



**A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
FOLYÓIRATA**

**XXXVI. évfolyam
B U D A P E S T**

1985

3

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET FOLYÓIRATA

XXXVI. évfolyam 1985. 3. szám

BHG ORION TERTA

MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

XXXI. évfolyam 1985. 3. szám

MEV REMIX TKI

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

III. évfolyam 1985. 3. szám

Felelős szerkesztő:

DR. TÓFALVI GYULA

Szerkeszti a szerkesztő bizottság

A szerkesztő bizottság elnöke:

HORVÁTH IMRE

Szerkesztők:

ANGYAL LÁSZLÓ

MÉREY IMRÉNÉ

SZÖLLŐSI GYÖRGYNÉ

*

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG

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, Szaics Ákos

MEV

Rovatvezető: Kászonyi László

Tudományos szerkesztő: Dr. Kormány Teréz

Balogh Albert, Csornai László, Czermann

Mihály, Hidas György, Huszka Zoltán,

dr. Ligeti Róbertné, dr. Mátay 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

Balanyi Szilveszter, 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, Halmi Gábor,

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 (Λ)
REMIX (Δ)

ROVATTÁRSÁK

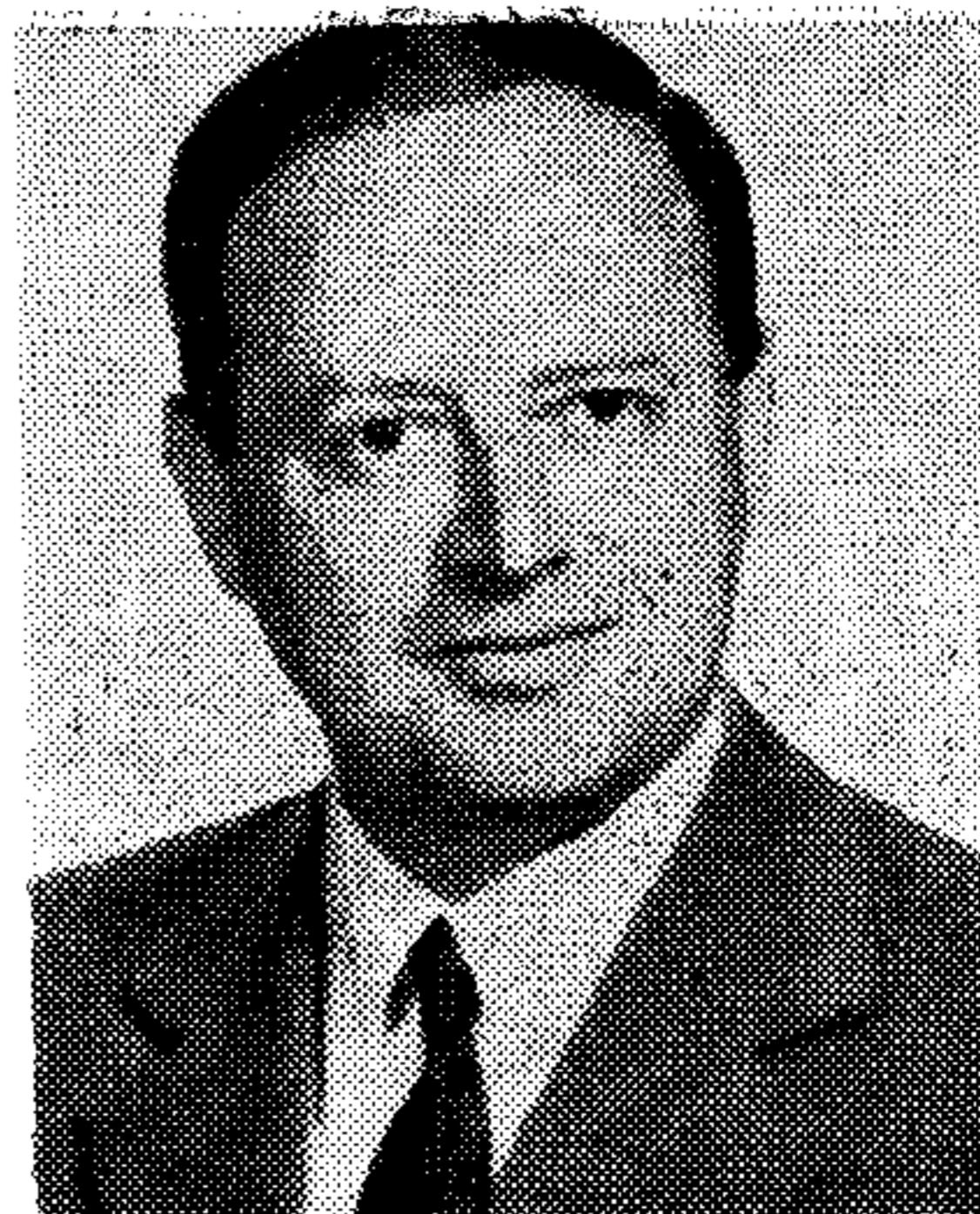
BEAG HTV
BME KONKAKTA
BRG KÓPORC
EMO KFKI
El. szöv. M. Posta
FMV ML
GAMMA MM
HTSZ MFKI
HAGY TUNGSRAM

TARTALOM

DR. BERCELI TIBOR—DR. BABITS LÁSZLÓ—GELEJI VIL- MOS—GRÁNÁSY JÓZSEF—JUHÁSZ KÁLMÁN—KOLUM- BÁN GÉZÁNÉ: Mikrohullámú vevő műholdas televíziós műsor- szórás vételére	97
Mikrohullámú szeminárium	103
BOZSIK KÁROLY—SVÁB PÉTER: Félvezető szeletek mérési ada- tainak számítógépes feldolgozása	104
DR. KENDERESSY MIKLÓS: Josephson-effektus alkalmazása a mikrohullámú tartományban	110
Szemle	117
CSOPAKI GYULA: Hardware leíró nyelv digitális berendezések többszintű leírására	118
VÉRTESEY MIKLÓS—KOLTAI MÁRTA—ZSOLDOS BÉLA: Mik- rohullámú vékonyréteg integrált áramkörök fémezésének befo- lyása a szalagtápvonalak veszteségére	124
DR. STEINER IVÁN: Nyomatott huzalozású lemezek csatlako- zóinak aranyozása	128
A francia TRT szemináriuma	135
Beszámoló a Nemzetközi Távközlési Konferenciáról	136
Beszámoló egy ifjúsági tudományos konferenciáról	137
KONKAKTA: DS 868 közvetett csatlakoztatású nyomatott áram- köri csatlakozó sorozat	138
Tartalmi összefoglalások	143

Mikrohullámú vevő műholdas televízió műsorszórás vételére

DR. BERCELI TIBOR—DR. BABITS LÁSZLÓ—GELEJI VILMOS—
GRÁNÁSY JÓZSEF—JUHÁSZ KÁLMÁN—KOLUMBÁN GÉZÁNÉ
Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A műholdas televízió műsorszórás vételére kifejlesztett mikrohullámú vevő egyszerű felépítésű és új áramköri megoldásokat alkalmaz. A mikrohullámú vevő egyaránt használható egyéni vagy közösségi vételre megfelelő méretű antennával.

1. Bevezetés

Műholdakat már kb. két évtizede használnak távközlési, műsorátviteli célokra. Ezek a távközlési műholdak viszonylag kis teljesítményű adóval rendelkeznek, ezért a vételük csak bonyolult és drága berendezésekkel (nagy átmérőjű antennával, előerősítővel) lehetséges. Ilyen felszerelés van például Taliándörögdőn a földi állomáson. Ezzel szemben a rövidesen üzembe lépő műsorszóró műholdak adóteljesítménye elegendően nagy lesz ahhoz, hogy vételükre viszonylag egyszerű és nem túl drága berendezést lehessen használni.

A műsorszóró műholdak megjelenése a televíziózás történetében korszakalkotó változást fog magával hozni. Ezt a változást leginkább ahhoz hasonlíthatjuk, amit a rádiózás történetében az ultrarövidhullámú sugárzás hozott. Amilyen minőségjavulással járt az ultrarövidhullámú rádió műsorszórás a középhullámúhoz viszonyítva, azzal összemérhető javulást fog hozni a műholdas televízió műsorszórás a jelenlegi földfelszínihez képest.

Európában az első műsorszóró műholdak 1986-ban fognak megjelenni, mégpedig az NSZK és Franciaország műsorellátására [1]. A nemzetközi megállapodások szerint minden ország csupán saját területét sugározhatja be műholdról a közvetlen vételhez szükséges szinten. Ennek megvalósítása azonban csak közelítőleg lehetséges, így az adott ország területén kívül is vehető lesz a műsor kisebb szinten.

Nemzetközi meghatározás szerint kétféle vételi küszöbértékkel kell számolni: egyéni vételről beszélünk, ha a sugárzás teljesítménysűrűsége -103 dBW/m² felett van, amikor is a vételhez legalább 6 dB /K antennanyereség/ zajhőmérséklet-értékkel rendelkező vevő szükséges; viszont közösségi vételről beszélünk, ha a sugárzás teljesítménysűrűsége -103 dBW/m² és -111 dBW/m² között van, amikor is a vételhez 6dB/K — 14 dB /K antennanyereség/ zajhőmérséklet-értékkel rendelkező vevő szükséges. Ezek a meghatározások műszaki osztályozást jelentenek és nincs közük ahhoz, hogy a vevő hány személyt vagy előfizetőt lát el.

A műholdról kisugárzott hullám körpolarizált.

