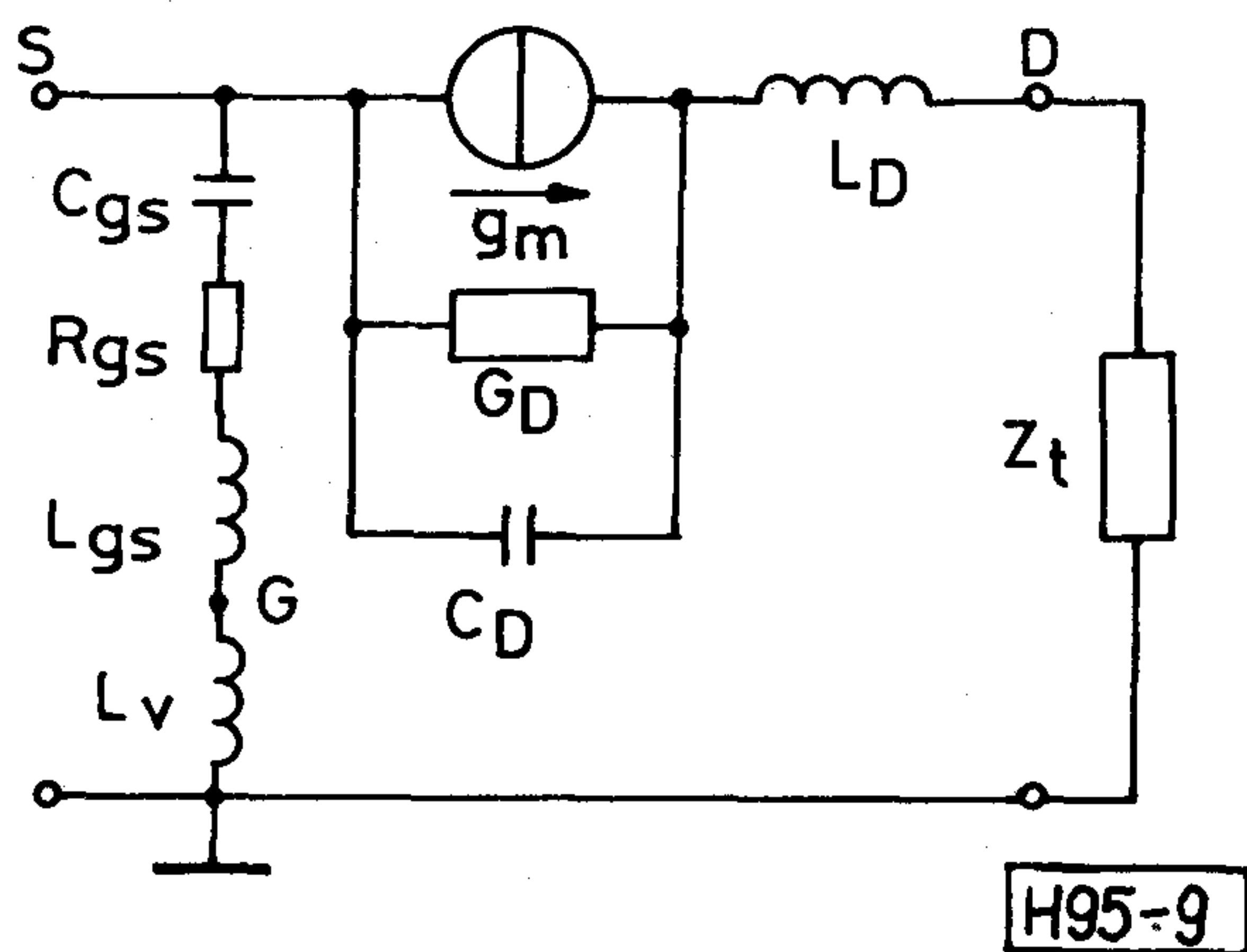
ahol az n index a negatív konduktanciájú egykapura, az r index pedig a rezonátor egykapura utal.

Oszcilláció tehát ott lép fel, ahol az $Y_n + Y_r$ admittancia valós része negatív. A nemlineáris analízis azt is megmutatja, hogy a negatív vezetésre tett egyszerű feltételek esetén a rezgési szint a negatív vezetés nagyságával monoton módon változik. A kisjelű analízist a tranzistor mért vagy katalógusban közölt kisjelű paramétereit felhasználva lehet elvégezni, ez a korszerű analízisprogramokkal nem jelent nehézséget.

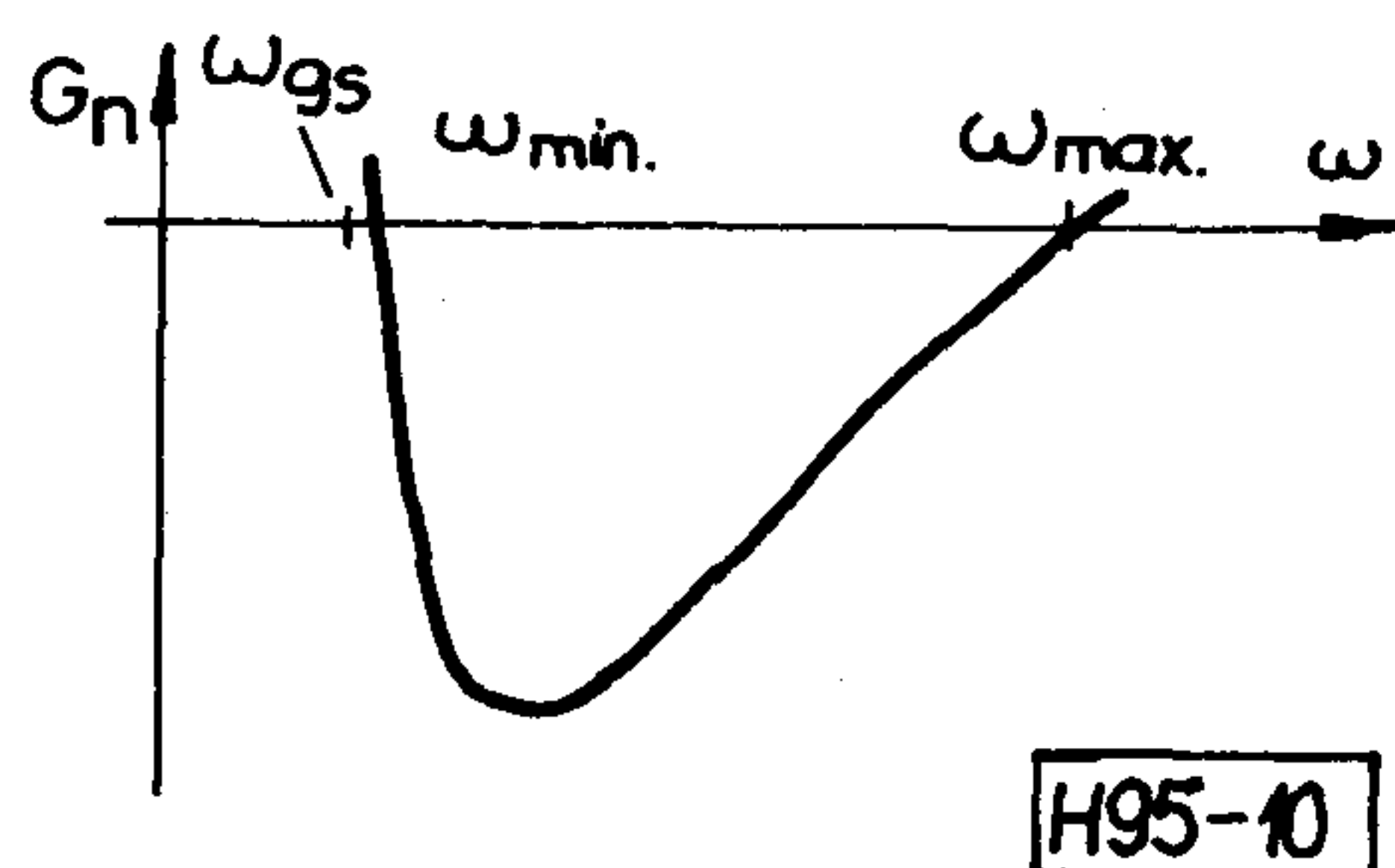
A tranzistor helyettesítő kapcsolásából kiindulva közelítő analízist lehet elvégezni, ami elég jó becslést ad a rezgési frekvenciasávra.

Az analízist a perspektivikus MESFET esetében elvégezve, induljunk ki az egyszerűsített helyettesítő kapcsolásból. (9. ábra).

$$Y_{be} = \frac{1}{Y_D Z_t + 1} \left(Y_D + \frac{g_m}{j\omega C_{gs} Z_{gs}} \right) + \frac{1}{Z_{gs}}, \quad (17)$$



9. ábra. A MESFET egyszerűsített helyettesítő kapcsolása



10. ábra. A 8. ábra szerinti kapcsolat konduktanciájának kvalitatív frekvenciafüggése

ahol

$$Y_D = G_D + j\omega C_D$$

$$Z_t = j\omega L_D + Z_t$$

$$Z_{gs} = R_{gs} + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C_{gs}}\right)$$

$$L = L_{gs} + L_v$$

Első közelítésben, a nagyságrendeket figyelembe véve és Z_t -t elhanyagolva, valamint bevezetve az ω_{gs} rezonanciafrekvenciát és az Q_{gs} jószágítényezőt:

$$\omega_{gs} = \frac{1}{\sqrt{(L_{gs} - L_v)C_{gs}}} \quad Q_{gs} = \frac{1}{R_{gs}\omega C_{gs}} \quad (18)$$

a bemeneti admittancia felírható:

$$Y_{be} = \frac{G_D + jC_D + \frac{j}{Q_{gs}} - \left[\left(\frac{\omega}{\omega_{gs}}\right)^2 - 1\right]}{1 - \omega^2 C_D L_D + j\omega L_D G_D} + \frac{\frac{\omega C_{gs}}{Q_{gs}} + j\left[\left(\frac{\omega}{\omega_{gs}}\right)^2 - 1\right]}{\frac{1}{Q_{gs}} + j\left[\left(\frac{\omega}{\omega_{gs}}\right)^2 - 1\right]} \quad (19)$$

$\text{Re}(Y_{be})$ -t kiszámítva és meghatározva az $\omega_{\min}$ és $\omega_{\max}$ határokat, amelyen belül $\text{Re}(Y_{be}) \leq 0$:

$$\left(\frac{\omega_{\min}}{\omega_{gs}}\right)^2 = 1 + \frac{1}{R_{gs}g_m Q_{gs}^2} = 1 + \frac{R_{gs}}{g_m} \omega_{gs}^2 C_{gs}^2 \quad (20)$$

és

$$\left(\frac{\omega_{\max}}{\omega_{gs}}\right)^2 = \frac{G_D + g_m}{G_D + g_m \omega_{gs}^2 L_D C_D} \quad (21)$$

Figyelembe véve, hogy (20) nem túlságosan különbözik az egységtől, a (21) összefüggés a frekvenciaátfógásra is becslést ad. A konduktancia frekvenciafüggésének kvalitatív menete a 10. ábrán látható.

Az analízis és tervezés során a fenti számítás természetesen tovább finomítható a terhelő impedancia és a rezonátor hatásának figyelembevételével. Az elvégzett analízis alapján mindenesetre megállapítható, hogy a soros induktív visszacsatolás esetén a negatív konduktanciájú tartomány oktávnyi, vagy annál lényegesen nagyobb frekvenciatartományban is fennáll. A teljesség kedvéért meg kell említenünk, hogy az oszcillátor fokozat tervezéséhez még a kimeneti illesztő tervezése is hozzátartozik. A tranzisztoros oszcillátor fokozatokat általában erősítő fokozatok követik, ezek bemeneti admittanciáját kell az oszcillátor fokozathoz illeszteni. Szélessávú oszcillátor esetében itt is a számítógépes analízisnek és a kísérleti beállításnak van döntő szerepe.

A leválasztó erősítőnek a kimeneti szint megnövelésén és a szint frekvenciafüggésének kiegyenlítésén kívül az a kedvező hatása is megvan, hogy a terhelés hatásából származó frekvencia elhúzást nagymértékben csökkenti, vagy gyakorlatilag meg is szünteti.

Az oszcilláció stabilitásának és az oszcillátor zajnak a vizsgálata túlnyúlik e cikk keretein. Gyakorlati szempontból elsőrendű szerepe van a YIG-rezonátor nagy jósági tényezőjének, amely a kis zajú működés fontos feltétele, másrészt az oszcilláció stabilitását is kedvezően befolyásolja.

6. Frekvenciamoduláció

Miután a rezgés frekvenciája a YIG-rezonátor hangolásával parametrikusan változtatható, egyszerűnek tűnik a frekvenciamoduláció megvalósítása, a gerjesztő áram változtatásával. Sajnos, itt több nehézséggel kell számolni:

- a vasmag anyagának frekvenciával növekvő veszteségei,
- az örvényáramú hatás következtében fellépő további veszteségek és a mágneses tér „kiszorulása” a vasmagból,
- a szórt kapacitások hatása.

Mindezeknek az a következménye, hogy növekvő moduláló frekvenciával a modulációs meredekség erősen csökken, és gyakorlatilag az elektromágneses frekvenciamodulációra néhány száz Hz-ig használható.

A megoldás külön finomhangoló tekercs beiktatása, ennek megfelelő kialakításával a modulációs frekvencia 3,5...10 MHz-ig is kiterjeszthető, de a monoton frekvenciafüggés nem küszöbölhető ki.

Nagyobb modulációs frekvencia esetén a YIG-hangolás és a varaktoros moduláció együttes alkalmazása tűnik járható útnak, de ez a megoldás sok konstrukciós problémát is felvet.

7. Technológiai problémák

A YIG-hangolású oszcillátorok fejlesztése és előállítása során több olyan különleges technológiai problémával találkozunk, amelyek megfelelő minőségű ter-

mék szempontjából döntő fontosságúak. Ezek a következők:

a) Elsődleges fontosságú a megfelelő méretű és minőségű YIG-gömb. A YIG-gömböt orientálva és kerámia (vagy zafír) hordozó rúdra ragasztva kell felhasználni. Megfelelő paraméterek és hőfokstabilitás elérése céljából a YIG-gömböt tartó rudat fűtéssel termikusan stabilizálni kell, erre hőfokfüggő ellenállást célszerű felhasználni.

b) Ugyancsak fontos a megfelelő és garantált minőségű lágyvas alkalmazása, ez biztosítja a kedvező hangolási tulajdonságokat.

c) Az egész áramkör szempontjából döntő fontosságú a mikrohullámú integrált áramköri technológia, amelynek segítségével az oszcillátor és erősítő áramköröket szigetelő hordozójú hibrid integrálással valósítjuk meg. Itt különös gondot jelent a félvezetőszközök és egyéb alkatrészek megbízható és pontos beültetése, valamint a csatoló hurok kialakítása.

8. A tervezés főbb lépései

Az előzőekben összefoglaltuk azokat a megfontolásokat és összefüggéseket, amelyeket a YIG-hangolású mikrohullámú oszcillátorok tervezésénél figyelembe kell venni.

Ezek alapján a tervezés fő lépései a következők:

1. A YIG-gömb kiválasztása a frekvenciasáv alapján. Elsődleges paraméterek a telítési mágneszettség, az átmérő és a jósági tényező (vagy az egyenértékű rezonancia vonalszélesség). Az orientálás megoldása. A YIG-rezonátor fűtőáramkörének tervezése.

2. A csatolóhurok megtervezése.

3. Oszcillátor áramkör tervezése (mérési eredmények vagy adatlap alapján) a hangolási sáv és a kimenő teljesítmény követelmény figyelembevételével.

4. Kimeneti erősítő tervezése, a kimeneti szint, a frekvenciamenet és a harmonikus torzítás figyelembevételével.

A 3. és 4. pont alapján tervezett oszcillátor és erősítő áramkört mikrohullámú integrált áramköri technológiával valósítjuk meg; a tervezés lényeges részét képezi a layout megtervezése.

5. A hangoló áramkör megtervezése. (A hangoló tekercs adatainak megválasztása, a meredekség és ellenállás alapján; a hangolási disszipáció ellenőrzése.)

6. A moduláló tekercs tervezése, a meredekség és frekvenciafüggés ellenőrzése.

A konstrukció végleges kialakítása során van néhány olyan lépés, amely gondos tervezés esetén is kísérleti alátámasztást, mérést, illetve beállítást igényel.

Ennek több oka van; részben az áramkörhöz csatolt YIG-gömbök, részben a tranzisztorok paramétereinek mérés technikai és technológiai okokból csak korlátozott pontossággal tarthatók kézben, részben pedig a mikrohullámú integrált áramköri realizálás is korlátozott pontossággal számítható. Mindamellett a gondos tervezés során kismértékű kísérleti finomítással a tervezési célkitűzések nagy biztonsággal megvalósíthatók.

A Távközlési Kutató Intézetben mind Gunn-diódás, mind tranzisztoros YIG-hangolású oszcillátorok fejlesztésével foglalkozunk és az 1...12 GHz közötti frekvenciasávokra több jól működő típust fejlesztünk ki.

9. Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi ki Farkasvölgyi János tudományos munkatársnak és dr. Galambos György tudományos főmunkatársnak, akikkel a YIG-hangolású oszcillátorok fejlesztésének sok elméleti és gyakorlati vonatkozását tisztázták, valamint Oláh Bélának a realizálás során végzett precíz és gondos munkájáért.

IRODALOM

- [1] Markó Sz.: Mikrohullámú ferritek és ferrites nonreciprok eszközök. Mikrohullámú kézikönyv (Szerk.: Almásy Gy.) Műszaki Könyvkiadó 1973. 259—378. o.
- [2] Kása I.: Mikrohullámú integrált áramkörök. Műszaki Könyvkiadó. 1978.
- [3] Bex, H.: Die Hochfrequenzfelder der vormagnetisierten Ferritkugel. Frequenz. 1974. H. 11. 305—311. o.
- [4] Trew, R. J.: Design Theory for Broadband YIG-Tuned FET Oscillators. IEEE Trans. MTT-27. No. 1. 1979. 8—14. o.
- [5] Basawapatna, G. R.; Tsancliff, R. B.: A Unified Approach to the Design of Wide-band Microwave Solid-state Oscillators. IEEE Trans. MTT-27. No. 5. 379—385. o.
- [6] Papp, J. C.; Koyano, Y. Y.: AN 8—18 GHz YIG-Tuned FET Oscillator. IEEE Trans. MTT-28. No. 7. 1980. 762—767. o.
- [7] Soares, R.; Graffeul, J.; Obregon, J. (szerk.): Applications of GaAs MESFETs. Artech House — 1983.
- [8] Johnson, K. M.: Large Signal GaAs MESFET Oscillator Design. IEEE Trans. MTT-27. No. 3. 217—227. o.
- [9] Baranyi A.; Ladvánszky J.; Kolumbán G.: Accurate Large Signal Characterization of Microwave Transistors. Proc. of the 7th Colloquium on Microwave Communication Budapest. 1982.
- [10] Kotzebue, K. L.: A Technique for the Design of Microwave Transistor Oscillators. IEEE Trans. MTT-32. No. 7. 1984. 719—721. o.
- [11] Kása I.; Farkasvölgyi J.: YIG-hangolású mikrohullámú oszcillátorok tervezési problémái. Mikrohullámú Szeminárium Közleményei. Budapest. 1985. 240—243. o.

Mikrohullámú áramkörök reflexiós mátrixának pontos mérése hálózatanalizátorral

LADVÁNSZKY JÁNOS
Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A hálózatanalizátor parazita átviteli és reflexiói mérési hibákat okoznak, ezért eljárást adunk a mérési hibák korrekciójára. Számítógép-programot ismertettünk, amely a hibakorrekción kívül a mérés vezérlésére is alkalmas. A program használatát példákon mutatjuk be.

1. Bevezetés

Mikrohullámú áramkörök reflexiós mátrixelemeinek mérésére széles körben használnak komplex hányadosképzésen alapuló, hálózatanalizátornak nevezett mérési összeállítást (1. ábra). A hálózatanalizátorban fellépő parazita átvitelek és reflexiók mérési hibákat okoznak, melyek korrekciójával már sok szerző foglalkozott (l. [1] irodalomjegyzékét). A vizsgálatok többsége abból a feltételezésből indul ki, hogy a szisztematikus mérési hibák egy, az ideálisnak feltételezett műszer és a mérendő eszköz közé a 2. ábra szerint beiktatott hibaáramkörrel modellezhetők [2–4]. A hibaáramkörrel történő modellezés feltételeit azonban nem vizsgálták meg.

Ebben a cikkben megadjuk a hálózatanalizátorral történő mérés szisztematikus hibáinak hibaáramkörrel történő modellezéséhez szükséges feltételeket. A hibaáramkör paramétereinek meghatározásához (a kalibrációhoz) ismert reflexiós mátrixú áramköröket használunk fel. Igazoljuk, hogy általános esetben a kalibrációhoz legalább egy ismert reflexiós mátrixú *nonreciprok* áramkör is szükséges. Mivel ilyenl a gyakorlatban nem rendelkezünk, megmutatjuk, mikor végezhető el a kalibráció *reciprok* áramkörökkel.

Eredményeinket alkalmazva a 4. pontban megadjuk a kalibráció és a hibakorrekció algoritmusát. A számítások elvégzésére és a mérés vezérlésére számítógép-programot ismertettünk. Végül három példát közlünk, melyek a program használhatóságát igazolják.

2. A hálózatanalizátorral történő mérés modellezése

Kétkapuk hálózatanalizátorral történő mérésének blokkvázlatát mutatja az 1. ábra, ahol G a generátort, Q a komplex hányadosképzőt és X a mérendő eszközt jelöli, amely az F mérőbefogón keresztül kapcsolódik az S S -paramétermérő előtétéhez. Az S előtét a generátor jelét a mérőbefogón keresztül az X mért eszközre, a mérendő eszközből jövő jelet a Q hányadosképző T (Test) bemenetére juttatja. Az S előtéten keresztül jut jel a hányadosképző másik, R (Reference) bemenetére is. A mérés elve egyszerű: ha a generátorból a T és az

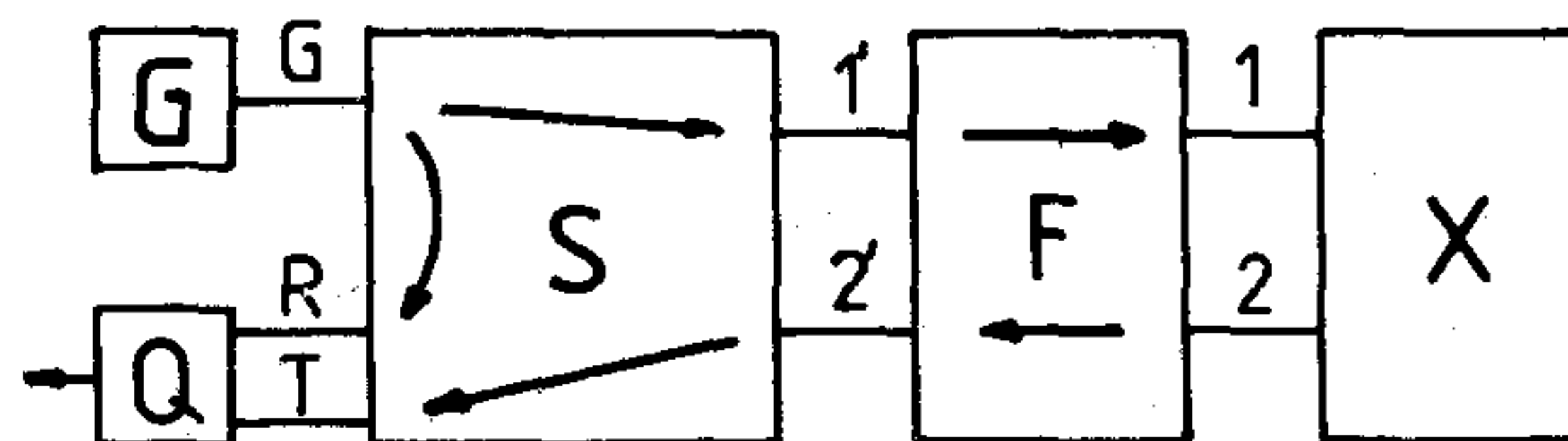
LADVÁNSZKY JÁNOS

1978-ban végzett a BME Villamosmérnöki Karának híradástechnika „B” szakán. Egyetemi hallgatóként nemlineáris áramkörök és térszámítás témakörben végzett tudományos diákköri munkát.

1978 óta a Távközlési Kutató Intézetben dolgozik. Kezdetben mikrohullámú félvezetők modellezési és méréstechnikai problémáival foglalkozott. Jelenleg aspiráns, és a széles-sávú, nemlineáris erősítők témakörében végez kutatómunkát.

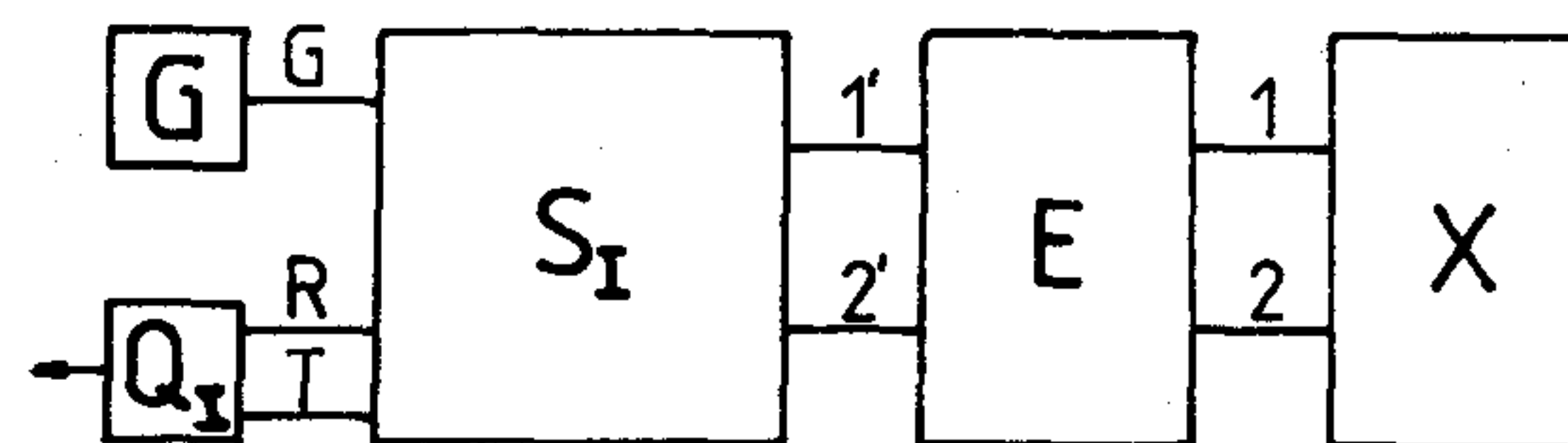
R bemenetig egyforma az átvitel, akkor a műszerről egységnyi reflexiót vagy transzmissziót olvashatunk le. A mért eszköz a generátorból a T bemenetre jutó jelet megváltoztatja, de az R bemenetre jutót nem, ezért a két jel hányadosa a mérendő paraméterrel arányos.

Az S előtét, a Q hányadosképző és az F mérőbefogó parazita átviteli és csatolásai mérési hibákat okoznak. Említettük, hogy számos publikációban [1–4] a mérési hibákat a 2. ábrán látható E négykapuval modellezik, amely az X mérendő eszköz és az S_I ideális (parazita csatolás- és reflexiómentes) előtétből, a Q ideális hányadosképzőből és a G generátorból álló, ideálisnak feltételezett műszer közé van kapcsolva. Ebben a modellben az E négykapu reprezentálja az S előtét, a Q hányadosképző és az F mérőbefogó által okozott mérési hibákat.



H-87-1

1. ábra. A hálózatanalizátor blokkvázlata. G a mikrohullámú generátort, S az S -paramétermérő előtétet, F a mérőbefogót, X a mérendő eszközt, Q a hányadosképzőt jelöli. A berajzolt nyilak az S_{21} mérésének megfelelő fő jelutak mutatják



H-87-2

2. ábra. A mérési hibák modellezése hibaáramkörrel. Az E hibaáramkör az 1. ábrán látható S előtét, Q hányadosképző és F mérőbefogó által okozott mérési hibákat modellezi, ezért S_I és Q ideális előtétet ill. hányadosképzőt jelöl

Beérkezett: 1985. VII. 1. (□)

Az X kétkapú reflexiós mátrixának mérni kívánt elemét az S előtétbe épített kapcsolók segítségével választhatjuk ki. A reflexiós mátrix négy elemének megfelelően a különböző kapcsolóállásokhoz az S előtét négy különböző belső struktúrája tartozik. Ideális esetben minden kapcsolóállásban három kapupár között van csatolás, a többi átvitel és az összes reflexió zérus értékű. Az 1. ábra az S_{21} mérésének megfelelő jelutakat mutatja.

A 2. ábrán levő modell érvényességéhez az S előtét négy különböző struktúrájából származó mérési hibákat *egyetlen* hibaáramkörrel kell modelleznünk. Korábbi vizsgálataink során igazoltuk [7], hogy a hibaáramkörrel történő modellezés feltételei a következők

1. Az S előtét kapcsolóinak átváltásakor a fő jelutak átvitele közül egyszerre csak egy változhat meg.

2. Az 1 és 2 kapu reflexiói és a köztük mérhető parazita átvitel a kapcsolók átváltásakor nem változhat meg.

3. A parazita reflexióknak 1-nél, a parazita átviteknek a fő jelutak átviteleivel legalább egy nagyságrenddel kisebbnek kell lenniük.

3. Kalibráció reciprok áramkörökkel

A mérési hibák korrekciójához meg kell határoznunk az E négykapú paramétereit. Ehhez kalibrációs méréseket végzünk, ami ismert reflexiós mátrixú áramkörök mérését jelenti. Minden korábbi publikációban azt feltételezték, hogy az E áramkör paraméterei reciprok kalibráló áramkörök segítségével meghatározhatók. Megmutatjuk, hogy ez általában nem áll fenn, ezért a kalibrációhoz az E áramkörre vonatkozó további megszorításoknak kell teljesülniük. Ebben a fejezetben elvi vizsgálatot végzünk, melynek alapján a következő fejezetben adjuk meg a kalibráció algoritmusát.