DR. BERCELI TIBOR

A Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett villamosmérnöki oklevelet. Ezután a Távközlési Kutató Intézetben előbb aspiránsként, majd tudományos kutatóként dolgozott. Jelenleg ugyanott főosztályvezető. A Budapesti Műszaki Egyetemen félállású adjunktus volt, jelen-

leg címzetes egyetemi tanár. Kutatásait elsősorban a mikrohullámú technika területén végzi. E területen előbb kandidátusi, majd akadémiai doktori tudományos fokozatot szerzett. Munkájának eredményeiről 48 idegen nyelvű és 39 magyar nyelvű cikket írt. Tevékenységét Állami Díjjal ismerték el.

Ennek felfogására paraboloid antennát használnak, melybe polarizáció átalakítót építenek be. Az antennára szerelik a mikrohullámú részt, ez a vett jelet kisebb frekvenciára keveri le. A jelnek a további feldolgozása a televízió vevőkészülék számára már az épületben levő csatornaegységgel történik.

A műholdas műsorszórás vételére világszerte széles körű fejlesztő munka folyik [2–4] azzal a céllal, hogy lehetőleg egyszerű és olcsón gyártható vevőt dolgozzanak ki. A Távközlési Kutató Intézetben az elmúlt években végzett fejlesztés eredményeként egyszerű felépítésű mikrohullámú vevő készült el [5, 6], mely mind egyéni, mind közösségi vételre alkalmas megfelelő méretű antennával. A vevő kidolgozása a várható hazai igények és az exportlehetőségek figyelembevételével történt. A mikrohullámú szűrőt és keverőt új, fin-vonalas megoldásban alakítottuk ki, ami olcsóbb előállítást tesz lehetővé. A cikkben a mikrohullámú részek terén elért eredményeket ismertetjük.

2. Antenna

Az antenna Cassegrain-típusú. Két fő része van: a primer és szekunder sugárzó. A szekunder sugárzó 1,5 m átmérőjű paraboloid tükör, melynek fókusztávolsága 37,5 cm. A paraboloid tükör nagy pontosságú mintára szórással felvitt fémfelülettel rendelkezik, melyet műanyag héj tart. A műanyag (epoxi-üvegszövet) héj kellő szilárdságot biztosít, ugyanakkor alkalmazása következtében az antenna tömege kicsi: mindössze 45 kg. A tükröt 120 km/óra sebesség mellett vizsgáltuk, ekkor tengelyének elfordulása 1° alatt volt. Ennek biztosításához természetesen megfelelő tartószerkezetre is szükség van. A tükör reflexiós határfoka 60% felett van. A tükör felülete a tökéletes paraboloid felülettől legfeljebb ± 1 mm-rel térhet csak el. A tükör fémanyaga ön-

Beérkezett: 1984. VIII. 28. (□)

ólom ötvözet, mely igen jól ellenáll az időjárás viszontagságainak. Több éves üzemeltetés után sem volt tapasztalható érdemleges romlás.

A primer sugárzóból háromféle megoldást dolgoztunk ki. Készült kúpos logaritmikus spirál alakú primersugárzó. Ez igen széles sávú, de az illesztése rossz. Frekvenciaátfogása két oktáv, viszont a feszültség-állóhullámarány 2-es értéket is elér egyes frekvenciákon.

Kedvezőbb eredményt kapunk kúpos vagy gúla alakú tölcésűsugárzóval, mely hiperboloid visszaverő felület révén világítja meg a paraboloid tükört. A primer sugárzó ekkor a tölcésű és a hiperboloid reflektor együttese, mely a szekunder sugárzó tengelyében van, amint ez az 1. ábrán látható. A primer sugárzót fémcső tartja, a hiperboloid reflektor kúpos műanyag csővel van a fémcsőhöz erősítve. Így a primer sugárzó teljesen zárt, az időjárástól védett. A paraboloid tükör síkklap vagy paraboloid alakú műanyag lezáróval, radommal szintén védhető az időjárás viszontagságaitól.

A műholdvételekre kidolgozott antenna sugárzási diagramját 12 GHz-en a 2. ábra adja meg a teljes szögterületben. A főnyaláb környezetét kinagyítva a 3. ábra mutatja. A főnyaláb szélessége a 3 dB-es pontok között $1,2^\circ$. Az első oldalnyalábok maximuma 15 dB-lel van a főnyaláb maximuma alatt, a kettő közötti szögműködés pedig $2,4^\circ$.

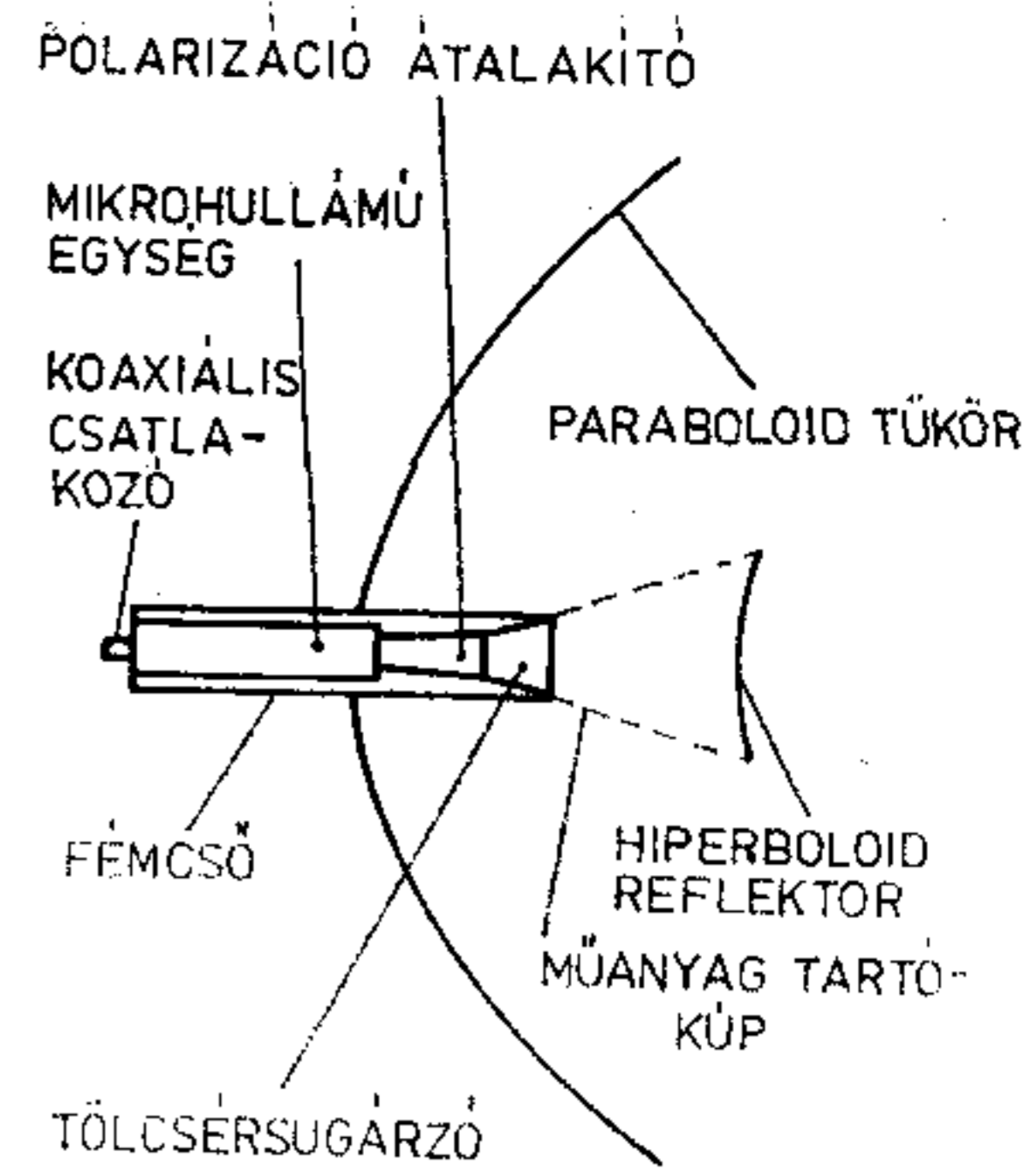
A 12 GHz-es műholdas műsorszórás vételénél nagy előny, hogy az antenna erősen irányított és ezért a reflexiók zavaró hatása lényegesen kisebb, mint a földfelszíni műsorszórás esetén. A 2. ábrán látható, hogy ha a reflektált hullám iránya az antenna főnyalábjának irányától legalább 10° -kal eltér, akkor az antenna 30 dB-nél nagyobb csillapítást ad. Az antenna telepítésénél tehát arra kell törekedni, hogy a főnyaláb körüli kb. 10° -os kúpon belül reflektáló felület ne legyen. A vételi irány emelkedési szöge nálunk $25-30^\circ$ táján van, így a 10° -os kúpon belüli tér akadálymentessége a legtöbb esetben biztosítható, mégpedig azzal, hogy az antennát lehetőleg magas helyre, például az épület tetejére tesszük. Az antenna hátrasugárzási csillapítása 50 dB, ami elegendő védelmet ad az ilyen irányból reflektált hullámokkal szemben.

Az antennanyereség frekvenciafüggését a 4. ábra mutatja. A 11,7–12,5 GHz sávban anyereség változása 1,2 dB. A mért értékek radom nélküli esetre vonatkoznak. A radom vesztesége kb. 1 dB.

A tölcésűsugárzóhoz polarizáció átalakító csatlakozik, mely az antennáról érkező körpolarizált hullámot lineáris polarizációjú hullámmá alakítja át. A polarizáció-átalakító a fémcsőben van, mint ez az 1. ábra metszeti rajzán látható. A polarizáció-átalakító téglalap keresztmetszetű tápvonalcsatlakozóval rendelkezik. Az antenna állóhullámaránya ebben a pontban mérve az 5. ábrán látható. Az állóhullámarány a sávban 1,2 alatt van.

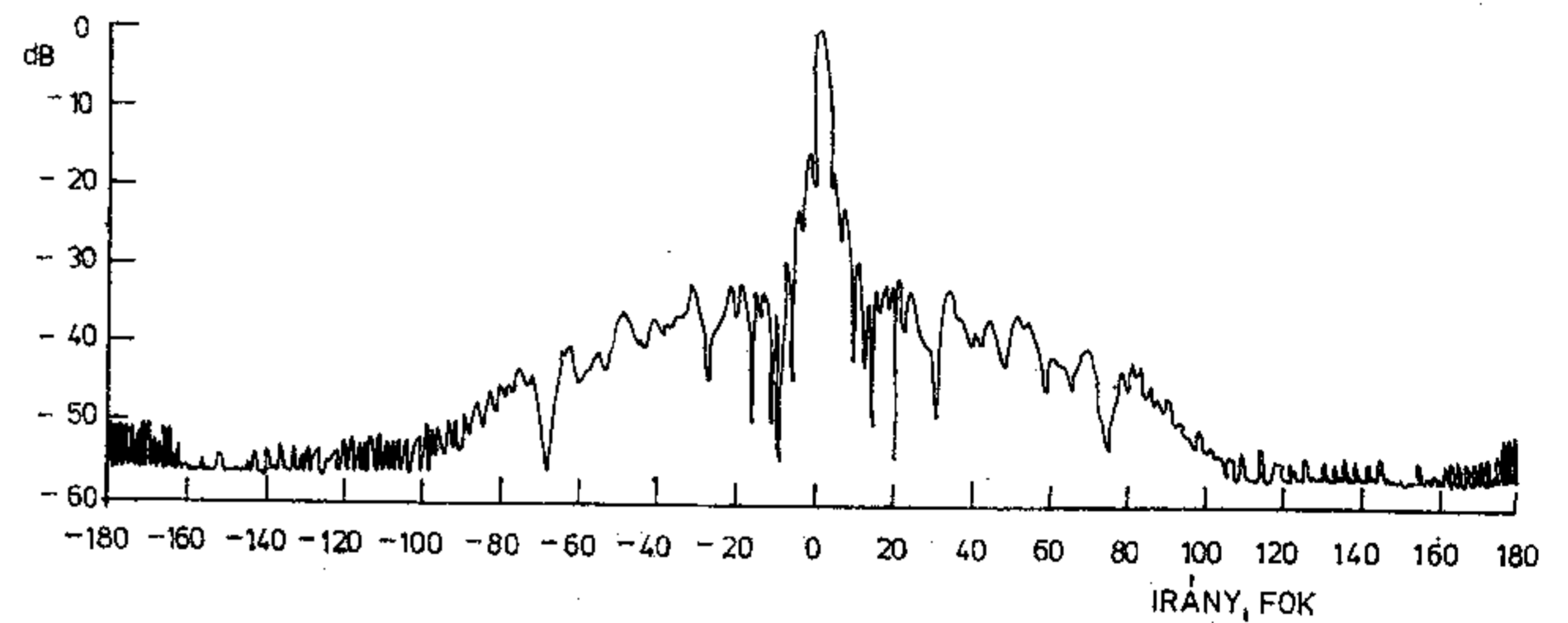
3. A mikrohullámú egység felépítése

A mikrohullámú egység tervezésénél arra törekedtünk, hogy lehetőleg egyszerű felépítést alakítsunk ki és emellett kis zajtényezőt érjünk el. Az egyszerű