Az E hibaáramkör 4×4 -es méretű S_E reflexiós mátrixát 2×2 -es részmátrixokra bontjuk, melyben a kapuk sorrendje $T, R, I, 2$:

$$S_E = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B} \\ \mathbf{C} & \mathbf{D} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Jelölje S_X és S_M rendre az X mérendő kétkapú valódi és a műszerről leolvasott reflexiós mátrixát! A 2. ábra alapján, az (1) egyenlet jelöléseivel a valódi és a mért reflexiós mátrix kapcsolata a következő:

$$S_M = \mathbf{A} + \mathbf{B}S_X(\mathbf{I} - \mathbf{D}S_X)^{-1}\mathbf{C} \quad (2)$$

ahol $\mathbf{I}$ a 2×2 -es egységmátrixot jelöli, és feltételeztük, hogy $(\mathbf{I} - \mathbf{D}S_X)$ nem szinguláris.

A hibakorrekcióhoz az $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}$, mátrixok elemeit kell meghatároznunk ismert S_{Ci} ($i = 1, 2, \dots$) reflexiós mátrixú kalibráló áramkörök S_{Mi} ($i = 1, 2, \dots$) mért adatai segítségével, ekkor a (2) egyenletben S_M helyett S_{Mi} , S_X helyett S_{Ci} írandó. Az $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}$ mátrixok összesen 16 eleme közül csak 15 független, mert $\mathbf{B}$ szorzása és $\mathbf{C}$ osztása ugyanazzal a komplex számmal a (2) egyenlet szerinti transzformációt változatlanul hagyja.

Tegyük fel, hogy van három kalibráló áramkörünk, melyek reflexiós mátrixai a következők:

$$S_{C1} = \mathbf{0} \quad S_{C2} = -\mathbf{I} \quad S_{C3} = \mathbf{I} \quad (3)$$

Mindhárom áramkör reciprok, mert $S_{Ci} = S_{Ci}^T$ ($i = 1, 2, \dots$). A (2) és (3) egyenletekből az $\mathbf{A}$ és a $\mathbf{C}^{-1}\mathbf{D}\mathbf{B}^{-1}$ mátrixok az alábbi alakban adódnak:

$$\mathbf{A} = S_{M1} \quad (4)$$

$$\mathbf{C}^{-1}\mathbf{D}\mathbf{B}^{-1} = -\frac{1}{2}[(S_{M2} - S_{M1})^{-1} + (S_{M3} - S_{M1})^{-1}] \quad (5)$$

Az $\mathbf{A}$ és a $\mathbf{C}^{-1}\mathbf{D}\mathbf{B}^{-1}$ mátrixok ismeretében bevezetjük az S_T transzformált reflexiós mátrixot:

$$S_T = [\mathbf{C}^{-1}\mathbf{D}\mathbf{B}^{-1} + (S_M - \mathbf{A})^{-1}]^{-1} \quad (6)$$

Az S_T és az S_X mátrixok kapcsolata a (2) egyenlet alapján a következő:

$$S_T = \mathbf{B}S_X\mathbf{C} \quad (7)$$

A (7) lineáris egyenlet az alábbi alakban is felírható:

$$\begin{bmatrix} S_{T11} \\ S_{T21} \\ S_{T12} \\ S_{T22} \end{bmatrix} = \mathbf{K} \begin{bmatrix} S_{X11} \\ S_{X21} \\ S_{X12} \\ S_{X22} \end{bmatrix} = \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} b_{11}c_{11} & b_{12}c_{11} & b_{11}c_{21} & b_{12}c_{21} \\ b_{21}c_{11} & b_{22}c_{11} & b_{21}c_{21} & b_{22}c_{21} \\ b_{11}c_{12} & b_{12}c_{12} & b_{11}c_{22} & b_{12}c_{22} \\ b_{21}c_{12} & b_{22}c_{12} & b_{21}c_{22} & b_{22}c_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{X11} \\ S_{X21} \\ S_{X12} \\ S_{X22} \end{bmatrix}$$

Ezzel a hibakorrekció problémáját a (8) egyenlet invertálására redukáltuk.

Reciprok kalibráló áramkörökkel a $\mathbf{K}$ mátrix első és utolsó oszlopának elemeit könnyen megkaphatjuk [8], azonban $S_{C12} = S_{C21}$ miatt a 2. és 3. oszlopban álló elemek összegét tudjuk csak meghatározni. Ha a mérendő áramkörök is reciprok ($S_{X12} = S_{X21}$), akkor ez elég lehet, hiszen ekkor a (8) egyenlet az alábbi alakra egyszerűsödik:

$$\begin{bmatrix} S_{T11} \\ S_{T21} \\ S_{T22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & (k_{12} + k_{13}) & k_{14} \\ k_{21} & (k_{21} + k_{23}) & k_{24} \\ k_{41} & (k_{42} + k_{43}) & k_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{X11} \\ S_{X21} \\ S_{X22} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Ezzel a hibakorrekció problémáját a (8) egyenlet invertálására redukáltuk.

A probléma az, hogy a mérendő áramkör (pl. egy tranzisztor) általában nem reciprok, így további összefüggéseket kell találnunk a $\mathbf{K}$ mátrix elemei között. Erre lehetőséget nyújtana az E hibaáramkör reciprocitása, de belátható [7], hogy E általában nem reciprok.

A (8) egyenlet szerint a $\mathbf{K}$ mátrix elemei a $\mathbf{B}$ és $\mathbf{C}$ mátrix elemeinek szorzatai. A $\mathbf{B}$ és $\mathbf{C}$ mátrix összesen 8 elemet tartalmaz, $\mathbf{B}$ szorzása és $\mathbf{C}$ osztása ugyanazzal a számmal $\mathbf{K}$ -t változtatlanul hagyja. Ezért a $\mathbf{K}$ mátrixnak legfeljebb 7 független eleme van, a (8) egyenlet alapján meggyőződhetünk arról, hogy a független elemek száma pontosan 7. A $\mathbf{K}$ mátrix bármely oszlopában és sorában 3—3 elem független, az 1. és 4. oszlop elemeit már ismerjük. Ezért a kritikus 2. vagy 3. oszlopból pontosan egy elem ismerete szükséges és elegendő az összes többi mátrixelem meghatározásához.

A fenti gondolatmenetből fontos következtetések vonhatók le. Egyrészt az, hogy $\mathbf{K}$ elemeinek meghatározásához, így a kalibrációhoz általában nonreciprok

1

kezdeti értékek beállítása

2

egykapu kalibráló
mérésekkétkapu kalibráló
mérések

hibaparaméterek meghatározása

3

ismeretlen eszköz mérése

hibakorrekció

nyomtatás

adatok háttértárba

4

rajzolás

új hálózatjellemző számítása

lyukszalag készítése

H-87-3

3. ábra. A kalibrációt, a hibakorrekciót és a mérés vezérlését végző számítógép-program blokkvázlata

áramkör is szükséges. Ismert reflexiós mátrixú nonreciprok áramkörrel azonban a gyakorlatban nem rendelkezünk, ezért meg kell vizsgálni azt is, mikor végezhető el a kalibráció reciprok áramkörökkel. A fenti gondolatmenet alapján a kalibráció pontosan akkor végezhető el reciprok áramkörökkel, ha a $\mathbf{K}$ mátrix 2. vagy 3. oszlopának egy elemét ismerjük.

Az utóbbi feltétel a gyakorlatban úgy teljesül, hogy $\mathbf{B}$ és $\mathbf{C}$ diagonálmátrixra egyszerűsödik, ugyanis a diagonálison kívüli elemek (b_{12} , b_{21} , c_{12} , c_{21}) az S előtét parazita átviteleit reprezentálják és gyakorlatilag elhanyagolhatók [7], teljesítve ezzel a 2. fejezet 3. feltéte-

lét is. Megjegyezzük, hogy vannak nem elhanyagolható, de a 2. fejezetben megadott feltételeket teljesítő parazita átvitelek is [7].

4. Hibakorrekció

Az előző fejezetben elméleti vizsgálatot végeztünk, melyben figyelmen kívül hagytuk a feltételezett kalibráló elemek reflexiós mátrixának gyakorlati realizálhatóságát. Ebben a fejezetben az elvi eredmények alapján olyan kalibrációs és hibakorrekciós algorit-

must mutatunk be, amelyhez a gyakorlatban jól realizálható kalibráló áramköröket használunk fel: kétoldali illesztett lezárot (két 50 ohmos ellenállás), kétoldali rövidzárt és φ elektromos hosszúságú átmenetet. Reflexiós mátrixaik rendre a következők:

$$S_{C1} = 0, \quad S_{C2} = -I, \quad S_{C3} = e^{-\varphi} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

A jelölések egyszerűsítésére két speciális mátrixműveletet vezetünk be. Legyen $X = [x_{ij}]$ és $Y = [y_{ij}]$ két azonos méretű mátrix. X és Y elemenkénti szorzását és osztását a következőképpen értelmezzük:

$$X \times Y = [x_{ij} y_{ij}] \quad X : Y = \left[\frac{x_{ij}}{y_{ij}} \right] \quad (11)$$

A hibakorrekcióban B és C diagonális tulajdonságát használjuk ki. Bevezetjük a B és C elemeiből álló H mátrixot:

$$H = \begin{bmatrix} c_{11} b_{11} & c_{11} b_{22} \\ c_{22} b_{11} & c_{22} b_{22} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Diagonális B és C esetén a (2) egyenlet alapján a hibakorrekció a következő:

$$S_x = [D + H \times (S_M - A^{-1})^{-1}] \quad (13)$$

A kalibráció az A , D és H mátrixok meghatározását jelenti, melyet a (10) és (13) egyenletek alapján végezhetünk el:

$$A = S_{M1} \quad (14)$$

$$H = (S_{C2}^{-1} - S_{C3}^{-1}) : [(S_{M2} - S_{M1})^{-1} - (S_{M3} - S_{M1})^{-1}] \quad (15)$$

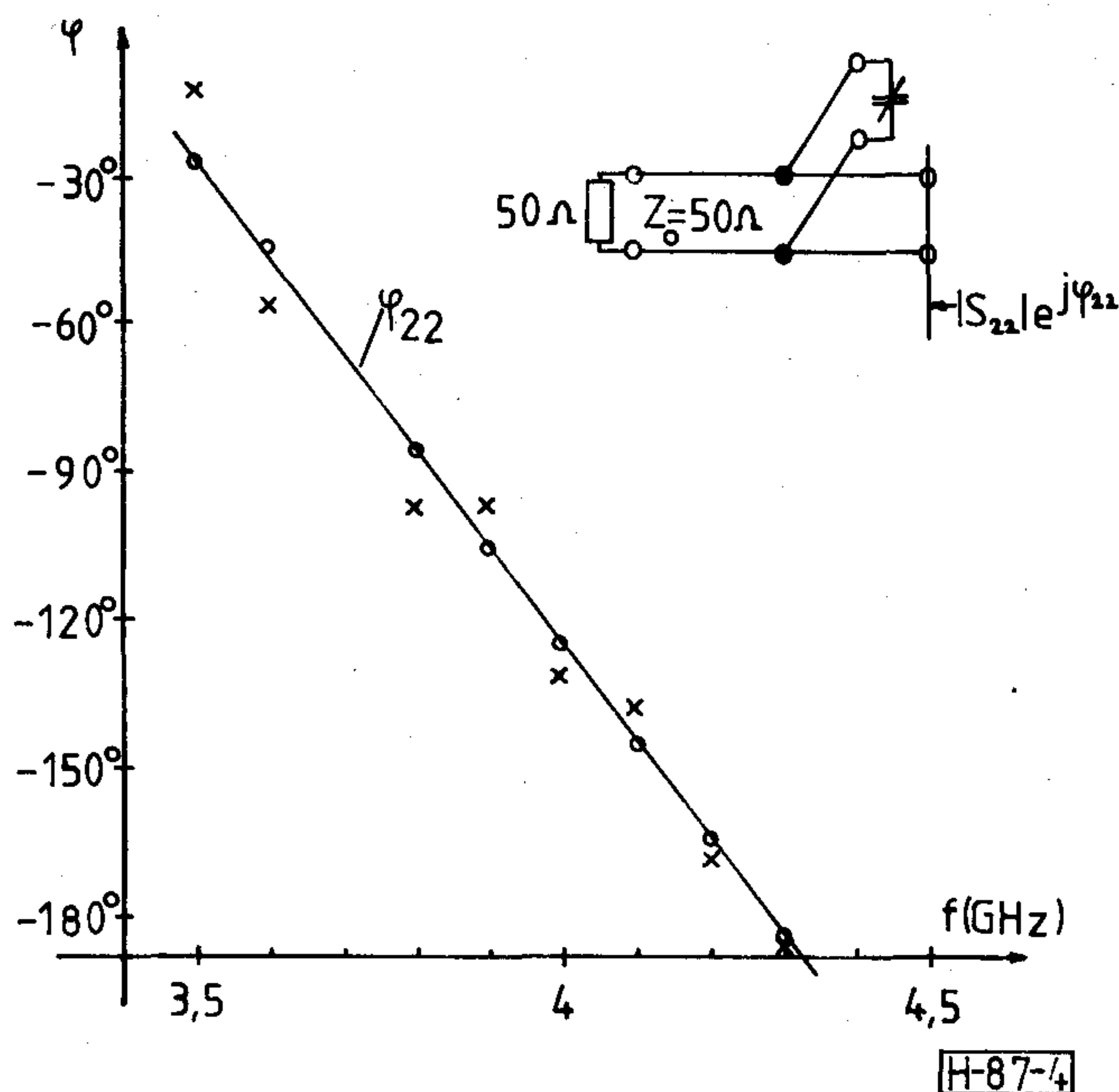
$$D = S_{C2}^{-1} - H \times (S_{M2} - S_{M1})^{-1} \quad (16)$$

A (12) összefüggésből látjuk, hogy a H mátrixnak csak 3 eleme független, míg az A és D mátrixoknak általában négy-négy eleme. Így a rendszert egy frekvencián összesen 11 komplex szám jellemzi.

5. Számítógép-program

A fenti számítások elvégzésére és a mérés vezérlésére többféle, ~ 30 kbyte memóriakapacitású számítógépen futtatható programot készítettünk, melyek blokkvázlatát a 3. ábra mutatja. A program alapváltozata három részből áll, melyek közül egyidejűleg csak egy van a számítógép memóriájában. Az első rész a kezdeti értékek beállítását, a második a kalibrációt, a harmadik az ismeretlen eszköz mérését vezérli. A program bővített változatai rajzdokumentáció készítésére, a mért adatokból a felhasználó által definiált hálózatjellemzők meghatározására és a mért adatok 8 csatornás lyukszalagon történő tárolására is alkalmasak. A lyukszalagon tárolt mért paraméterek nagyobb számítógépen futtatható hálózatanalízis és optimalizáló program [9] számára szolgáltatnak kiinduló adatokat.

A 3. ábrán látható 2. számú programrész többféle kalibráció elvégzésére nyújt lehetőséget. Ha a mért eszköz egykapu, akkor egyszerűbb a kalibráció [5]. Ebben az esetben kalibráló áramkörként illesztett lezárot, rövidzárt és szakadást használunk. A mérési



4. ábra. Mikrosztríp tápvonalat sőtölő trimmerkondenzátor reflexiójának fázisa a frekvencia függvényében. A műszerről leolvasott fázist kereszt, a hibakorrekció utáni fázist kör jelöli

pontosság növelésére a változtatható lezárot (sliding load) kezelést, a mért adatokra történő kör-illesztést [6] és a szakadás kapacitív modelljét is beépítettük a programba.

Az egyik programváltozat a csőtápvonalas méréseket is lehetővé teszi. Ekkor a harmadik kalibráló elem a szakadás helyett olyan rövidzár, melynek a referenciasíktól mért távolsága előírt mértékben változtatható.