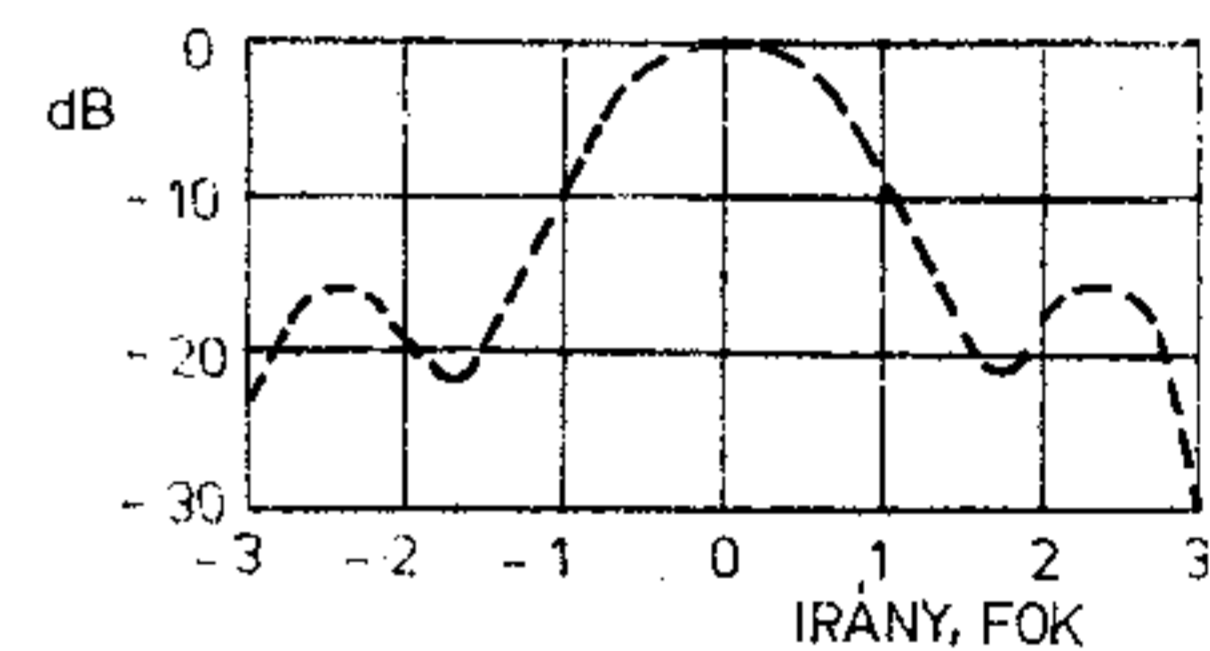
H14-1

1. ábra. Az antenna vázlatos rajza



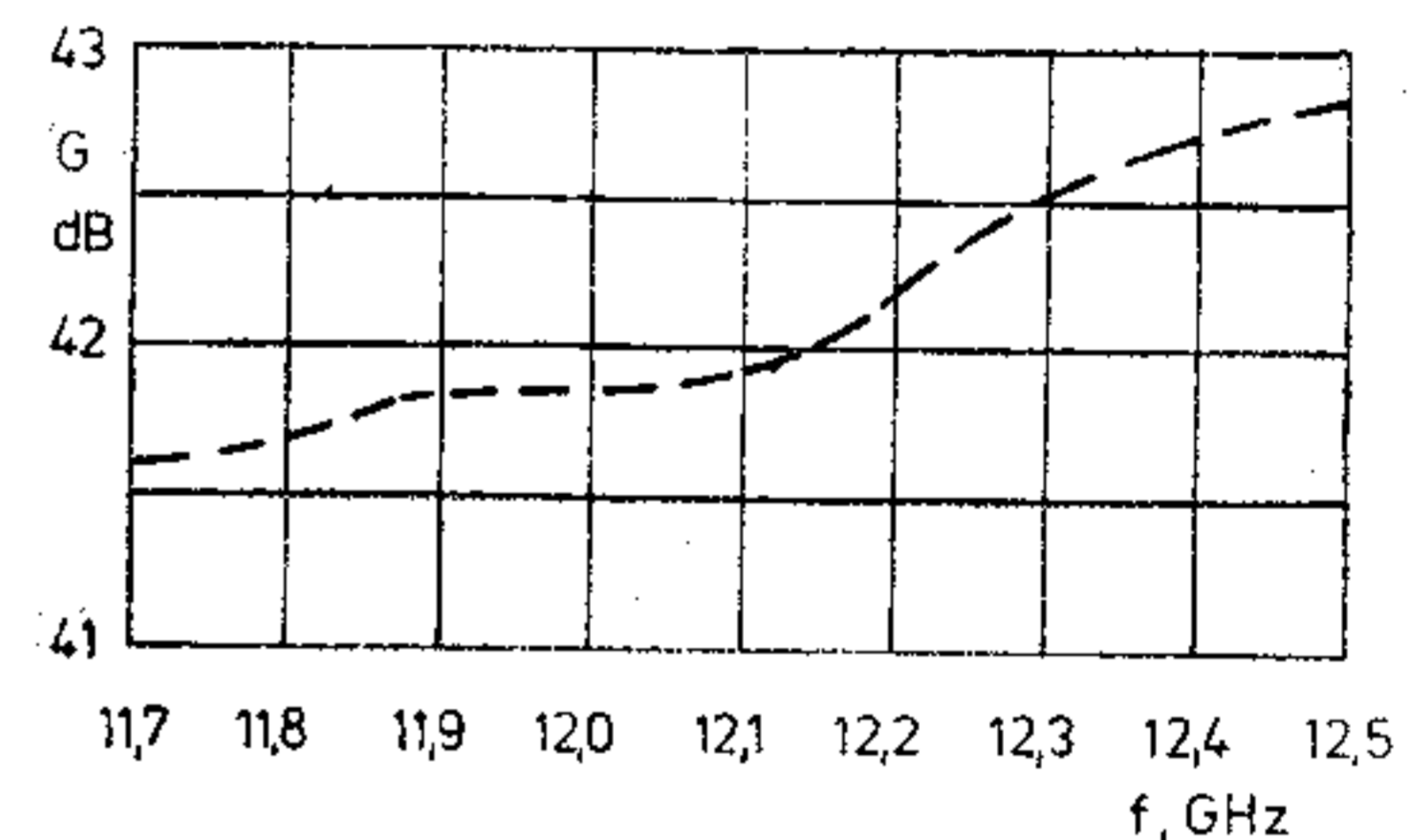
H14-2

2. ábra. Az antenna sugárzási diagramja



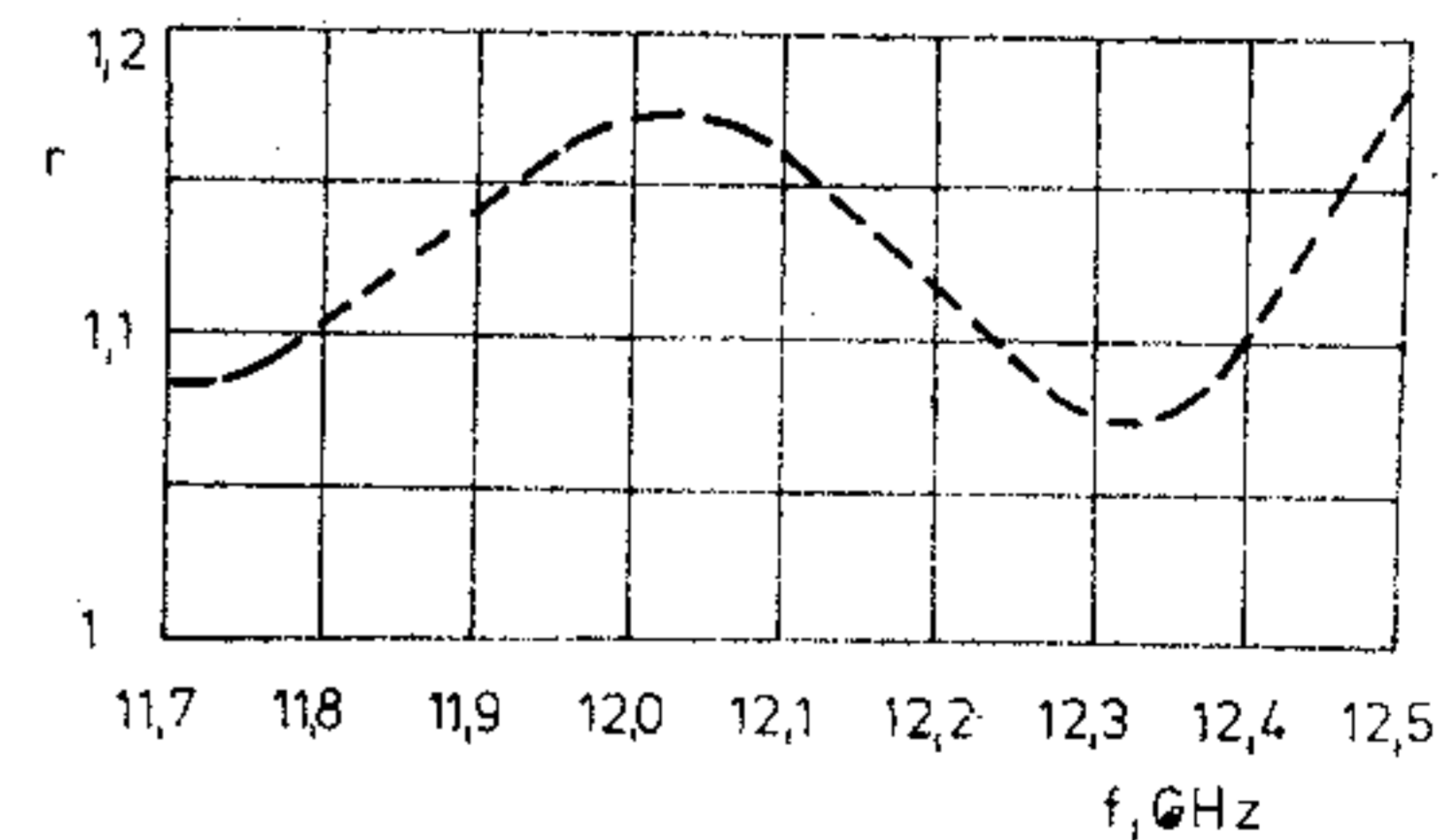
H14-3

3. ábra. Sugárzási diagram a főnyaláb környezetében



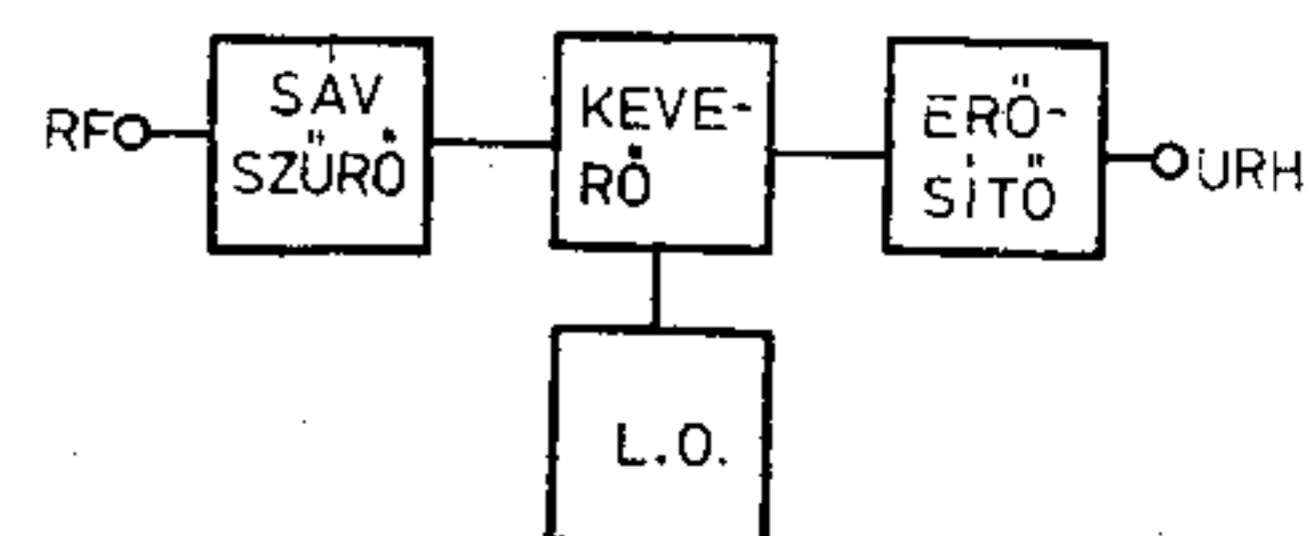
H14-4

4. ábra. Antennanyereség a frekvencia függvényében



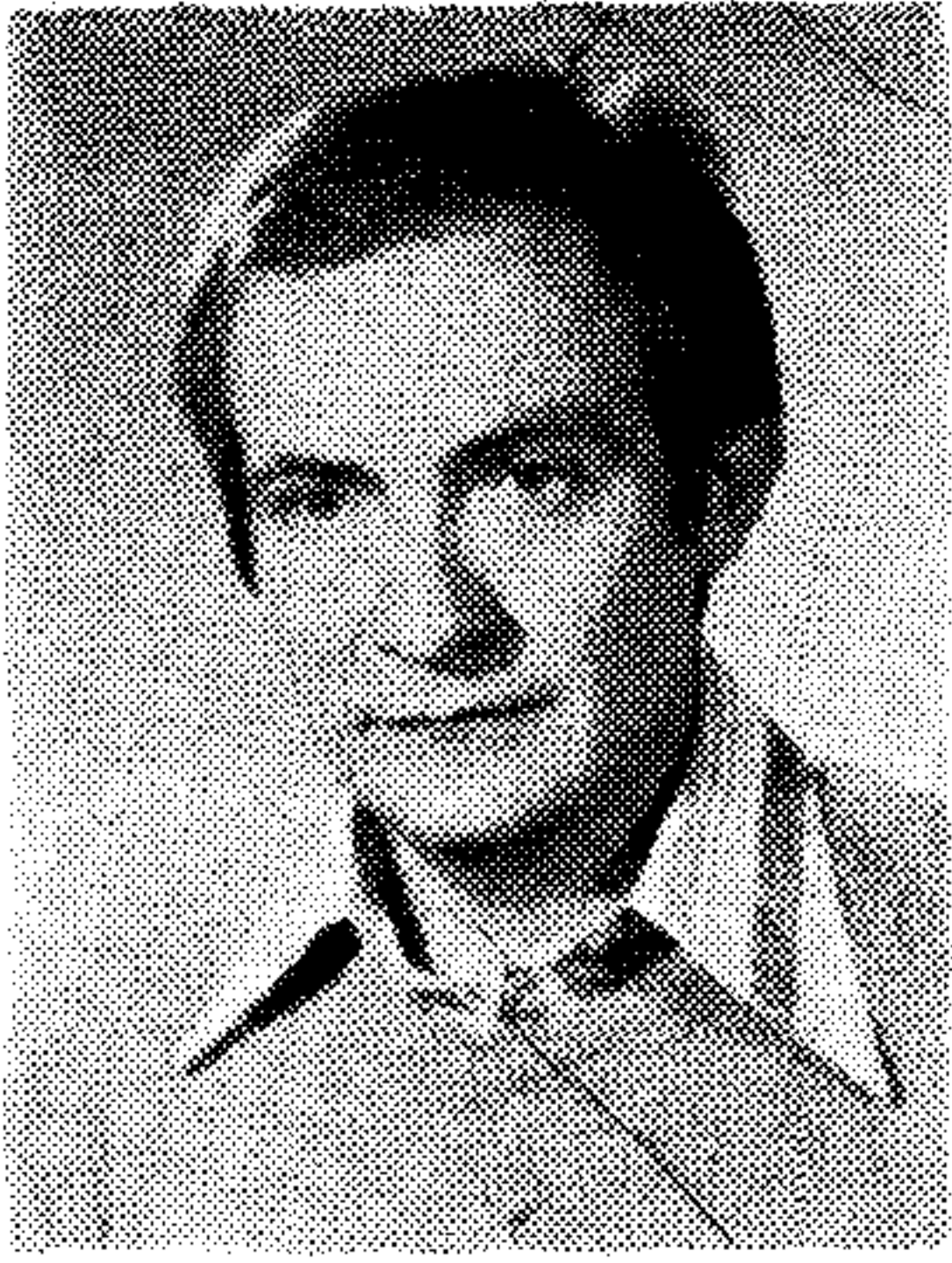
H14-5

5. ábra. Az antenna állóhullámaránya a frekvencia függvényében



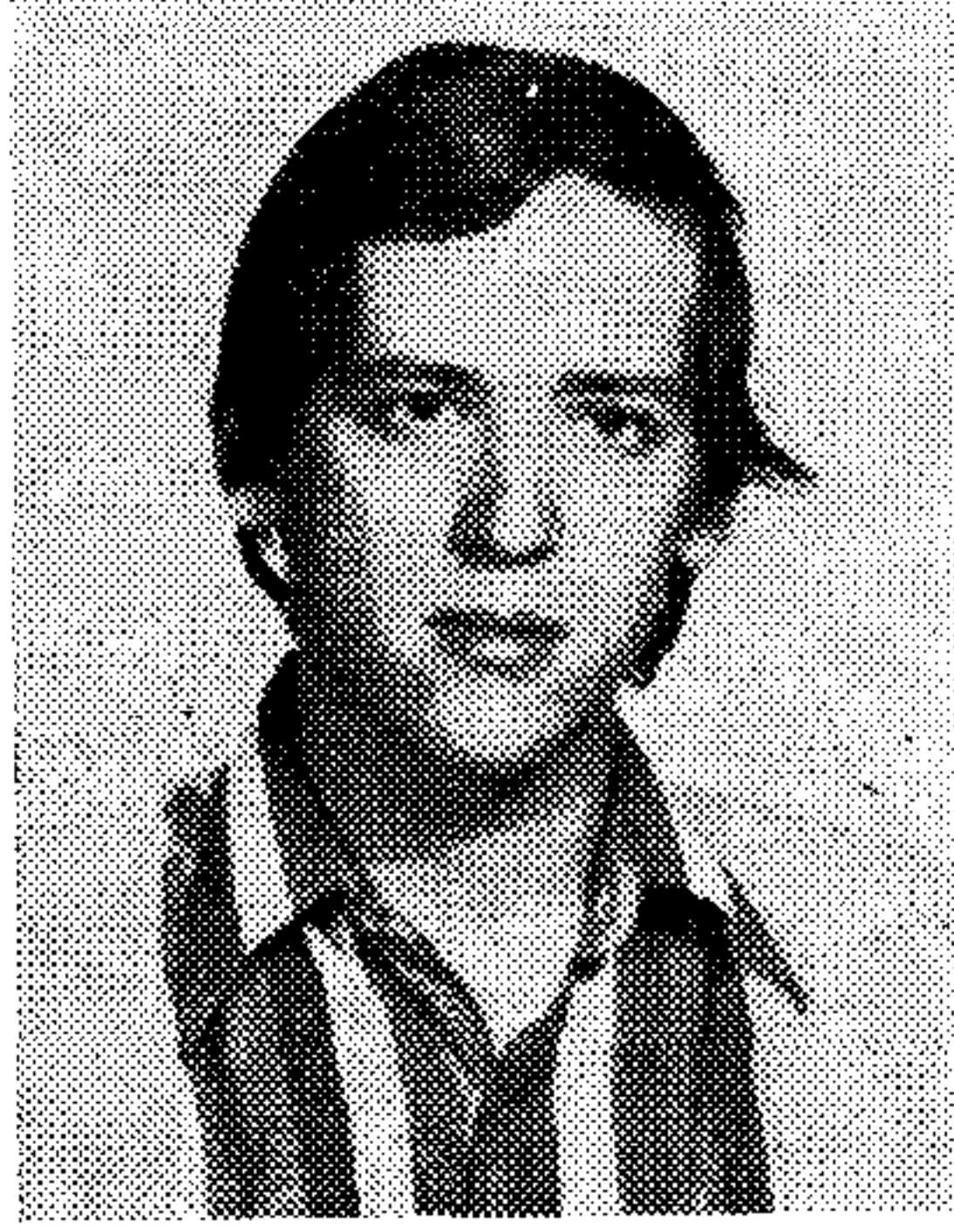
H14-6

6. ábra. A mikrohullámú egység tömbvázlata



Egyetemi tanulmányait a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának Mikrohullámú Ágazatán fejezte be 1973-ban. A diploma megszerzése óta a Távközlési Kutató Intézetben a szélessávú mikrohullámú antennák és a széles-sávú antennamérések szakterületeken végez kutató-fejlesztő munkát. Publikációinak és az 1983-ban megvédett egyetemi doktori disszertációjának témái is ezekhez a kutatási területekhez kapcsolódnak.

DR. BABITS LÁSZLÓ



1973-ban szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen. A Távközlési Kutatóintézet tudományos munkatársa. 1977-ben elvégezte a BME Rádió-Híradástechnikai Szakmérnöki szakát és kitüntetéses oklevelet szerzett. 1977-től 1980-ig ösztöndíjas aspiráns volt. Kutatási területe: UHF és SHF keverők és rész-áramkörök analízise, tervezése.

GELEJI VILMOS

felépítés érdekében nem alkalmazunk mikrohullámú előerősítőt és helyi oszcillátorként szabadon futó Gunn-oszcillátort használunk. A kis zajtényező elérése céljából pedig új megoldású keverőt és szűrőt dolgoztunk ki. Ennek megfelelően a mikrohullámú egység tömbvázlata a 6. ábrán látható. Az antenna által felfogott jel mikrohullámú sávszűrőn át jut a keverőre, mely ezt a 400–800 MHz sávba teszi át. A jel szintjét ebben a sávban kis zajú széles sávú erősítő emeli meg, hogy a jel kábelben az épületbe továbbítható legyen. A mikrohullámú egységet közvetlenül az antennára szereltük, mert így közöttük nincs számottevő csillapítás, ami a zajtényező kis értékének biztosításához szükséges.

A 400–800 MHz sávba transzponált jelet még nem vezethetjük közvetlenül a televízió vevőkészülékbe, mert a műholdas műsorszórás a földfelszíntől eltérően nem amplitúdó-, hanem frekvenciamodulációt használ a kép átvitelére. Ezért van szükség a csatornaegységre, mely elvégzi a moduláció-átalakítást, és egyben a csatorna kiválasztását is. Az utóbbihoz szükséges második keverő helyi oszcillátort automatikus frekvenciaszabályozással látjuk el, ami lehetővé teszi, hogy a mikrohullámú egység első keverőjének helyi oszcillátora csak kis, 10^{-4} -es frekvencia-stabilitással rendelkezzen. A csatornaegységet ebben a cikkben nem tárgyaljuk részletesen, mivel ennek kialakítása az adott alkalmazástól nagy mértékben függ.

A mikrohullámú egységet a primer sugárzót tartó fémcsőben helyezük el és közvetlenül csatlakoztatjuk a polarizáció-átalakítóhoz. Ezzel az antenna és a mikrohullámú egység közötti csillapítást minimálisra csökkentjük. Ugyanakkor jelentős megtakarítást érünk el, mert nincs szükség külön konténerre, hanem a primer sugárzót tartó fémcső konténerként is szolgál. A tápfeszültséget a vett jelet az épületbe továbbító koaxiális kábelben át juttatjuk a mikrohullámú egységhez. Ez a megoldás az elektromos árnyékolás szempontjából kedvező. A fémcsőből kialakított konténer is nagyfokú árnyékolást biztosít a benne elhelyezett fokozatok számára. Az árnyékolást tovább növeli az egyes fokozatok fémes dobozása.

A fémcső belsejét hőszigeteléssel láttuk el, hogy -30 °C és $+50\text{ °C}$ közötti környezeti hőmérséklet

mellett legyen üzemeltethető a berendezés. Figyelembe kell még venni, hogy az antennatükör egyes időszakokban a Nap hősugárzását is összegyűjti, és így a primer sugárzó környezeti hőmérsékletét jelentősen megnöveli. Ennek az időszakos hatásnak a csökkentését is szolgálja a fémcső belső hőszigetelése.