Kétkapu mérése esetén a 4. fejezet szerinti három kalibráló kétkaput használjuk, melyek frekvenciánként 12 mért adatot szolgáltatnak. A hibaparaméterek száma csak 11, ezért egy mért adatot a kalibráció ellenőrzésére használunk fel.

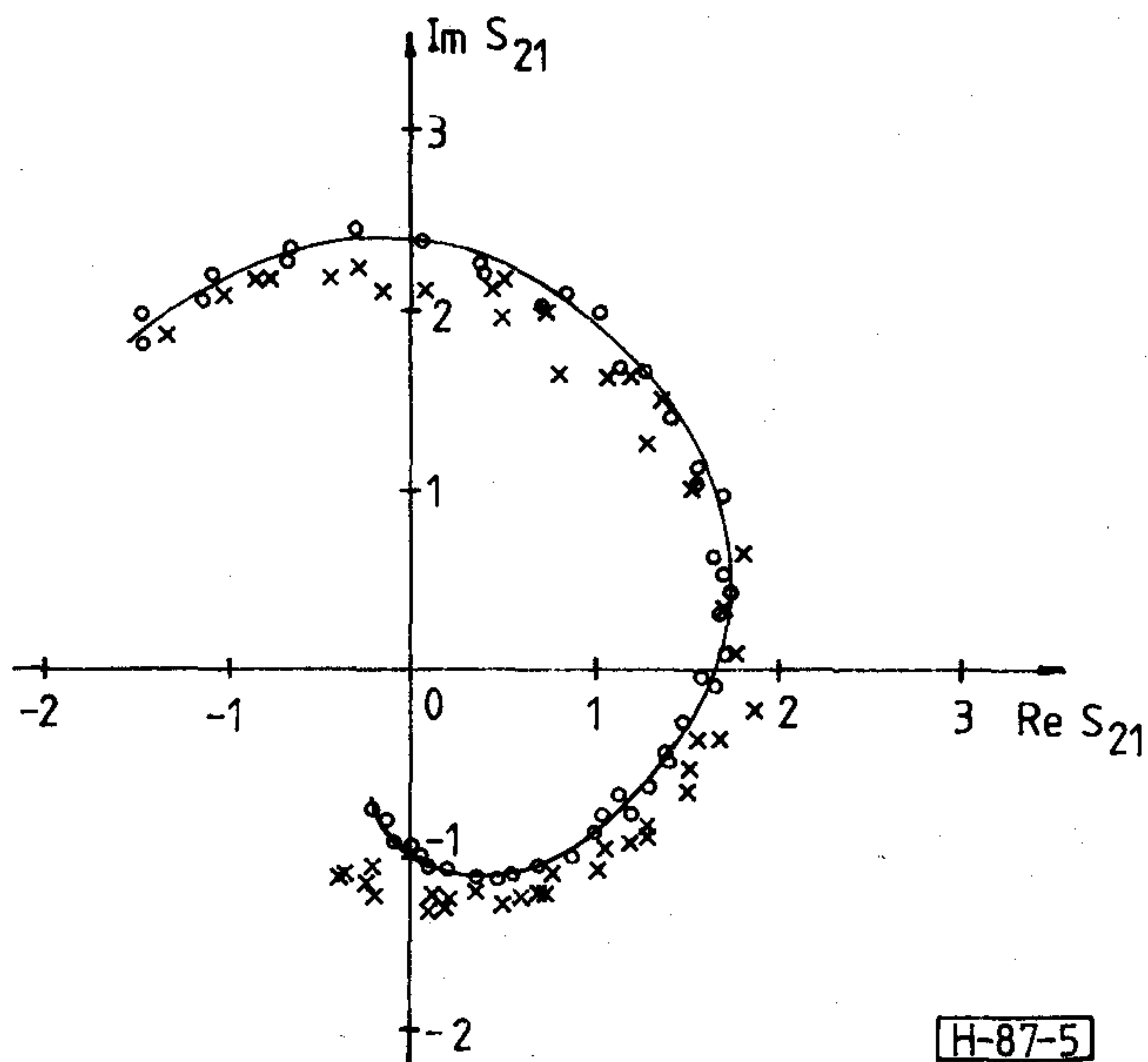
Hangsúlyozzuk, hogy a (13) egyenlettel megadott algoritmus alapján készített számítógép-program az irodalomból ismert programoknál [1—4] lényegesen hatékonyabb mérést tesz lehetővé.

Egy 50 frekvenciapontban végzett mérés ideje a kalibrációval együtt hozzávetőleg negyed órát vesz igénybe. A bemutatott program és mérőapparátus a Távközlési Kutató Intézet központi laboratóriumában működik.

6. Példák

Ebben a fejezetben három példát közlünk, melyek a hibakorrekció szükségességét és a bemutatott számítógép-program használhatóságát igazolják.

1. példa. Ismert, hogy passzív eszközök reflexiói egynél kisebb abszolút értékűek. A mérési hibák következtében azonban a műszerről leolvasott reflexió egynél nagyobb abszolút értékű is lehet. A kísérletek során 10 cm hosszúságú koaxiális tápvonal végére rövidzárt helyeztünk és a tápvonal szabad végének reflexióját mértük. A műszerről $f = 3,6$ GHz-en $S_{M11} = 1,2$ értéket olvastunk le, amely a hibakorrekció



5. ábra. A CFY 11 típusú tervezérlésű tranzisztor S_{21} paramétere a 2–12 GHz-es frekvenciasávban, $U_{DS} = 4$ V, $I_D = 30$ mA-es munkapontban. A műszerről leolvasott értékeket kereszt, a hibakorrekció utáni értékeket kör jelöli

után $S_{X11} = 0,98$ értéket eredményezett, a várakozásnak megfelelően.

2. példa. Mikrosztrip tápvonalat söntölő trimmer-kondenzátor reflexiójának fázisát mutatja a 4. ábra. Látható, hogy a mérési hibák hatására a fázismenet szabálytalan, míg a hibakorrekció után kapott pontok jó közelítéssel egy egyenesre esnek, az elvi megfontolásokkal összhangban. A korrekció előtti és utáni adatokra regressziós egyeneseket fektetve azt tapasztaltuk, hogy a korrekció hatására a mért pontok regressziós egyenestől vett átlagos távolsága körülbelül egytizedére csökkent.

3. példa. CFY 11 típusú tervezérlésű tranzisztor reflexiós mátrixának S_{21} elemét látjuk az 5. ábrán a 2–12 GHz-es frekvenciasávban, $V_{DS} = 4$ V, $I_D = 30$ mA munkapontban. A hibakorrekciót a 4. fejezetben leírt algoritmussal végeztük el. A 2. példához hasonlóan a műszerről leolvasott adatok szórása nagyobb, mint a korrigált adatoké. Az is megfigyelhető, hogy a korrekció hatása nagy frekvenciákon különösen erős, ami a tranzisztor határfrekvenciájának becslésében érzékelhető a legjobban.

7. Záró megjegyzések

A cikkben megadtuk a hálózatanalizátor-elrendezés hibaáramkörrel történő modellezésének és reciprok áramkörökkel történő kalibrációjának feltételeit. Al-

goritmust adtunk a kalibrációra és a hibakorrekcióra, és ezek felhasználásával a mérés vezérlésére és kiértékelésére alkalmas programot dolgoztunk ki.

Az eljárás gyakorlati alkalmazhatóságát döntően befolyásolja a felhasznált kalibráló elemek minősége. Megfelelő minőségű kalibráló elemek előállítása bonyolult és drága. Ezért felvetődik a kérdés, hogy a hibaparaméterek számát változtatlanul hagyva mennyi a legkevesebb adat, amit a kalibráló elemekről *a priori* ismernünk kell. A minimális számú adatot igénylő kalibráció kidolgozása a továbbfejlesztés egyik iránya lehet.

8. Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondok mindazoknak, akik érdeklődésükkel, futtatási tapasztalataik közlésével, a méréshez szükséges anyagok és eszközök biztosításával a kitűzött cél elérését megkönnyítették számomra.

Külön köszönöm dr. Baranyi Andrásnak az elméleti vizsgálatokban való részvételét. A nonreciprok kalibráló elem szükségességére az itt közölttől eltérő gondolatmenettel ő mutatott rá először.

Köszönöm dr. Kása István rendszeres érdeklődését és azt, hogy a témakör kiterjedt szakirodalmában való tájékozódásban segített.

Végül köszönöm Printz Imrének, hogy műszereket és számos segédeszközt biztosított számomra.

IRODALOM

- [1] Adam, S. F.: Automatic Microwave Network Measurements, Proc. of the IEEE, April 1978, pp. 384–391.
- [2] Gelinovatch, V. G.: Computer Program for the Direct Calibration of Two-Port Reflectometers for Automated Microwave Measurements, IEEE Trans. on MTT, Jan. 1976, pp. 45–47.
- [3] Speciale, R. A.: A Generalization of the TSD Network-Analyzer Calibration Procedure, Covering n-Port Scattering-Parameter Measurements, Affected by Leakage Errors, IEEE Trans. on MTT, Dec. 1977, pp. 1100–1115.
- [4] Fitzpatrick, J.: Error Models for Systems Measurement, Microwave Journal, May 1978, pp. 63–66.
- [5] Bianco, B., Corana, A., Ridella, S. and Simicich, C.: Evaluation of Errors in Calibration Procedures for Measurements of Reflection Coefficient, IEEE Trans. on IM, Dec. 1978, pp. 365–358.
- [6] Kása I.: A Circle Fitting Procedure and Its Error Analysis, IEEE Trans. on IM, March 1976, pp. 8–14.
- [7] Ladvánszky J., Baranyi A.: Mikrohullámú tranzisztorok mérése, TKI tanulmány, Bp. 1979. nov. TKI-I-79-333-3.
- [8] Baranyi A., Ladvánszky J.: On the Exact S-parameter Measurement of Active Devices, Proc. of the 10th European Microwave Conference, Warszawa, 8–11th Sept. 1980, pp. 278–282.
- [9] Valtonen, M., Ladvánszky J.: Lineáris aktív áramkörök tervezése a frekvenciatartományban az APLAC 35 számítógépprogram segítségével, felhasználói dokumentáció, Budapest, 1981. dec. 30.

Öntőgyanták a híradásiparban

CSAPÓ ZOLTÁNNÉ

REMIX Rádiótechnikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

A szerző ismerteti a híradásiparban alkalmazható öntőgyanták összetételének előnyeit és hátrányait, valamint a térhálósodással kapcsolatos vizsgálati eredményeket.

1. Bevezetés

Az elektronikai alkatrésziparban számos öntőgyantát alkalmaznak szigetelő és beágyazó anyagokként.

Öntőgyanták nagy választéka áll rendelkezésünkre: poliészter, poliuretán, szilikon, epoxigyanták.

A poliészter gyanták előnye, hogy könnyen kezelhető, jó klímaállósággal rendelkeznek, olcsók. Hátránya, hogy nagy a zsugorodása, tapadóképesége kisebb, mint az epoxigyantának, és rideg.

A poliuretán gyanták előnye, hogy exotermikus tulajdonságuk csekély, nagy tömegben lehet velük dolgozni, 150 °C-ig igénybevehetők. Hátránya viszont, hogy megmunkálásnál igen érzékeny a nedvességre, mérgező.

A szilikon gyanták előnye, hogy nagy hőállósággal rendelkeznek, kiváló elektromos tulajdonságait, -65 °C—+300 °C között is megőrzi, könnyen kezelhető, illetve technológizálható. Hátránya pedig az, hogy drága, szilárdsága csekély (késsel vágható), rossz a tapadása, lefejthető az alkatrésztől.

2. Epoxigyanták

Az elektronikai alkatrészek szigetelésénél, beágyazásánál az oldószermentes epoxigyanták nagy teret hódítottak. A híradásipari termékek 86%-ánál epoxigyantát alkalmaznak beágyazóanyagként, mivel kitűnő keménységgel, jó szívóssággal, kiváló villamos ipari tulajdonságokkal, jó vegyszerállósággal, kiváló tapadással, elhanyagolható zsugorodással rendelkeznek, oldószermentesek, ezért tömör szerkezet alakítható ki belőlük.

Azonban a felsorolt jó tulajdonságokat csak úgy lehet elérni a kialakítandó gyantarendszerekénél, ha figyelembe vesszük az epoxigyanta típusát, térhálósító (keményítő) típusát, töltőanyag fajtáját és mennyiségét, valamint a kezelési hőmérsékletet és időt helyesen választjuk meg.

Az epoxigyanták általában 350—4000-as mólsúllyal rendelkeznek, ami azt jelenti, hogy halmazállapotuk a folyadékoktól a szilárdig terjed. A folyékony epoxigyanták viszkozitása a 100 mPa.s—4000 mPa.s-ig terjed. Kiöntéseknél, beágyazásnál, lezárásnál a kis viszkozitású gyantáknak van fontos szerepük. A kis viszkozitású epoxigyanta kicsiny és szűk nyílásokba is be tud jutni, a teret teljesen kitölti, így légzárványok nem keletkeznek.

CSAPÓ ZOLTÁNNÉ

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán szerzett vegyész diplomát. Előbb a Lakkipari Kutatóban kutatóvegyésként a különböző oldószermentes gyanták és nagy klímaállóságú lakkok kutatásával foglalkozott, majd a Mechanikai Laboratóriumban, mint felü-

letvédő szaktechnológus dolgozott. A Veszprémi Nehézipari Egyetemen Korrozíós szakmérnöki diplomát szerzett. Két évtizede a Remix Rádiótechnikai Vállalat, Kémiai Laboratóriumának osztályvezetőjeként a híradásipari alkatrészekkel kapcsolatos kémiai feladatok fejlesztésével foglalkozik.

2.1 Az epoxigyanták fajtái

A nem módosított epoxigyantákat főleg lakkipari célokra alkalmazzák. Ezek nagy ellenállóképességgel rendelkeznek, ami a kialakult kémiai szerkezetre utal, valamint az elért nagy hálósítási sűrűsége vezethető vissza. Viszont csekély rugalmassággal rendelkeznek.

Módosított epoxigyantákat háromféle módon lehet kialakítani:

a) reakcióképes hígítókkal

Nagy viszkozitású, aromás gyantatípusok (Bisfenol A) hígítása, kis molekulásúlyú, monoglicidil vegyülettel. Ebben az esetben a térhálósodási reakció elhúzódik, a feldolgozhatóság javul. Lakkipari célokra megfelelő. Mivel a reakcióképes hígító nem épül be teljes mértékben a gyantarendszerbe, oldószerpárolgás lehetséges.

b) folyékony extenderekkel

Lágyító hozzáadásával történi. (pl. dibutilftalát). Ezt külső lágyítónak nevezik, mivel a lágyító nem épül be teljesen a gyantarendszerbe. Lágyító hozzáadással a gyantarendszer rugalmassága nő, de ellenállóképessége csökken. Lágyító kiizzadás lehetséges.

c) belső flexibilizálással

A híradásiparban leginkább belső flexibilizálással módosított epoxigyantákat használnak, ahol az epoxigyantába hosszúszenlancú alifás, aromás, vagy cikloaromás tagok épülnek be. Ez szerepet játszik a molekulásúly, valamint a viszkozitás kialakításában. A Ciba-cég által gyártott Magyarországon is forgalomban levő Araldit CY jelű epoxigyanták is belső flexibilizálással előállított módosított epoxigyanták. Az epoxigyanta kiválasztása mindig az előzőekben említett tulajdonságok alapján történik. Lehetőleg kis vagy közepes viszkozitású és magas térhálósodási fokkal rendelkező epoxigyantát alkalmazunk. A kis viszkozitás főleg a kicsiny és alakos alkatrészek miatt fontos, míg a nagy térhálósodási fok pedig a gyanta ellenállóképessége szempontjából játszik fontos szerepet.

Beérkezett: 1985. VII. 3. (Δ)

2.2 Térhálósítók

A gyantarendszer kialakítása szempontjából nagyon fontos a térhálósító (keményítő) anyag kiválasztása. A térhálósító típusa határozza meg a gyantarendszer kezelési mechanizmusát és ellenállóképességét.

Megkülönböztetünk savanhidrid és amin térhálósítókat.

Savanhidrid térhálósítók:

Ilyen pl. a Ciba-cég által gyártott HT 905 jelű hexahidro-ftálsav-anhidrid, és a HT 907 jelű polikarbon-sav-anhidrid. Savanhidriddel térhálósított epoxigyantákat, melegen térhálósodó gyantarendszereknek nevezzük, mivel a térhálósodási reakció 80 °C-nál vagy ennél magasabb hőmérsékleten megy végbe. A melegen térhálósodó gyantarendszerek lényegesen ellenállóbbak, mint a hidegen térhálósodók, mivel a képződő makromolekula nagyobb, és a térhálósodás sokkal tökéletesebb. Így a kialakult gyantarendszerek szívósak, kitűnő mechanikai és villamos tulajdonsággal, valamint igen csekély nedvesség-abszorpcióval rendelkeznek.

Amin térhálósítók

Az elektronikai alkatrésziparban, a magas hőmérséklet alkalmazása nem mindig ajánlatos, mivel magas hőmérsékleten egyes alkatrészek károsodást szenvednek. Ezért gyakran alkalmaznak szoba- vagy alacsony hőmérsékleten kezelt gyantarendszereket. Ezek az alacsony hőmérsékleten alkalmazott térhálósítók, általában aminok.

Alifás poliaminok (pl. CIBA-Geigy HY 2967, HY 951) alkalmazásánál, nagy pontosságra van szükség az arányok összemérésénél. A keverék nedvesség-érzékenysége nyugtalanítóan magas. Szobahőmérsékleten elégtelen a térhálósodás, a felület ragadós marad. A vízzel szembeni ellenállóképesség nem megnyugtató. A legtöbb poliamin erősen párolog (így nem vákuumozható), gőze mérgező.

Módosított poliaminok (pl. HY 956) esetén az arányok összemérésénél pontos mérést igényel. A gyantarendszer gyorsan kötő, rövid a felhasználási ideje. Vízállósága jobb, mint az alifás poliaminoké.

Aromás poliaminok (pl. HY 979) nehéz körülmények között is felhasználhatók, (pl. alacsony hőmérsékleten és nagy levegőnedvesség tartalom mellett is). A szobahőmérsékleten kialakított gyantarendszer meleg öregedés során nagy rugalmasságot mutat, ami arra utal, hogy szobahőmérsékleten nem ment teljesen végbe a térhálósodási reakció. Csak ott használható, ahol nem lép fel oxidatív igénybevétel, mert oxidáló anyagokkal szemben nem ellenálló.

Poliamino-amidok, folyékony epoxigyantával keverve megzavarosodnak, a keverék opálos lesz, és lágyító kiizadás jelentkezhet a felületen. Ezért nem terjedt el az alkalmazásuk.

Módosított poliamino-amidok (pl. Sibeck 764) gyűjtőnéven elnevezett poliamidok nem tévesztendőek össze a szilárd poliamidokkal, amelyeket fröccsöntésre használnak. Ezek a poliamidok reaktív aminocsoportokat tartalmaznak, és halmazállapotuk folyékony. Alkalmazásuk során a folyékony epoxigyantá-

1. táblázat

Térhálósodási		Módosított poliaminnal térhálósított rendszer		Savanhidriddel térhálósított rendszer		Módosított poliamino-amiddal térhálósított rendszer	
hőmérséklet °C	idő óra	felületi pH	etilalkoholban 24h	felületi pH	etilalkoholban 24h	felületi pH	etilalkoholban 24h
25	24	8	visszalágyul				
40	10'	8	visszalágyul				
60	3	7	—				
70	24			7	visszalágyul		
75	12					9	visszalágyul
75	24					7	—
80	24			7	—		

val keverve teljesen tiszta folyadékot alkotnak. Megmunkálásnál jó tulajdonságokkal rendelkeznek. Drágábbak, mint a nem módosított poliamino-amidok. Epoxigyantával való keverési aránya nem olyan szigorú, mint a többi amin térhálósítóé.

Keverési intervalluma 100 sr. gyanta + 60 sr. térhálósítótól a 100 sr. gyanta + 100 sr. térhálósítókig terjedhet. 100 : 60 keverési aránynál nagyon vízálló, de kevésbé rugalmas gyantarendszert kapunk, ezzel szemben 100 : 100 keverési aránynál a gyantarendszer ellenállóképessége, valamint a tapadóképesége csökken, de rugalmasabb gyantarendszert kapunk.

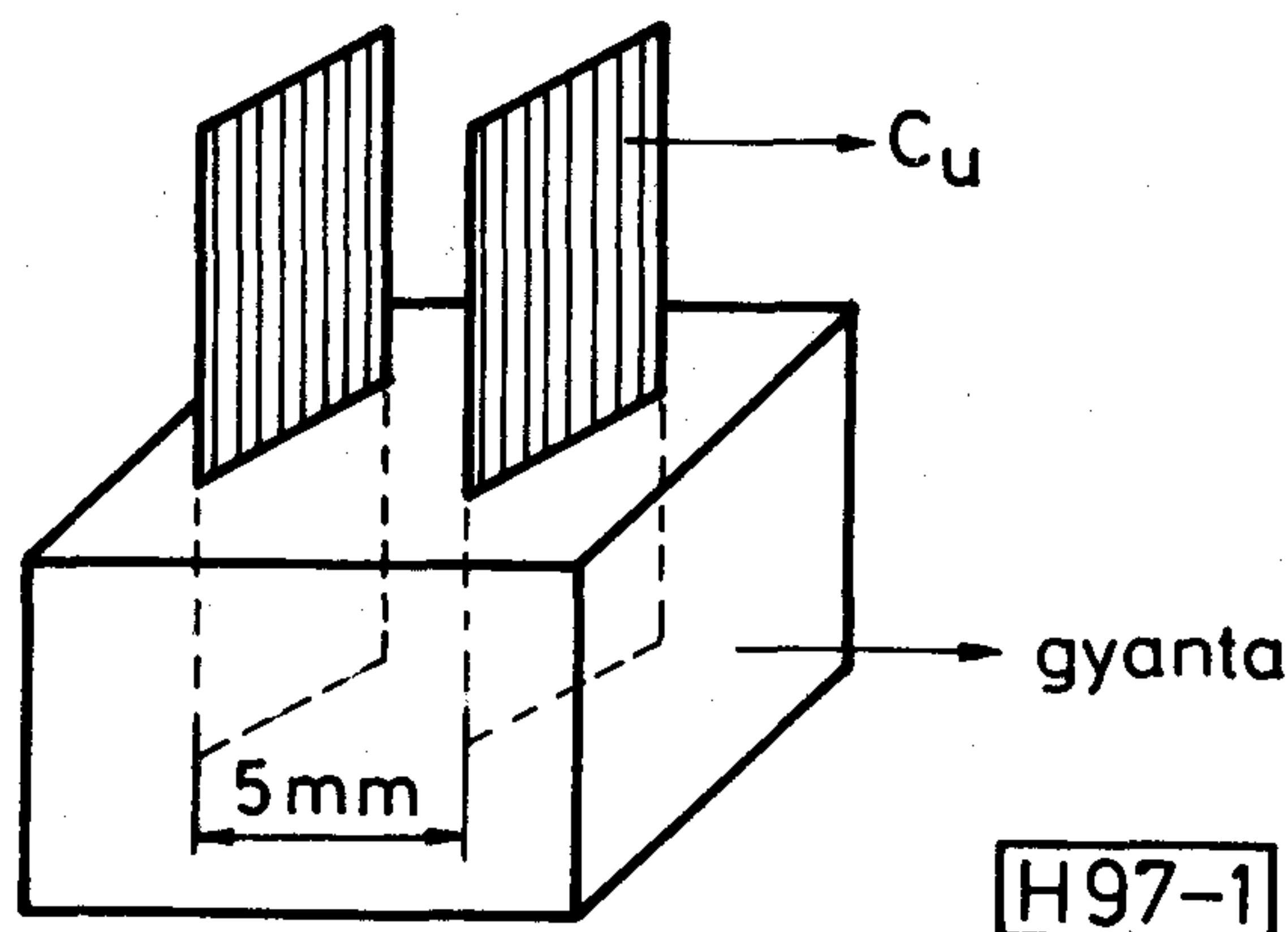
2.3 Technológiai körülmények

Amikor már az epoxigyantát és térhálósítót is kiválasztottuk a kiöntendő alkatrészeknek megfelelően, akkor nagyon gondosan kell megválasztani a *térhálósodási hőfok és idő* mértékét.

Híradásipari alkatrészek gyantával való lezárásánál különösen nagy figyelmet kell fordítani arra, hogy a térhálósodási reakció végbemenjen, mivel a szigorú követelményeket csak így tudja a gyantarendszer kielégíteni. A gyártó cégek által kibocsátott ismertetőben megadott hőmérséklet és idő nem minden esetben jelenti azt, hogy a térhálósodási reakció is végbement, sok esetben csak fizikai gyantakeményedésről van szó. Méréseket végeztünk arra vonatkozóan, hogy a gyártmányismertetőkben megadott idő és hőmérséklet alatt valóban végbemegy-e a térhálósodási reakció, vagy csak fizikai keménységről beszélhetünk. A térhálósodás mértékét háromféle módszerrel ellenőriztük:

- felületi pH méréssel
- etilalkohol hatására történő visszalágyulással
- szigetelési ellenállás méréssel.

a) A *felületi pH* mérést desztillált vízzel megnedvesített Universal indikátorpapírral végeztük. A megnedvesített indikátorpapírt a kikeményített gyantarendszer felületére helyeztük. Amennyiben a térhálósodási reakció végbement, a felületnek semlegesnek, azaz pH = 7-nek kell lenni. Ettől eltérő érték azt jelenti, hogy a kémiai reakció még nem ment végbe.



1. ábra

b) *Etilalkohol hatására történő visszalágyulás* mértékét 24 órás áztatással határoztuk meg. Ki nem térhálósodott gyantarendszerek közönséges oldószerek hatására (etilalkohol) is károsodást szenvednek. Amennyiben a kikeményedett gyantarendszer nem lágyul meg ezen idő alatt, akkor a térhálósodási reakció végbement. A visszalágyulás mértéke gyorsabban határozható meg, ha oldószerként benzolt alkalmazunk. A benzol már 3 óra alatt megtámadja a ki nem térhálósodott gyantarendszert. (A benzol egészségre ártalmas)! Az 1. táblázatban háromféle térhálósítóval készült gyantarendszeren végzett méréseinket foglaltuk össze. A gyártó cég által ajánlott térhálósodási hőmérsékletek és idők függvényében. Az 1. táblázatból látható, hogy pl. a módosított poliaminnal készült gyantarendszernél a térhálósodási reakció végbemene- teléhez 60 °C-on 3 óra szükséges. A rendszer 25 °C-on 24 óra alatt is megkeményedik annyira, hogy a felületet éles szerszámmal sem lehet benyomni, de ez a keménység csak fizikai keménységet jelent, vagyis a kémiai reakció nem ment végbe, nem alakult ki teljes térhálós szerkezet. A gyantarendszer kemény, de ellenállóképessége nem kielégítő. Ezt bizonyítja a következő mérésünk is.

c) *Szigetelési ellenállás* mérésével az 1. sz. ábra szerinti gyantakockát állítottunk elő fémszerszám-

mal, amelybe 2 db egyforma vörösréz elektródát helyeztünk egymással 5 mm-es távolságra. A vizsgálatot modifikált poliamino-amid térhálósítóval készült gyantarendszeren végeztük.

Az eredményeket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A 2. táblázatból látható, hogy a szigetelési ellenállás mindaddig javul, amíg a térhálósodási reakció tökéletesen végbe nem ment. Különösen mutatkozik ez az értékváltozás, tartós-nedves-meleg igénybevétel hatására. Itt kell megjegyezni, hogy a híradásipari alkatrészek kiöntésénél, beágyazásánál nagyon kevés esetben lehetséges, hogy a gyantaréteg elérje az 5 mm-es vastagságot. Ennél szinte mindig vékonyabb a gyantaréteg, amely az alkatrészt borítja. Rétegvastagság csökkentésével mind az elektromos, mind a kémiai paraméterek igénybevétel hatására romlanak. Különösen akkor nagymértékű a romlás, ha a térhálósodási reakció még nem ment végbe.

3. Töltőanyagok

A gyantarendszerek kialakításánál említeni kell még egy alkotót, amelyet sok esetben alkalmazni kell, ez a töltőanyag.

Töltőanyagoknál megkülönböztetünk szemcsés-szerkezetű nem merevítő anyagokat, amilyen pl. a kvarcliszt, talkum, titán-dioxid, magnéziumoxid, továbbá szálal vagy lemezes szerkezetű merevítőanyagokat, mint pl. a csillám, azbeszt, üvegszál.

A szálal szerkezetű merevítő töltőanyagok a gyantarendszer ütő- és szakítószilárdságát növelik. Szemcsés szerkezetű töltőanyagok esetében ez az érték csökken. Mindkétfele szerkezetű töltőanyag bizonyos előnyökkel és hátrányokkal rendelkezik a gyantarendszer szempontjából.

Előnye, hogy a gyantarendszer hőtágulási-együtthatója csökken, nő a hővezető képessége, és csökken a gyanta-térhálósító között fellépő exotermikus reakció mértéke és így a zsugorodás is. A töltőanyag csökkenti a költségeket, átlátszatlanságot biztosít, és növeli a rendszer keménységét. Hátránya, hogy csökkenti a vegyszerállóságot, az oldószerezállóságot, csökken a megmunkálhatóság és a klímaállóság.

A fentiekből látszik, hogy töltőanyagot csak megfontoltan alkalmazzuk a gyantarendszerek előállításánál, és akkor is csak annyit, amennyi feltétlenül szükséges. Például olyan kiöntéseknél, ahol figyelembe kell venni a fémalkatrész és öntőgyanta hőtágulási együtthatója közötti különbséget, feltétlenül töltőanyagot kell a rendszerbe bevinni.