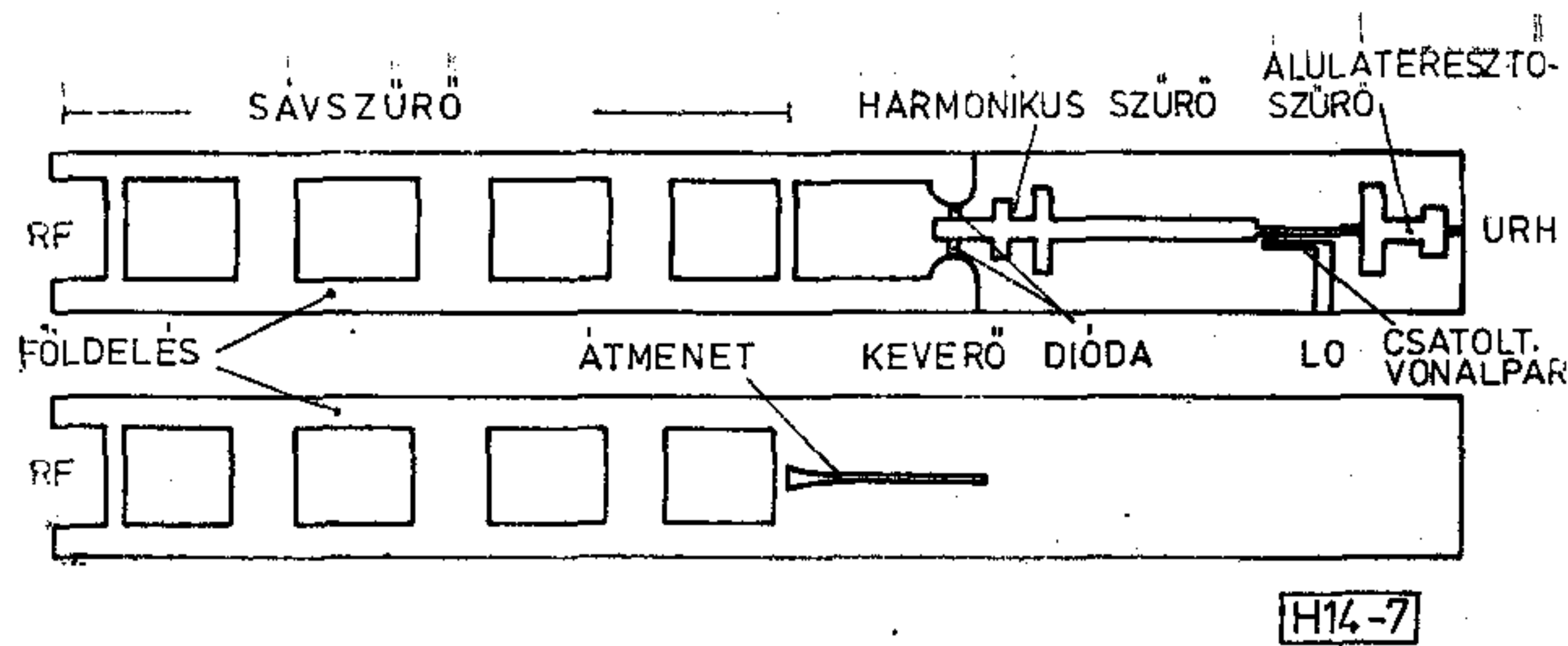
4. Sávszűrő

Az egyszerű felépítés érdekében a sáváteresztő szűrőt és a keverőt fin-vonalas megoldásban dolgoztuk ki. Ezeket az áramköröket közös duroid hordozón alakítottuk ki, melynek mindkét oldalán fémes rajzolat van, mint ez a 7. ábrán látható. A fin-vonalas megoldás nagy előnye, hogy az elektromos paramétereket meghatározó áramköri rajzolat fotolitográfiai úton olcsón és pontosan gyártható, ugyanakkor az egyes rezonátorok jóságát tényezője megközelíti a csőtápvonalas üregrezonátorokét. A fin-vonalas áramköri rajzolatot csőtápvonalban, az elektromos erővonalakkal párhuzamosan helyezük el a 8. ábra szerint. Ez a keresztmetszeti rajz a keverő síkjában készült.

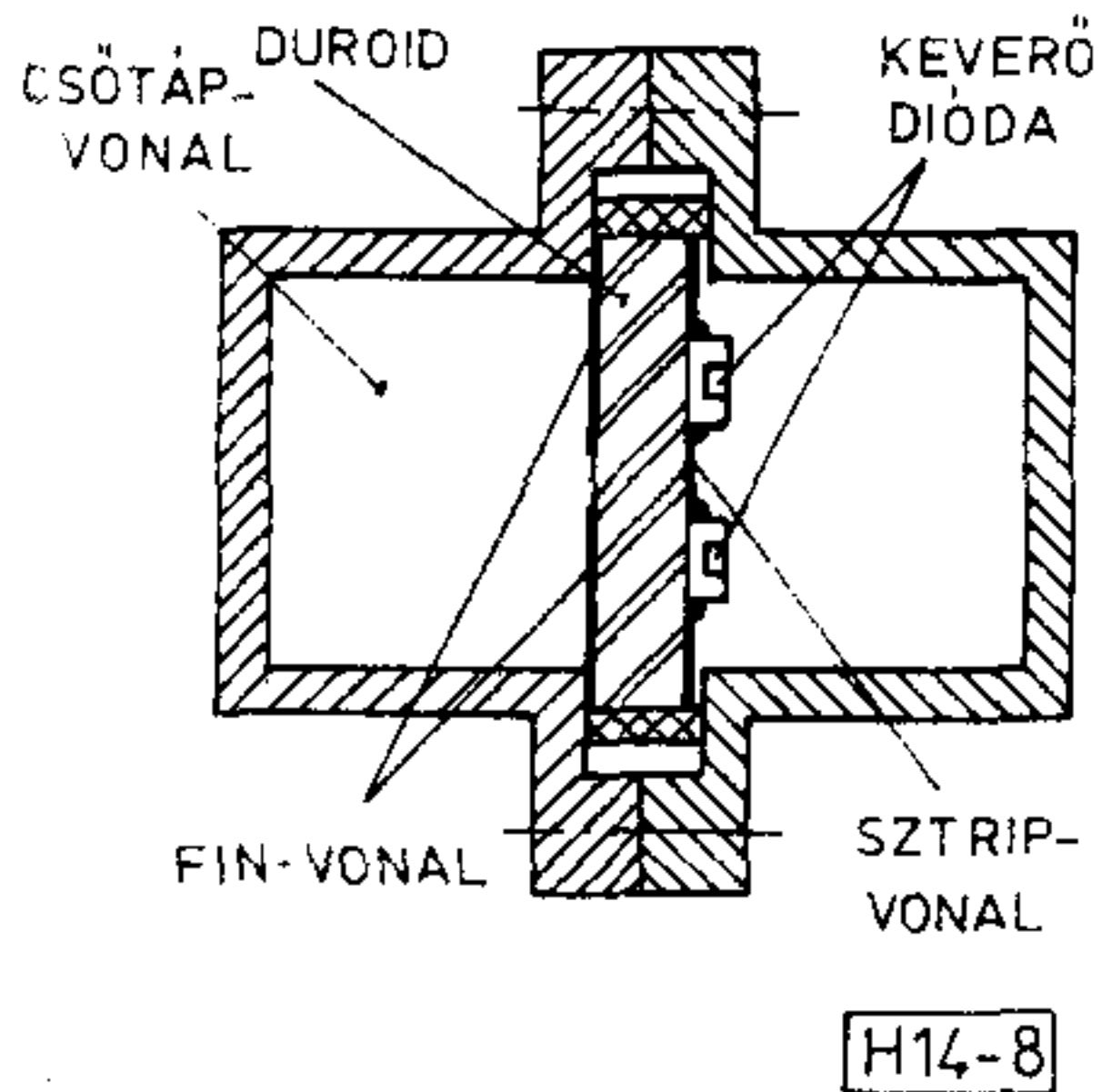
A sáváteresztő szűrőt kétoldalas fin-vonallal alakítottuk ki. Ez azt jelenti, hogy a szűrőnél a duroid mindkét oldalán azonos fémes rajzolat van, amint ez a 7. ábrán látható. A szűrő négy rezonátort tartalmaz és a sáv szélessége 400 MHz, vagyis a mikrohullámú műsorszóró sáv fele. A szűrő a vevő tükröselektivitásának biztosítását szolgálja. A sávszűrő áteresztő csillapításának alacsony értéken tartása igen fontos a vevő zajtényezője szempontjából. A kis csillapítás érdekében a fin-vonal résméretét a csőtápvonal magasságával vettük egyenlőnek.

A fin-vonalas szűrők egyik jelentős problémája, hogy az áteresztő sáv felett zárócsillapításuk kisebb, mint az áteresztő sáv alatt. Ezen a problémán a fin-vonalas szűrőt magába foglaló csőtápvonal méreteinek megfelelő megválasztásával sikerült túljutni, vagyis az áteresztő sáv feletti zárócsillapítást jelentősen megnövelni. Ez látható a 9. ábrán, ahol az *a*) görbe a szokásos, míg a *b*) görbe a javított csillapításgörbét adja meg a frekvencia függvényében.