4. Összegezés

Oldószermentes epoxigyanta-rendszerek kiválasztásánál az alábbi szempontokat vegyük figyelembe:

— belső flexibilizálással módosított epoxigyantát alkalmazzunk, amelyek kis vagy közepes viszkozitással rendelkeznek,

— ahol lehet, melegen térhálósodó savanhidrid térhálósítósú gyantarendszert alkalmazzunk,

— alacsony hőmérsékleten térhálósodó gyantarendszereknél valamilyen módosított poliamino-amidot alkalmazzunk térhálósító anyagként,

2. táblázat

Módosított poliamino-amiddal térhálósított gyantarendszer

Térhálósodási		Felületi pH	Etilalkoholban 24 ^h	Keménység után mért Mohm	21 nap nedves-meleg után mért Mohm
hőmérséklet °C	idő óra				
55	1,5	9	visszalágyul	$1,1 \cdot 10^9$	$1,57 \cdot 10^7$
55	3	9	visszalágyul	$1,7 \cdot 10^9$	$3,5 \cdot 10^7$
65	6	9	visszalágyul	$1,8 \cdot 10^9$	$6,1 \cdot 10^7$
75	12	8	—	$2,0 \cdot 10^9$	$7,5 \cdot 10^8$
75	24	7	—	$9,8 \cdot 10^9$	$9,0 \cdot 10^8$

— amennyiben mód és lehetőség van rá, töltőanyagot ne alkalmazzunk, vagy 30% fölé ne emeljük a töltőanyag-mennyiséget,

— a hőmérsékletet és időt úgy válasszuk meg, hogy

(Folytatás az 543. oldalról.)

Ismeretes, hogy az IECQ minősítési, illetve tanúsítási rendszer keretében szállított elektronikai alkatrészek kitűnnek kiváló minőségükkel, mert a Rendszer az IEC *világszabványokat* alkalmazza. Az e szabványokban előírt minőségi követelmények és vizsgálati módszerek kialakításában és nemzetközi egyeztetésében ugyanis a fejlett országok alkatrészgyártói és a berendezésgyártók szakértői vesznek részt.

Az IECQ minősítési tevékenység operatív megindulásához tehát a megfelelő szabványoknak rendelkezésre kell állniuk. Az igényeket két eljárással elégítik ki. Az egyik szerint az illetékes IEC műszaki bizottságok dolgozzák ki a hiányzó szabványokat, a másik eljárásban az érdekelt ország gyártói. Mindkét eljárásban vannak olyan elemek, amelyek az eddig megszokottól eltérőek, ezért — úgy véljük, érdemes röviden megismerni velük. Az IEC bizottságokban készülő szabványok egymásra épülő *szabványrendszert* alkotnak. A termék valamennyi lényeges jellemzőjének és e jellemzők kiértékelési módszereinek vizsgálatát az ún. *részletes termékszabványok* tartalmazzák. A termékszabvány tartalmát, tehát azt, hogy mely jellemzőket kell a termékszabványnak tartalmaznia, az ún. *részletes termékszabvány-úrlapok* (blank detail specification) szabványa foglalja össze.

A termékszabványokban közös előírásokat, illetve a közös vizsgálati módszereket a *termékcsoportszabványok* tartalmazzák. Az ezekben közös előírásokat a *termékfőcsoportszabványok* gyűjtik össze. A rendszert teljessé az *alapszabványok* teszik.

A munkák előrehaladásáról az IECQ titkárság időről időre összefoglaló tájékoztatót készít, amelynek alapján úgy tűnik a legteljesebb a szabványfedezettség a kondenzátorok és az ellenállások területén. Mindkét alkatrész fontosabb típusaira gyakorlatilag minden nemzetközi szabvány rendelkezésre áll.

Visszatérve a másik eljárásra, amely szerint az érdekelt gyártók is jogosultak *nemzetközi szabványelőírást* előterjeszteni, megemlítjük, hogy ezeket a tanúsítás rendszer *ideiglenes műszaki előírásnak* tekinti. Általában 3 évig tarthatók hatályban. Ilyen szabvány csak akkor terjeszthető elő, ha az IEC-ben nincs megfelelő előírás, illetve nem várható, hogy a szokásos eljárás alkalmazásával egy éven belül kidolgozásra kerül.

Ideiglenes előírások alapján indul a tanúsítás az elektromechanikus elemek, pl. a kapcsolók, a reedrelék, a koaxiális csatlakozók, továbbá a potenciométerek területén.

Itt érdemes megemlíteni, hogy az IEC további egyszerűsítést vezet be, amellyel egyrészt a szabványok átfutási idejét, másrészt a központi iroda terhelését lehet csökkenteni. Az új eljárás lényege: a nemzeti bizottságok észrevételeit ezentúl külön-külön nem körözik, hanem a bizottsági titkárságnak egy összesítőt kell készítenie, amely az észrevételeket a szakaszok sorrendjében részletezi. Körözésre ezt az összesítőt küldik, 6 héttel a bizottsági ülés előtt.

(Ocskay-REMIX)

✱

Az 1981-ben meghirdetett elektronikai központi fejlesztési program egyebek között olyan szervezeti változásokat is

a gyantarendszerben a térhálósodás teljesen végbe-menjen,

— a gyantarendszer térhálósodását mindig ellenőrizzük, ne elégedjünk meg csak a fizikai keménységgel, mert a részlegesen térhálósodott gyantarendszer nem elégíti ki a szigorú klimatikus követelményeket.

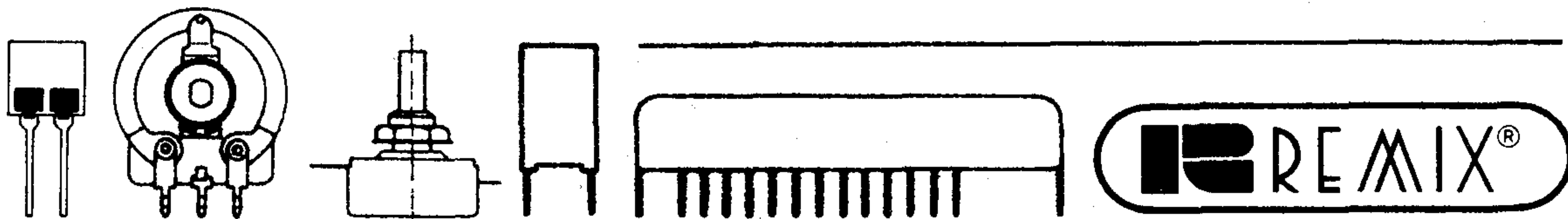
előirányzott az iparágban, hogy a fejlesztéseket zárt láncolatban végezzék. E láncolatban értelemszerűen beletartozott volna a fejlesztésekhez szükséges anyag- és berendezésimport lebonyolítását, valamint a késztermékek külföldi értékesítését szolgáló önálló külkereskedelmi szervezet is, tekintettel arra, hogy korábban az Elektromodulhoz tartozott az import és az akkori Egyesült Izzó saját tevékenységi körében önállóan exportált.

A fenti elképzelés a Mikromodul Külkereskedelmi Vállalat tavaly novemberi megalakításával csak részben sikerült. Az 1982. elején megkezdődött és 1984-ig elhúzódó egyeztetés az új vállalat két alapítója az Elektromodul és a Mikroelektronikai Vállalat kompromisszumát tükrözi. A kormányprogram ugyanis a MEV hatáskörébe utalta a fejlesztések háttérének megteremtését is. A beruházás jelentős részét adó Szovjetunió azonban nem tudott minden szükséges berendezést leszállítani, ezek helyett tanácsokat adott, hogy mely tőkés importtermékeket érdemes megvásárolni.

Mivel az Elektromodul nem foglalkozik termelőeszköz-kereskedelemmel, a technológiai berendezések importja értelemszerűen a Mikromodul egyik feladatává vált. (A korábbi beszerzésekre a MEV esetenkénti külkereskedelmi jogot kapott, a fő profilba tartozó termékekre pedig a későbbiekben ezt véglegesíteni kívánja.)

Az Elektromodul a kompromisszum értelmében végül is megtartotta a MEV által gyártott alkatrészek bizonyos részének exportjogát. A Mikromodul ezzel szemben jól képzett szakembergárdájánál fogva a gyártási eljárások (know-how) exportjában kapott komoly lehetőséget, ami egészen új színfolt a hazai elektronikában. Jelentős bevételt remélnek a tervezési módszerekkel kapcsolatos rendszerszoftverek értékesítésétől, miután tavaly 1,5 millió dolláros tőkés exportot sikerült lebonyolítaniuk. Ennek külön érdekessége, hogy a kivitel főként a fejlett számítástechnikával rendelkező nyugat-európai országokba irányult. A Mikromodul sajátos értékesítési területe a berendezésorientált áramkörök tervezése, ami főként a MEV termelési tapasztalatain alapul. Ez a szervezet végzi a szocialista országokkal kényszerűségből folytatott közvetlen elektronikai alkatrészcsere is. A Mikromodul lényegében egyfajta kereskedőház szerepét is be kívánja tölteni, azaz máshol megvásárolható tudást szerez meg, ad el, telepít és tanít be. Külföldi berendezésbázisra dolgoz ki mikroelektronikai fejlesztést, elsősorban a fejlődő országokban, és ebben a tevékenységében az UNESCO-val fennálló kapcsolatai is segítik.

A Mikromodul az idei évre 1,4 milliárd forint értékű forgalmat tervez, amelynek 85 százaléka behozatal és 15 százaléka kivitel lenne. Szoros kapcsolatban állnak a mikroelektronikában nálunk valamivel előbbre tartó Csehszlovákiában és tárgyalások folynak ottani tervezési feladatok elvállalásáról. A Központi Fizikai Kutató Intézettel megkezdtek egy atomreaktorok szimulátorába beépítendő áramkör fejlesztését és a Mikromodul foglalkozik egy számítógép-interface mikroáramkör megtervezésével is. Ennek ellenére a hazai számítástechnikai gyártók nem számítanak az új magyar mikroáramkörök nagyobb vásárlói közé. (Világgazdaság, 1985. április 13.)



MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

P7022 MINIATŰR CERMET BEÁLLÍTÓ POTENCIOMÉTER

DIL KIVITEL

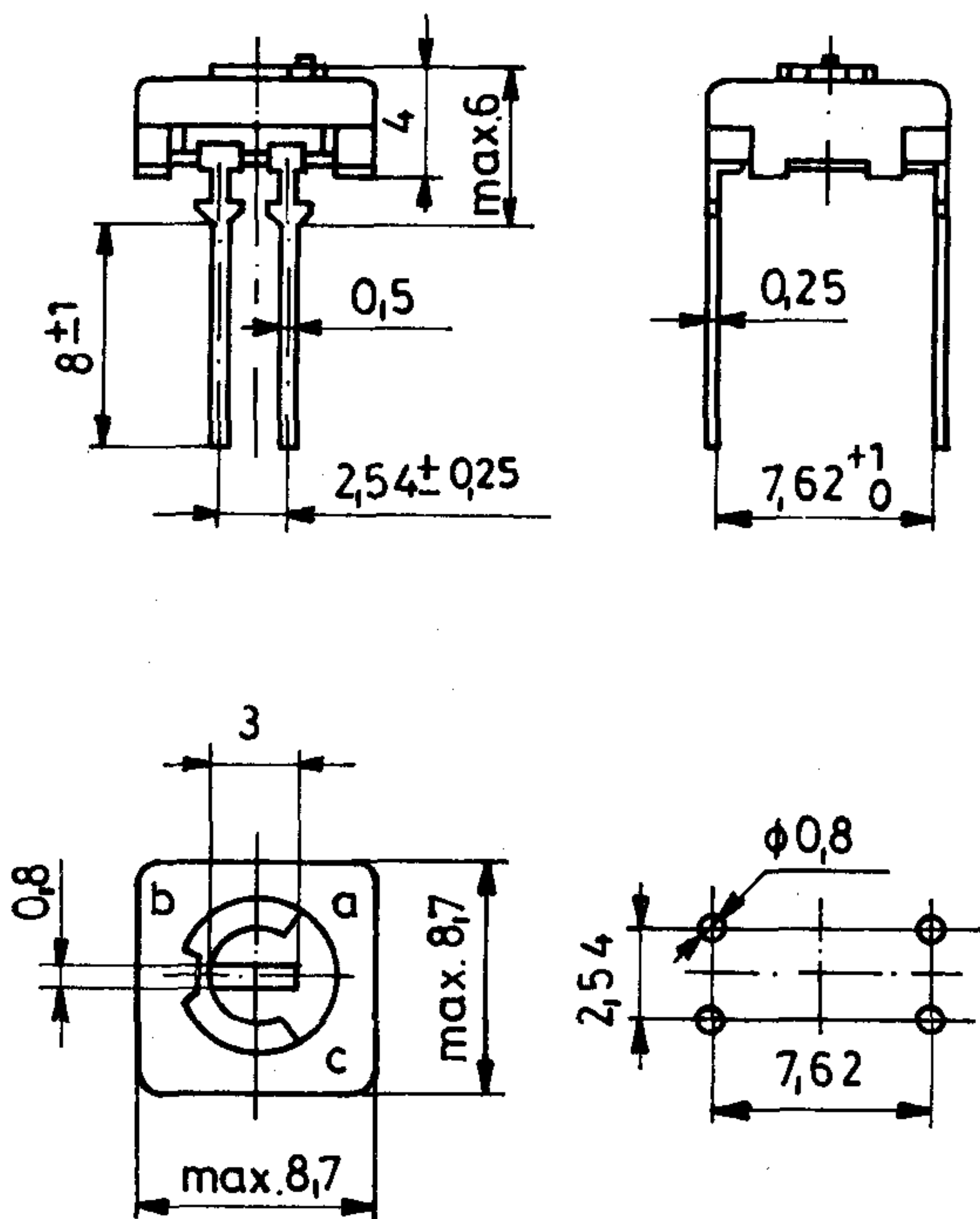
Szerkezeti felépítés

HORDOZÓ	Alumíniumoxid kerámia lapka
ELLENÁLLÁS	Cermet vastagréteg
LESZEDŐ	Sokpontú nemesfém
KIVEZETŐK	DIL elrendezésű ónozott lemez
BURKOLAT	Porvédő fémbura

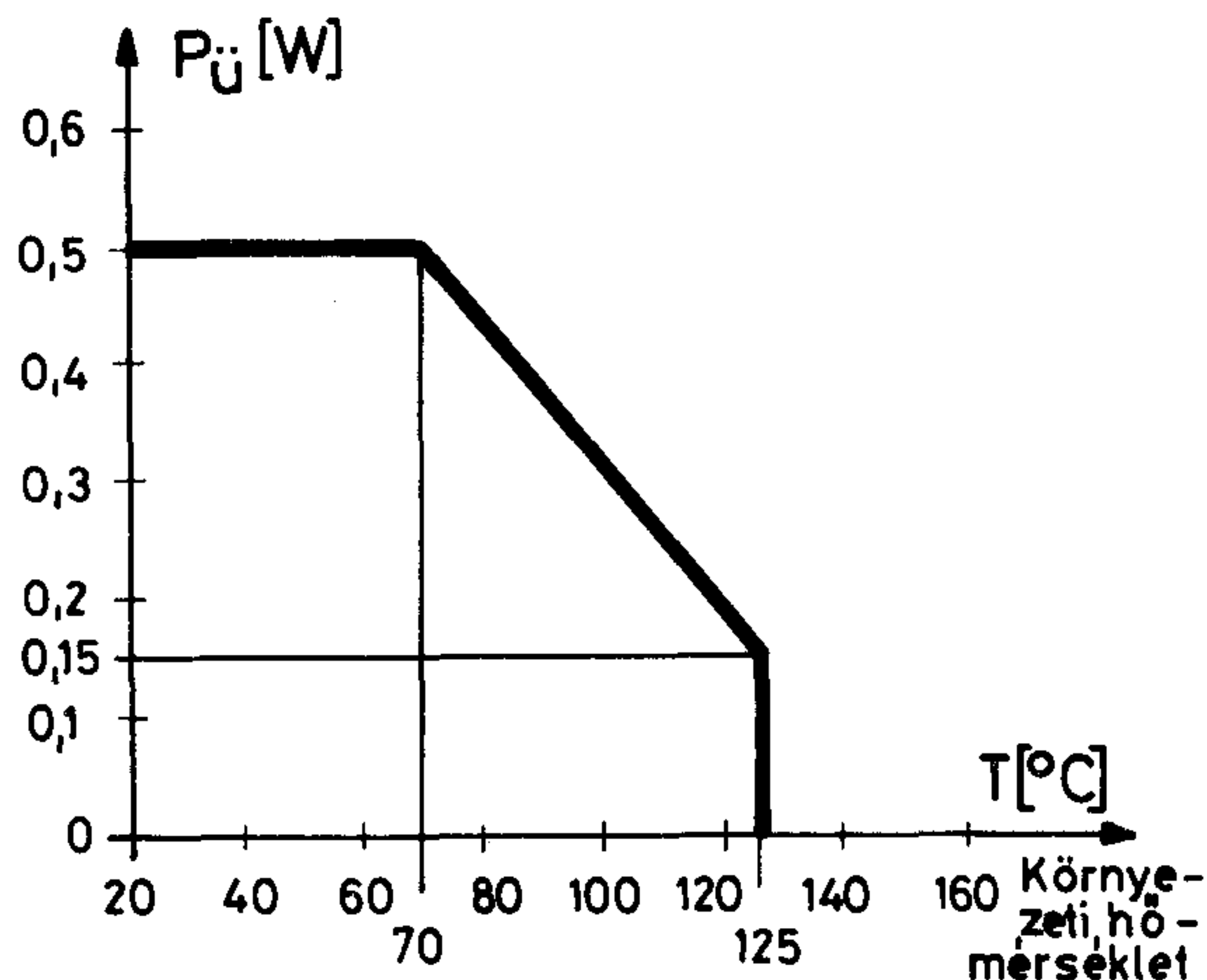
Ajánlott felhasználás

Híradás- és átviteltechnikai berendezésekben,
vékony- és vastagréteg áramkörökben.
Célszerű DUAL IN LINE IC foglalatra ültetve beépíteni.