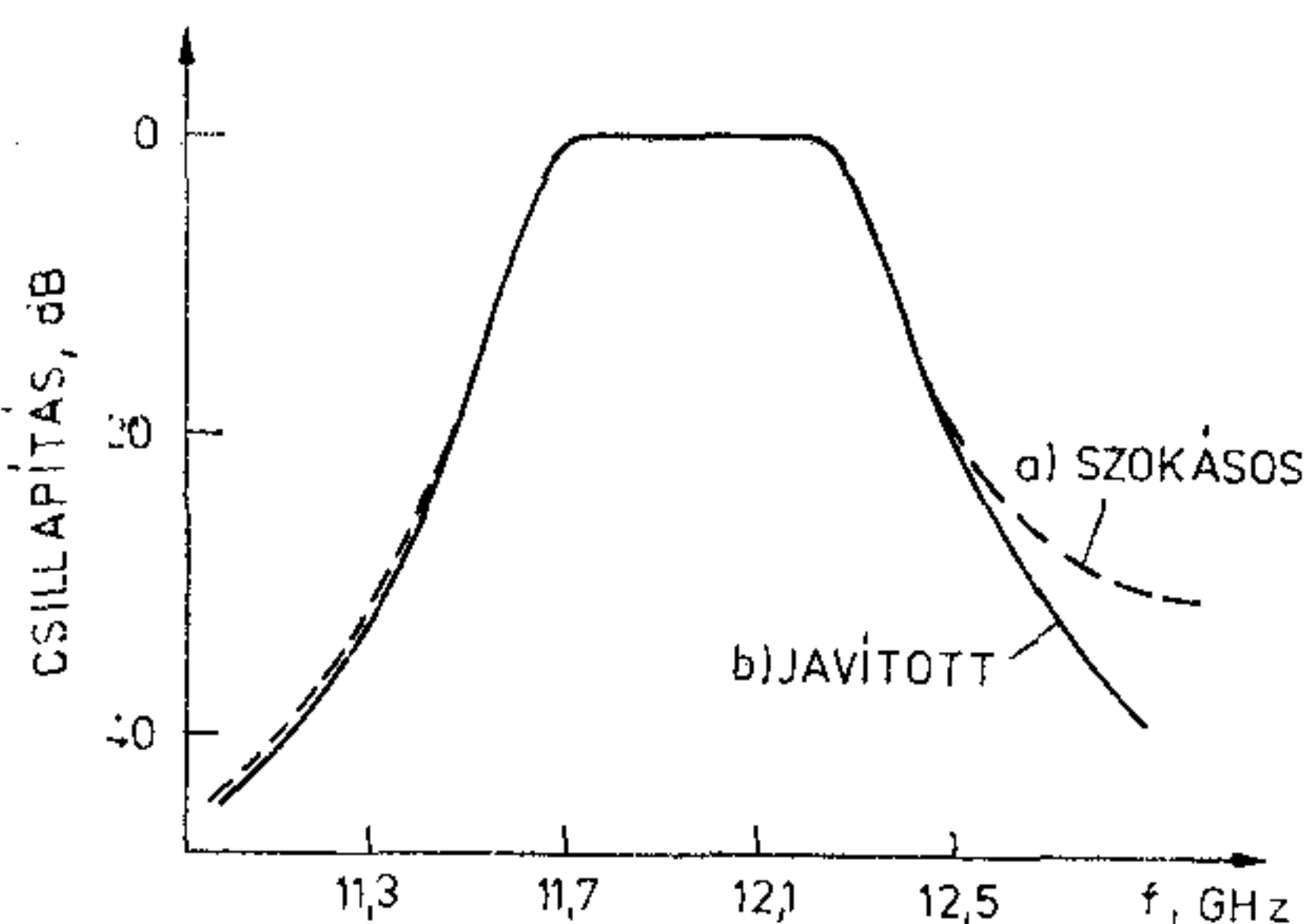
Egyik legfontosabb feladat a szűrő és a keverő illesztése. Az impedanciák aránya nagy és a sáv is széles, ezért az illesztést több lépésben végezzük.



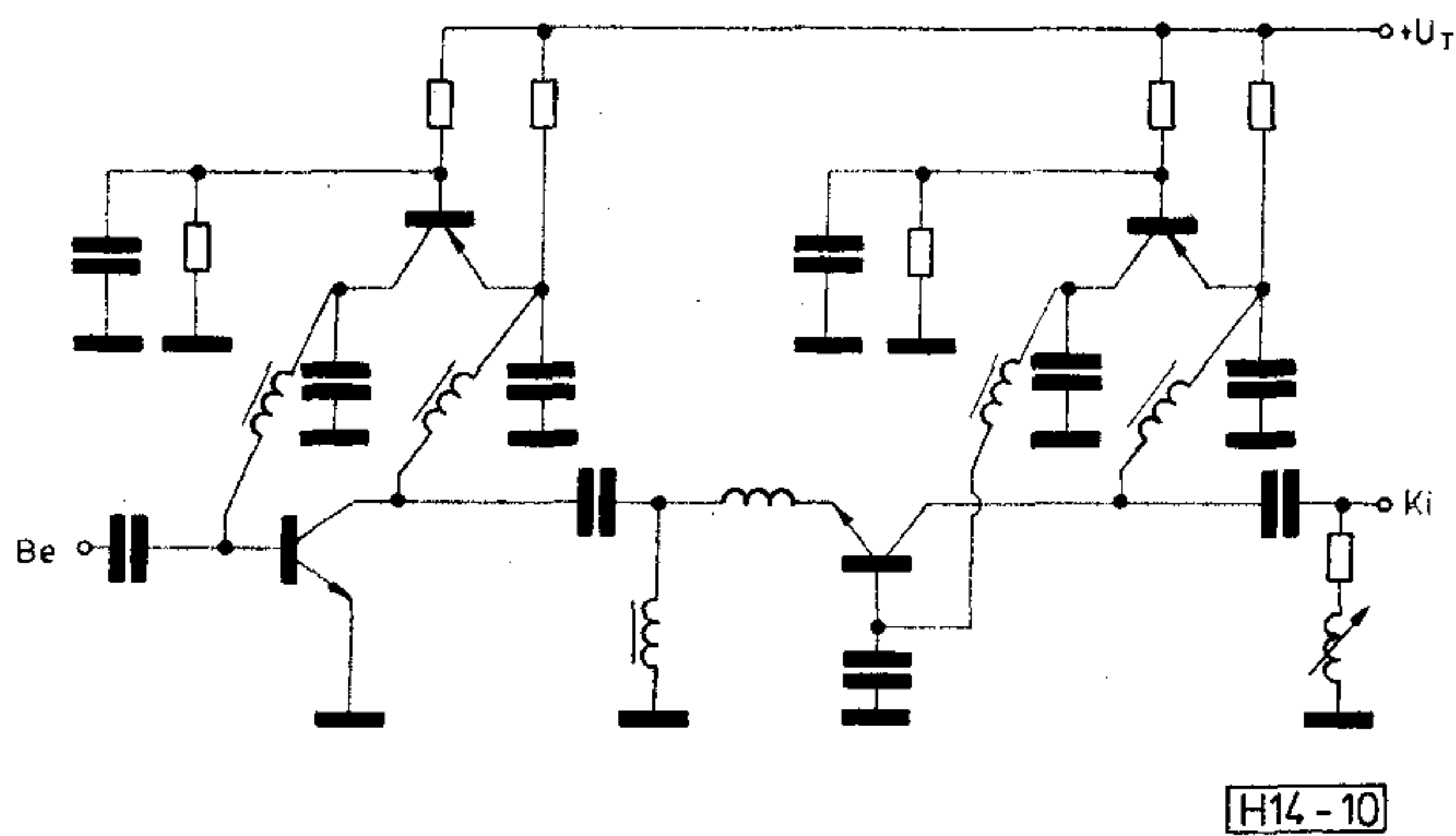
7. ábra. A fin-vonalas sávszűrő és keverő rajzolata a hordozó két oldalán



8. ábra. Fin-vonalas áramkör keresztmetszete a keverő síkjában



9. ábra. A sávszűrő csillapítás-görbéje: a) szokásos, b) javított



10. ábra. Az URH előerősítő kaszkód fokozatának elvi kapcsolása

A sávszűrőt kisebb impedanciájú egyoldalas fin-vonalhoz csatlakoztatjuk és a szűrőnek a keverő felé eső íriszt impedancia transzformátorként is használjuk. Ez a transzformátor egyúttal kétoldalas–egyoldalas fin-vonalátmenetet is képez, ugyanis a szűrő kétoldalas, a csatlakozó fin-vonal pedig egyoldalas kialakítású, amint ez a 7. ábrán látható.

A további impedancia-transzformációt az exponenciális fin-vonalas átmenet biztosítja, melyet úgy terveztünk, hogy a diódák csatlakozásánál a zajtényező

szempontjából optimális impedanciát adjon. A zajtényező csökkentésére még a keverő és a sávszűrő elektromos távolságát is optimálisra kell beállítani.

5. Keverő

A keverőt fin-vonal és sztrip-vonal átlapolásával valósítottuk meg, a 7. ábrán látható módon. A diódák az átlapolt szakaszhoz csatlakoznak. Ez az elrendezés hibrid működést ad, vagyis nincs csatolás az átlapolt szakaszhoz csatlakozó fin-vonal és sztrip-vonal között, ha a diódák impedanciája azonos. Keverésre GaAs Schottky diódákat használunk LID tokozásban. A vett jelet a fin-vonalon, a lokáljelet a sztrip-vonalon vezetjük a keverő diódákhoz. A keverő diódák tehát a vételi oldalon sorba, míg a lokál-oldalon párhuzamosan kapcsolódnak.

A keverővel szemben támasztott legfontosabb követelmény, hogy a zajtényezője kicsi legyen. Ennek érdekében meg kell akadályozni, hogy a nem hasznosított frekvenciákon valós terhelés legyen a diódákon, mert ez a keverési funkció során teljesítményt von el, ami a keverési veszteség és ezáltal a zajtényező megnövekedését okozza. Ilyen szempontból a legzavaróbb az összegfrekvencián, vagyis a jelfrekvencia és a lokálfrekvencia összegén jelentkező valós terhelés. Ennek megakadályozását szolgálja a sztrip-vonalas harmonikus szűrő. Ez egyúttal megakadályozza a helyi oszcillátorból felharmonikus jeleknek a keverő diódákra jutását.