Méretetek mm-ben



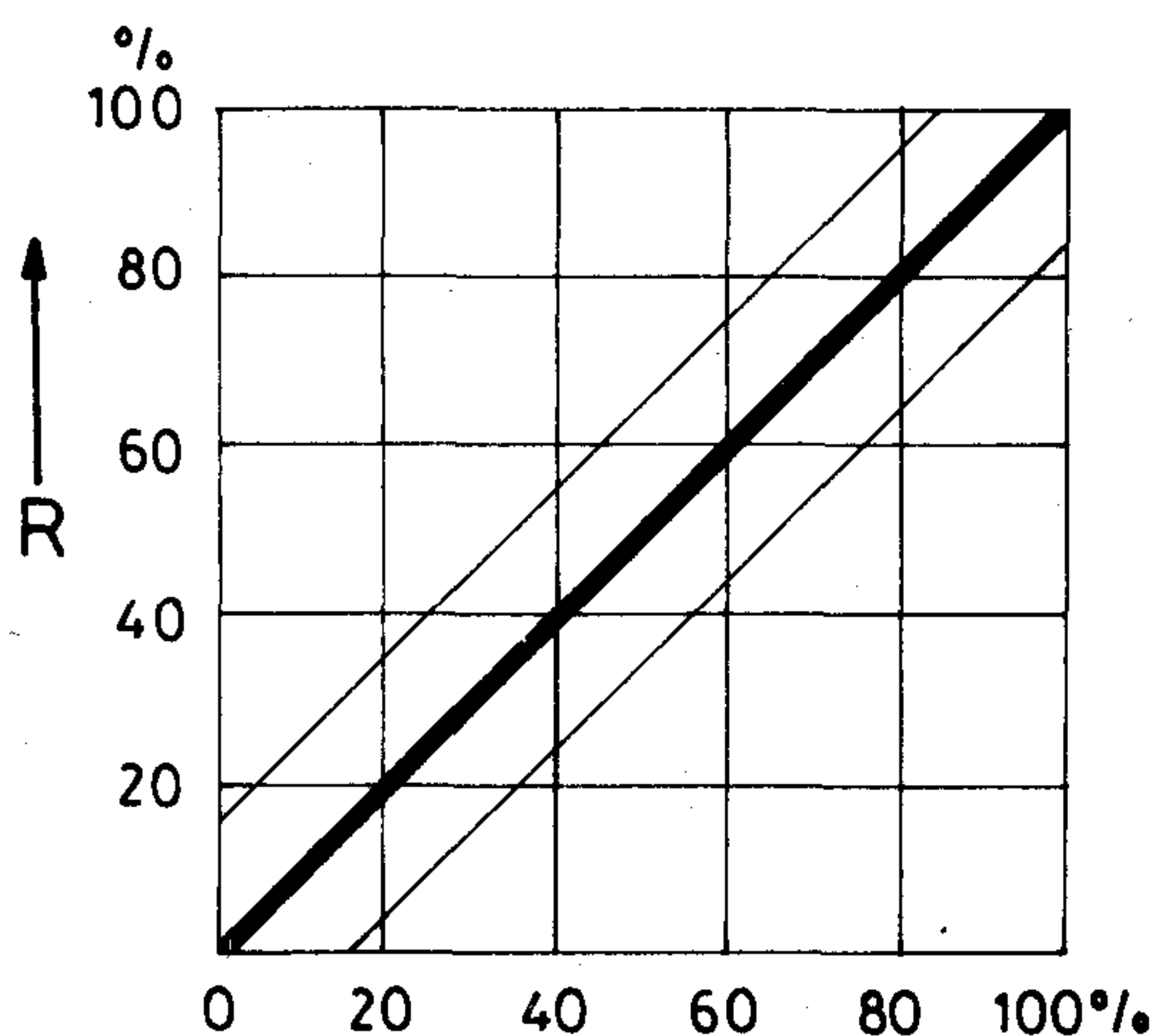
ÜZEMI TERHELHETŐSÉG a környezeti hőmérséklet függvényében



Villamos jellemzők

NÉVLEGES REZISZTENCIA	47Ω ... 1 MΩ
REZISZTENCIA SOR	E6
REZISZTENCIA TŰRÉS	± 20%
KEZDŐ ÉS MARADÉK REZISZTENCIA	2%, vagy 2Ω (amelyik nagyobb)
ÁTMENETI REZISZTENCIA	max. 3%, vagy max. 3Ω (amelyik nagyobb)
terhelő áram az átmeneti rezisztencia mérésekor	max. 1 mA
NÉVLEGES TERHELHETŐSÉG (P_n)	0,5 W, 70 °C-on
ÜZEMI TERHELHETŐSÉG ($P_{\text{ü}}$)	diagram szerint
HATÁRFESZÜLTSG	160 V ₋
MEGENGEDETT LEGNAGYOBB FESZÜLTSG ÉS ÁRAM HŐMÉRSÉKLETI TÉNYEZŐ	lásd diagram max. ± 250 · 10 ⁻⁶ /K „A” (lineáris)
SZABÁLYOZÁSI JELLEG	lásd diagram
ÁLLÓZAJFESZÜLTSG	
$R < 100 \text{ k}\Omega$	max. 5μV/V
$R \geq 100 \text{ k}\Omega$	max. 10μV/V
SZIGETELES FESZÜLTSG	160 V ₋
FESZÜLTSGPRÓBA	250 V ₋
SZIGETELÉS ELLENÁLLÁS (R_{sz})	min. 5 GΩ

Szabályozási görbe, A' és türése



MŰKÖDTETÉSI TARTOMÁNY

teljes szögelfordulás

$220^\circ \pm 5^\circ$

KÖRNYEZTÁLLÓSÁGI KULCS-SZÁM

55/125/21

MECHANIKAI TARTÓSSÁG

ciklusok száma

200

dR/R a-c kivezetők között

$\pm 5\%$

R_{sz}

5 GΩ

VILLAMOS TARTÓSSÁG

időtartam

1000 h

terhelés

P_n

hőmérséklet

$+70^\circ\text{C}$

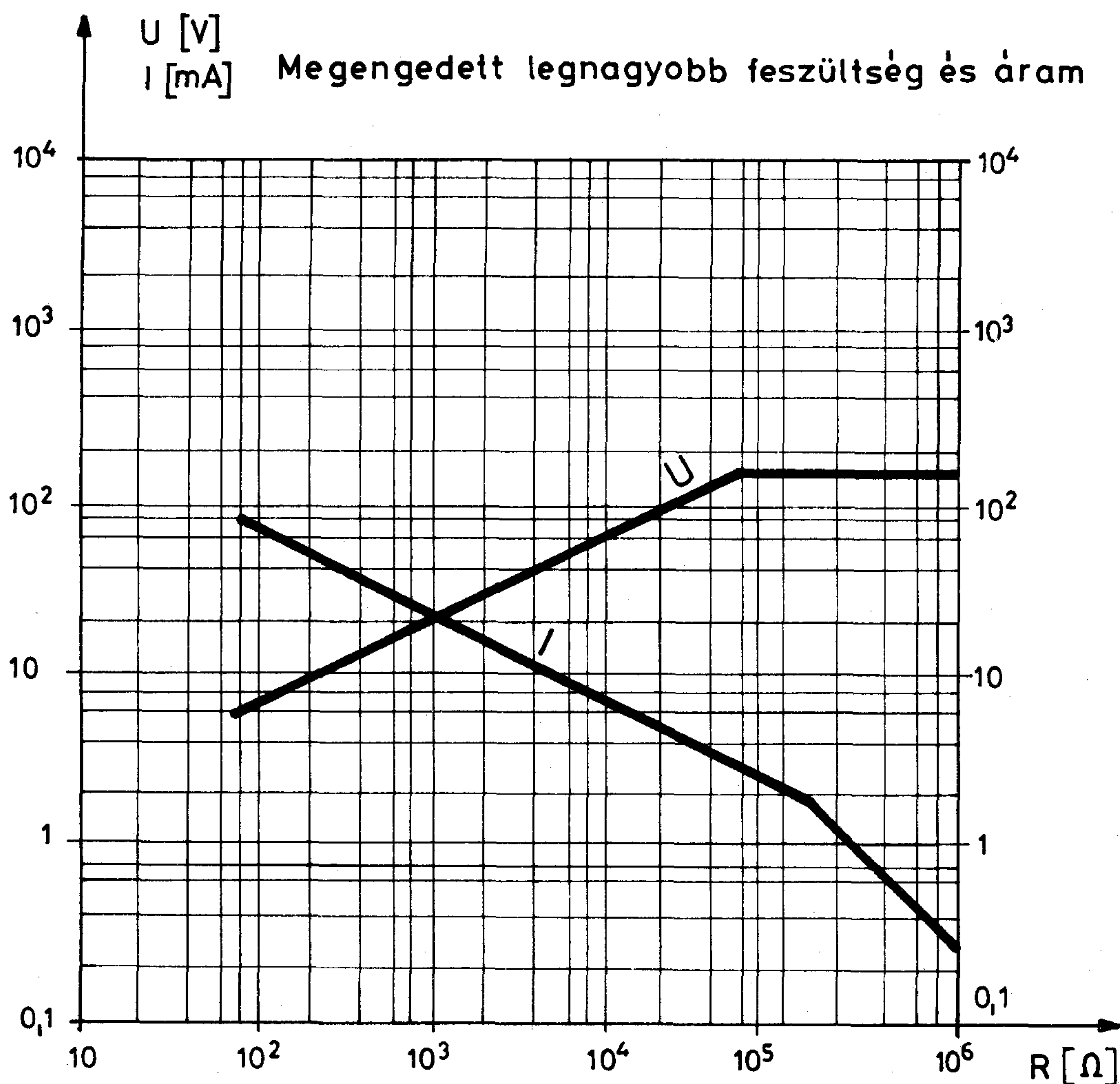
dR/R a-c kivezetők között

max. $\pm 5\%$

R_{sz}

5 GΩ

VIZSGÁLATI SZABVÁNYOK: MSZ 11021/1; MSZ 11021/5; MSZ 8888



Megkeresésükre küldünk katalógust. Kereskedelmi Főosztályunk várja érdeklődésüket és készséggel áll rendelkezésükre.

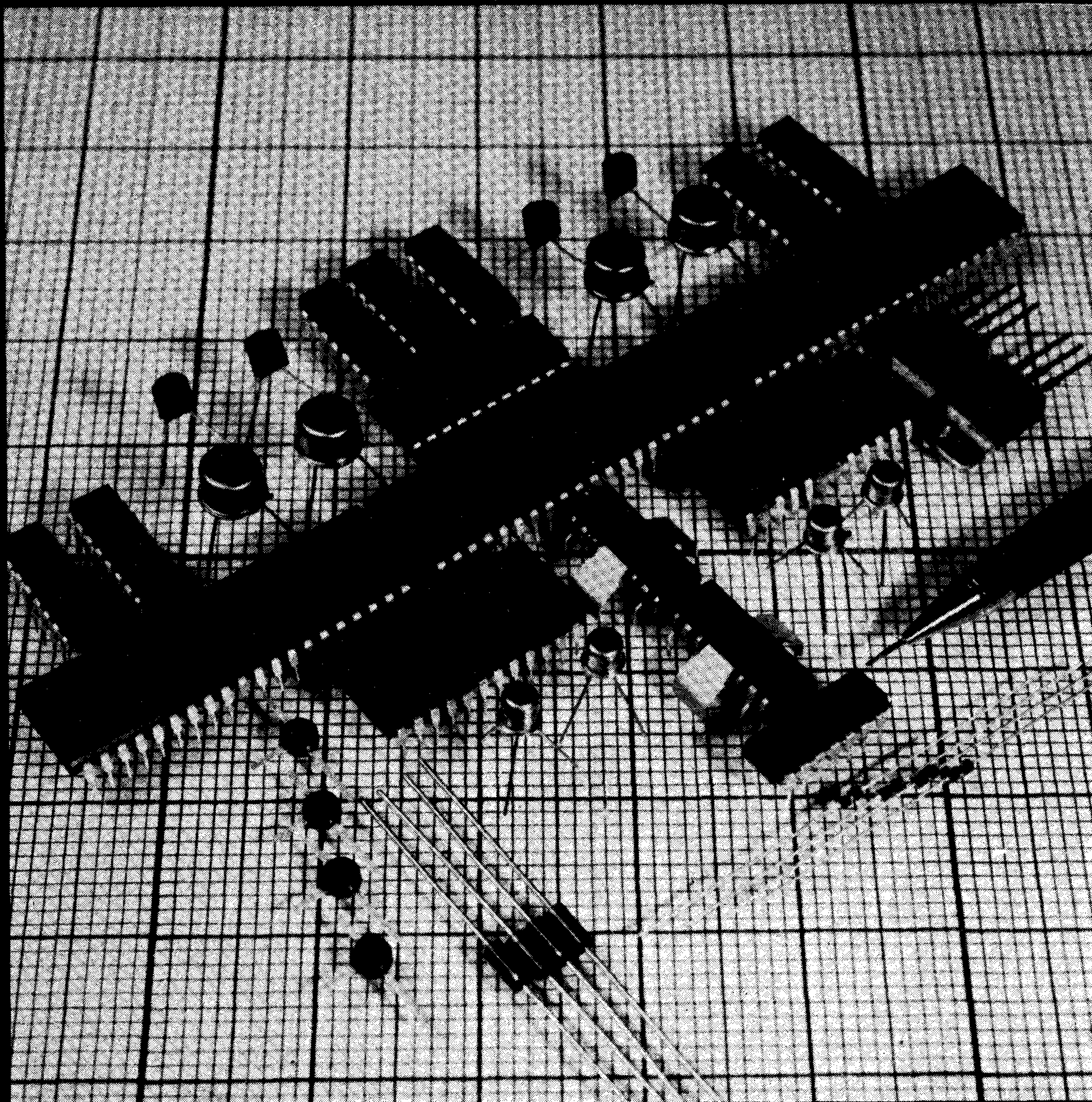
Bagossy Gábor



RÁDIÓTECHNIKAI VÁLLALAT Bp. X., Pataky tér 20.
H-1475 Bp. 10. Pf. 64. Tel.: 573-033. Telex: 22-4565

MEV

**mikroelektronikai
alkatrészek**



MEV
MIKROELEKTRONIKAI
VÁLLALAT

1325 Budapest, Pf. 21 IV., Fóti út 56.

Telefon: 691-100 Telex: 22-7306

SZÓRAKOZTATÓ ELEKTRONIKA CÉLJÁRA

SZÍNES TELEVÍZIÓ KÉSZÜLÉKHEZ

VHF/UHF Tuner	BF 960 BF 970 BF 961 BF 679 BF 479 BF 506 BF 509 BA 243 TAA 550
VIDEO KF-erősítő	TDA 440
Hangsatorna FM-KF-erősítő és demodulátor	TBA 120 AS TBA 120 U TBA 120 T
Hangfrekvenciás teljesítmény erősítő	TBA 800 TBA 810
Teljes hangsatorna	TDA 1035 TDA 1190
Színcsatorna	TDA 3560
Szinkron és soroszcillátor fokozat	TBA 950/2× TDA 1950 TDA 2593
Eltérő egység	TDA 1044 TDA 1170 S
Elektronikus programváltó	SAS 560 SAS 570 SAS 6600 SAS 6700

HORDOZHATÓ FEKETE/FEHÉR TELEVÍZIÓ KÉSZÜLÉKHEZ

VHF/UHF Tuner	BF 960 BF 970 BF 961 BF 963 BF 606 BA 243 TAA 550
---------------	---

VIDEO KF-erősítő

Teljes hangsatorna

VIDEO végerősítő

Szinkron és soroszcillátor fokozat

Függőleges eltérítés

Vízszintes eltérítés

Stabilizált tápegység

TDA 440

TDA 1035
TDA 1190

BF 458
PE 7058

TDA 1950

TDA 1170 S

BC 303
BU 407 D

BD 242 A
BC 301
BC 303
ZPD 12
4× B50K3000

AM/FM MAGNÓS AUTÓRÁDIÓ KÉSZÜLÉKHEZ

FM Tuner	BF 961 BF 241 BF 240
AM/FM vevő	U 416B
Sztereoó dekoder	μA 758
Magnó lejátszó erősítő	μA 739
Hangfrekvenciás végerősítő	TBA 810 TDA 2030
Motorszabályozó	TDA 1151

MEV ALKATRÉSZKATALÓGUS

BESZERHETŐ A

MEV-EMO-KERAVILL
MÁRKABOLTBAN

Bp. V., Múzeum krt. 11. és a Katalógusboltban:
Bp. V., Szt. István tér 4.

Szebeni Péter

Bármely alkalmazástechnikai kérdésben a MEV Félvezető Ágazat Fejlesztése készséggel áll felhasználóink rendelkezésére (Telefon: 629-800/2337 mellék).

MEV

MIKROELEKTRONIKAI VÁLLALAT

A RAVILL AJÁNLATA!

A CB LUX típusú mobil gépjármű antenna

Gépjárművek CB rádiókészülékeinek üzemeltetésére szolgál 11 m-es hullámsávban. Egyszerű csavarmentes rögzítés, így a gépkocsi különböző karosszéria elemeire (csomagtartó tető, utastér tető) felszerelhető.

Műszaki adatai:

Frekvenciatartomány: 26,8 — 27,5 MHz

Frekvenciahangolás: sugárzó hosszának beállítása

Elektromos hatásos hossz: $\Lambda/4$

Terhelhetőség: 5 W

Mechanikai hossz: 00 kg. 2000 mm

Kábel: 50 Ohm, maximális hossz: 5 m

Sugárzó anyaga: rugóacél, teflon bevonattal

Aljzat: metamid ház, sárgaréz szerelvények, korrozióvédelemmel ellátva.

Ára: 2.583,- Ft

A CB LUX stabil antenna

Stabil CB rádióállomások üzemeltetésére szolgál a 11 m-es hullámsávban. Nagyobb távolságok rádióösszeköttetését teszi lehetővé.

Műszaki adatai:

Frekvenciatartomány: 26,515 MHz — 27,855 MHz

Terhelhetőség: 1 W (illetve 5 W-ig)

Polarizáció: függőleges

Bemenő impedancia: 50 Ohm

Teljes hossz: 6809 mm

Szállókések tűrése: 120 km/h maradó alakváltozás nélkül.

Ára: 3.325,- Ft

HF-75-5-C 2/A kábel

Az NDK gyártmányú coax kábel műszaki adatai megegyeznek a hazai RK-1 típusú kábel paramétereivel.

Tömege: cca 30 kg/km

Ára: 11,- Ft/fm

A fenti cikkek megvásárolhatók az Antenna Elektron Szaküzletben!

Budapest IX., Ráday u. 34.

Telefon: 170 - 873



Др. Ференц, Ч.:

Состояние космической деятельности и ее тренд

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 12

Доклад оценивает настоящую ситуацию мировой космической деятельности и ожидаемое в ближайших годах изменение и тренд ее развития, концентрируя на использование космоса для мирных целей. Определяет деятельность в космосе в настоящее время и в ближайших годах в качестве существенного фактора мировой экономики.

Др. Дюлаи, Й.:

Исследование слоистых структур и ИС большой сложности VLSI

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 12

Появление интегральных схем большой сложности означает решение новых задач в области науки материалов, исследования материалов. Становятся важным точное описание поверхностей — граничных слоев, заключение выводов об исходном состоянии системы на основе взаимодействия материала — излучения (электрон, ион, фотон), количественное определение зависимость от глубины атомного состава и однородных слоев, созданных на поверхностях. В качестве положительного примера взаимодействия науки материалов и промышленной разработки в статье описывается сознательное воздействие на качество SOS-структур.

Агоштхази, М.—Др. Гостони, Г.—Шуллер, Й. А.—Сентирмай, Ф.-не:

Исследование трафика цифровых УАТС с записанным программным управлением типа DIPEX

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 12

DIPEX представляет собой семейство цифровых УАТС малой ёмкости с записанным программным управлением, выпускаемых предприятием БХГ. Исследование коммутационного поля, построенного на шинах с одним или двумя делениями по времени, было проведено путем расчета т. е. использованием симуляционной программы, записанной на языке SIMULA 67, пробегавшей на ЭВМ типа CDC 3300. Для определения способности обработки вызова блоком управления разработана специальная заполняемая программа, которая пробегается на самом процессоре управления в его свободном промежутке времени, создавая контрольные вызовы и наблюдение за ними.

Каша, И.:

Проблемы проектирования СВЧ осцилляторов перестройки ЖИГ

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 12

С статье рассмотрены основные аспекты проектирования СВЧ осцилляторов, перестраиваемых ферритами ЖИГ в широком диапазоне частот. За описанием резонаторов ЖИГ следует подробное пояснение расчета схемы перестройки и целесообразная реализация перестройки. В заключение приводится обзор более важных схем полупроводниковых осцилляторов и этапы проектирования таких осцилляторов.

Ладвански, Я.:

Точное измерение матрицы рассеяния цепей СВЧ при помощи анализатора цепей

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 12

Паразитные передачи и отражения анализатора цепей вызывают погрешности при измерениях, по этому описывается метод для коррекции ошибок измерений. В статье описывается обслуживающая программа ЭВМ, которая кроме корректировки ошибок пригодна и для управления с измерением. Применение программы иллюстрируется на конкретных примерах.

Чапо, З-не:

Литые смолы в промышленности техники связи

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 12

Автор описывает преимущества и недостатки состава литых смол, применимых в промышленности техники связи, и результаты исследований, связанных со сшиванием.

Dr. Ferencz, Cs.:

Die Situation und Trend der Weltraumtätigkeit

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 12.

Diese Studie gibt uns einen Überblick von der momentanen Lage der in der Welt durchgeführten Weltraumtätigkeit und deren in den kommenden Jahren zu erwartenden Veränderungen und Entwicklungstrends, konzentriert auf die Weltraumforschung mit friedlicher Zielsetzung. Der Verfasser schätzt die Weltraumtätigkeit schon in der Gegenwart und in der nahen Zukunft für einen wesentlichen Faktor der Weltökonomie.

Dr. Gyulai, J.:

Prüfung der Schichtenstrukturen und VLSI

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 12

Die Erscheinung der verwickelten Integrierten Stromkreise bedeutet die Lösung neuer Aufgaben auf dem Gebiet der Materialwissenschaft und Materialprüfung. Wichtig wurde die genaue Beschreibung der Oberflächen — Grenzschichten, die Materialstrahlung (Elektron, Ion, Photon) auf Grund der Wechselwirkung eine Rückfolge zum originalen Stand des Systems, Atombestand abhängig von der Tiefe bzw. Quantitätsbestimmung der an der Oberfläche ausgebildeten Monoschichten. Als gutes Beispiel der unerlässlichen Zusammenarbeit von Materialwissenschaft und industrieller Entwicklung stellt die bewusste Beeinflussung der Qualität von SOS-Strukturen vor.

Ágostházi, M.—Dr. Gosztöny, G.—Schuller, J.—Frau Szentirmai, F.:

Verkehrsprüfung der DIPEX digitalen Nebenstellenanlagen mit gespeicherten Programmsteuerung

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 12

DIPEX ist ein Produkt von BHG, eine digitale Nebenstellenanlage-Familie mit gespeicherter Programmsteuerung und mit Kleinkapazität. Die Prüfung des aus ein- oder zwei Zeitverteilungs-Bussen ausgebildeten Schaltfeldes wurde mit Berechnungen bzw. mit der Verwendung eines an der CDC 3300 Rechenanlage abgehenden Simulationsprogrammes, das in der Sprache SIMULA 67 geschrieben wurde, durchgeführt. Ein spezielles Rahmenprogramm wurde zur Bestimmung der Rufverarbeitungsfähigkeit der Steuereinheit ausgearbeitet, das selbst auf Steuerprozessor in seiner Freizeit läuft, bringt und beobachtet Prüfungsanrufe hervor.

Kása, I.:

Entwurfsprobleme der YIG-abstimmbaren Mikrowellenoszillatoren

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 12

Das Artikel setzt sich mit den grundlegenden Aspekten des Entwurfes von Mikrowellen-YIG-Oszillatoren, die in einem breiten Frequenzband abstimmbare sind, auseinander. Nach der Beschreibung der YIG-Resonatoren werden die Dimensionierung der Abstimmungsschaltung und die zweckmäßige Realisierung der Abstimmung diskutiert. Zum Schluß gibt das Artikel einen Überblick über die wichtigste Halbleiteroszillatorschaltungen und die Entwurfsschritte.

Ladvánszky, J.:

Exakte Messung der Reflexions-Matrix von Mikrowellen Schaltungen mit Netzanalysator

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 12

Durch die ungewünschten Übertragungen und Reflexionen innerhalb von dem Netzanalysator werden Messfehler verursacht, und deswegen wird in der Arbeit ein Verfahren zur Messfehler-Korrektur bekanntgemacht. Es wird ein Rechner-Programm beschrieben, das neben der Fehler-Korrektur ebenso zur Regelung der Messung geeignet ist. Die Art und Weise, wie man das Program benutzt wird mit Hilfe von Rechenbeispielen erlernt.

Frau Csapó, Z.:

Giessharze in Nachrichtentechnik

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 12

Die Verfasserin macht die Vorteile und Nachteile der Zusammenstellung der in Nachrichtentechnik verwendbaren Giessharze, ferner die Prüfungsergebnisse der Vernetzung bekannt.

Dr. Ferencz, Cs.:

Situation and Trend of Space-Activity

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 12.

The momentary situation and the changes expectable in the next years of the space-activity going in the world, as well as its trend of development are summed up by this paper, focusing the attention on the peaceful uses of the space research. Space activity is considered as one of the essential element of the world economy, just at present and in the near future, too.

Dr. Gyulai, J.:

Test of Interface Structures and the VLSI

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 12

The production of VLSI circuits brought new tasks for material science and material characterization. It became important to describe exactly the surfaces — interfaces and its conversion, to deduce from materialbeam (photon-, electron-, ion-) interactions the original structure and composition of monolayers and the distribution of atoms in two dimensions. The indispensable cooperation of material science and industrial development and their results has been shown by the conscious improvement of SOS-structures.

Ágostházi, M.—Dr. Gosztony, G.—Schuller, J. A.—Mrs. Szentirmai, F.:

Traffic Test of SPC Digital PABXs Type DIPEX

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 12

DIPEX is the small capacity SPC digital PABX family of BHG Telecommunication Works. Test of the switching field composed of one or two time sharing buses has been carried out by calculations or by the employment of a simulation program written in language SIMULA 67 and run on Computer CDC 3300, resp. For the determination of the call processing capability of the control unit, a special frame program that runs on the control processor in its free time, produces test calls and monitors them has been written.

Kása, I.:

Design problems of YIG-tuned microwave oscillators

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 12

The paper presents the basic design considerations for wide-band YIG-tuned microwave oscillators. After the short description of YIG-resonators a detailed analysis of tuning circuits and design formulas are given. Finally the paper provides a survey of the usual solid-state oscillator schemes as well as the steps of the YIG-tuned oscillator design.

Ladvánszky, J.:

Accurate measurement of the scattering matrix in microwave circuits by means of a network-analyzer

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 12

In network-analyzer systems the measured scattering matrix differs from the actual one due to the parasitic transmissions and reflections in the measurement setup. In this paper a method for correcting the measurement errors and a computer program controlling the measurement procedure is given. Some illustrative examples are also presented.

Mrs. Csapó, Z.:

Casting Resins in the Telecommunication Industry

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 12

Advantages and drawbacks of the Composition of the casting resins applicable in the telecommunication as well as the test results connected with the mesh structure in space are represented by the author.

HÍRADÁSTECHNIKA

A szerkesztésért felelős: Dr. Tófalvi Gyula. Szerkesztőség címe: Budapest V., Kossuth Lajos tér 6—8. 1055. Telefon: 531-027. Kiadja: a DELTA Szaklapkiadó és Műszaki Szolgáltató leányvállalat, Budapest, Garay u. 5. 1442. Telefon: 215-440. Felelős kiadó: Faklen Pál igazgató. Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető bármely postahivatalnál, a kézbesítők-nél, a Posta hírlapüzleteiben és a Hírlapelőfizetési és Lapellátási Irodánál (HELIR, Budapest, József nádor tér 1. 1900) közvetlenül vagy postautalványon, valamint átutalással a HELIR 215—296 162 pénzforgalmi jelzőszámra. Előfizetési díj: fél évre 180,— Ft, egész évre 360,— Ft. Egyes szám ára 30,— Ft. Megjelenik havonta. A folyóirat külföldre előfizethető: a "KULTÚRA" Külkereskedelmi Vállalat, H—1839 Budapest, Postafiók 149.

HU ISSN 0018—2028

Index: 25 375

85-3934 — Szegedi Nyomda. Felelős vezető: Dobó József igazgató