6. URH előerősítő

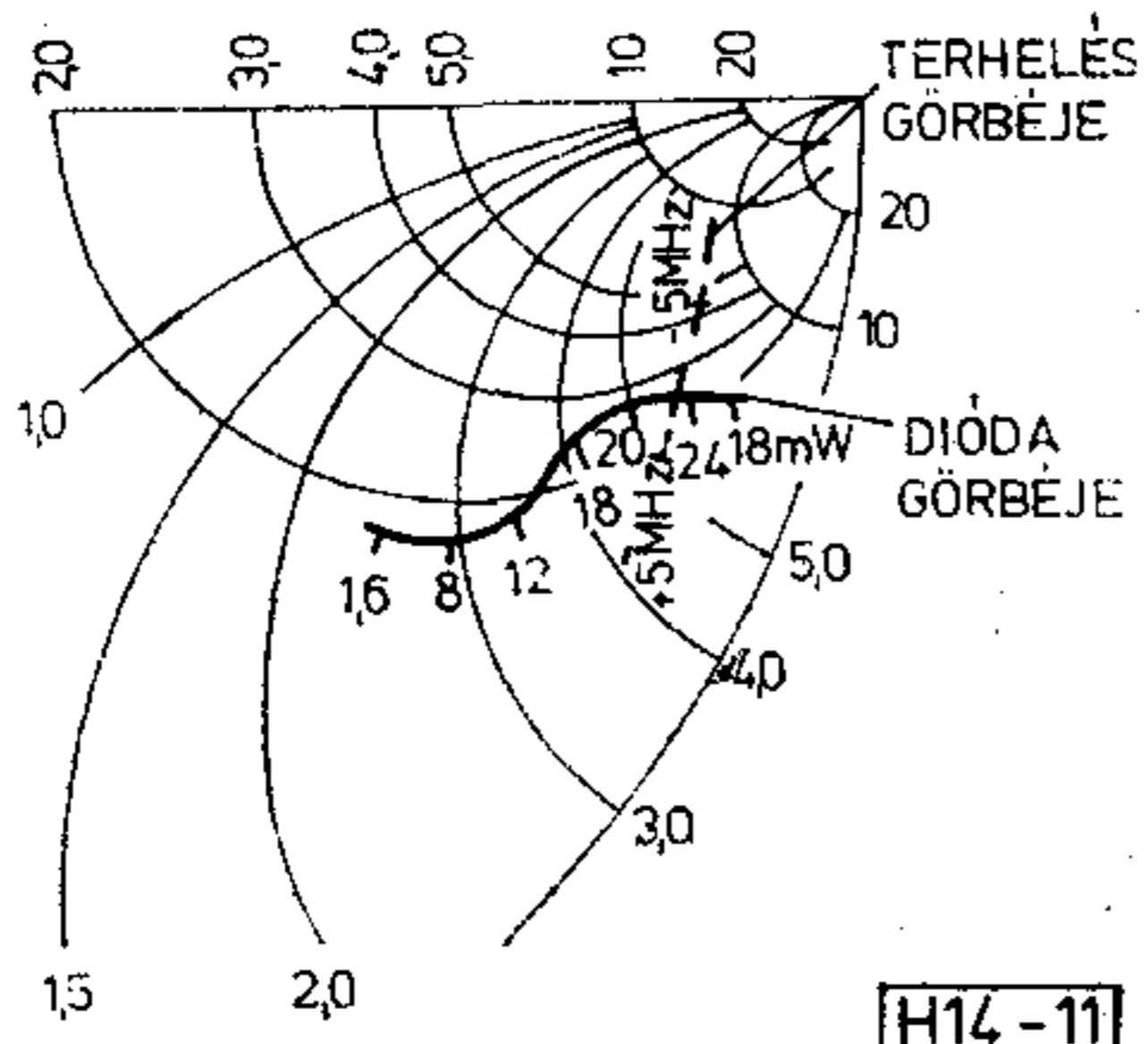
A kikevert jel az URH sávú középfrekvenciás előerősítőre aluláteresztő szűrőn át kerül, mint ez a 7. ábrán látható. A szűrő megakadályozza a mikrohullámú jeleknek az előerősítőre való jutását. Az aluláteresztőt impedancia-transzformátor követi, mely a keverő középfrekvenciás impedanciáját az előerősítő bemenetén szükséges értékre transzformálja.

Az előerősítő kaszkód bemenő fokozatot tartalmaz, melyet két hibridintegrált áramkörös erősítőfokozat követ. Az erősítő hőmérsékleti stabilitásának javítására külön tranzisztorok szolgálnak, melyek automatikus munkapont-beállítást végeznek. A kaszkód fokozat elvi kapcsolása a 10. ábrán látható. A zajtényező 1,6 dB, az erősítés 30 dB a 400–800 MHz sávban.

A kábelhez való csatlakozás külön illesztő hálózat révén történik. Ez egyrészt elválasztja a kábelen érkező egyenáramú táplálást az előerősítő kimenetétől, másrészt olyan pontos illesztést ad az egész sávban az előerősítő kimenete és a kábel között, hogy a mikrohullámú egység és a csatornaegység közé 30 m hosszú kábel legyen iktatható.

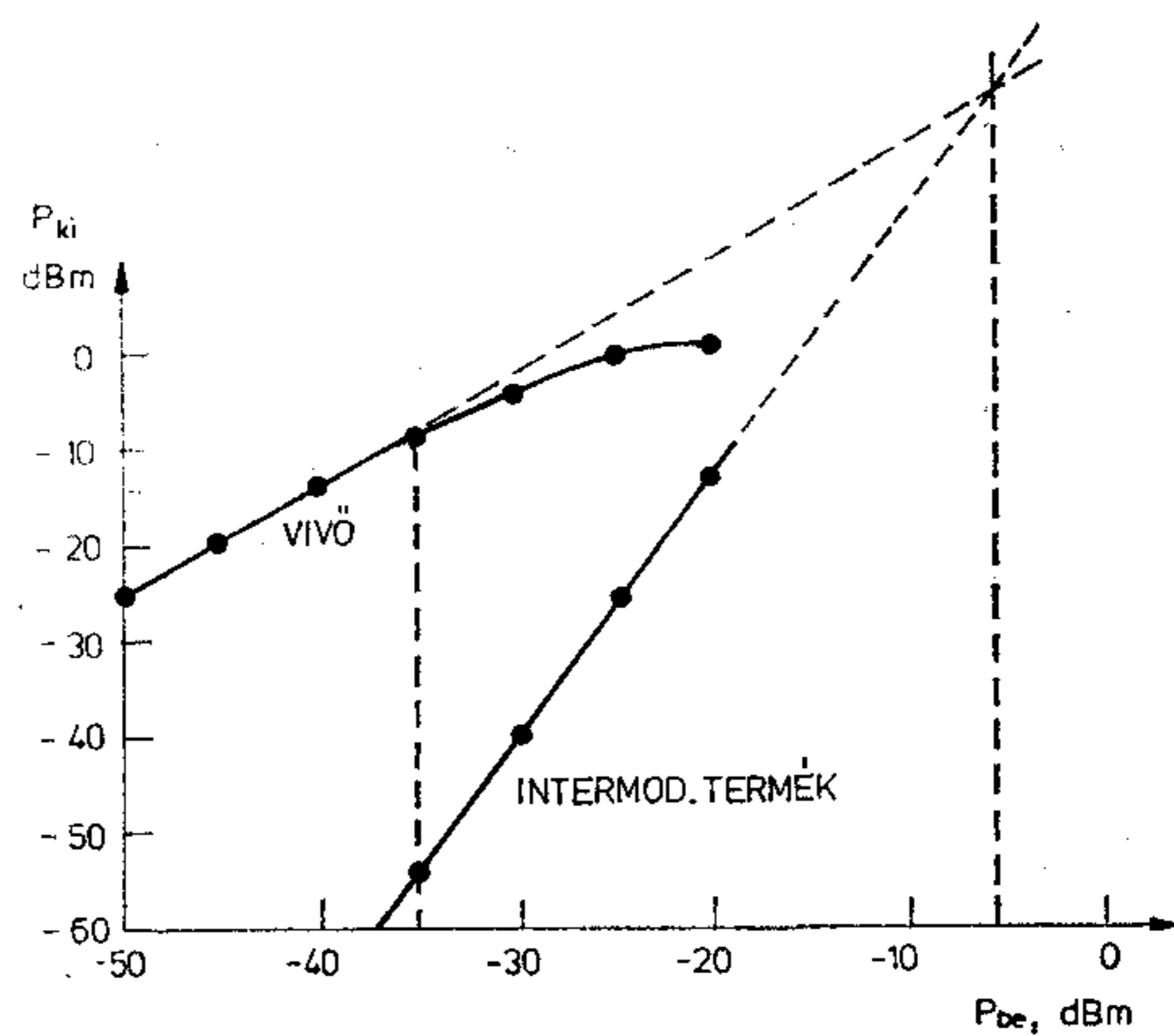
7. Helyi oszcillátor

A helyi oszcillátortól a keverő 10–20 mW teljesítményt igényel. A frekvenciastabilitásra csak 10^{-4} nagyságrendű követelmény adódik, mivel a csatornaegységben levő második helyi oszcillátor automatikus



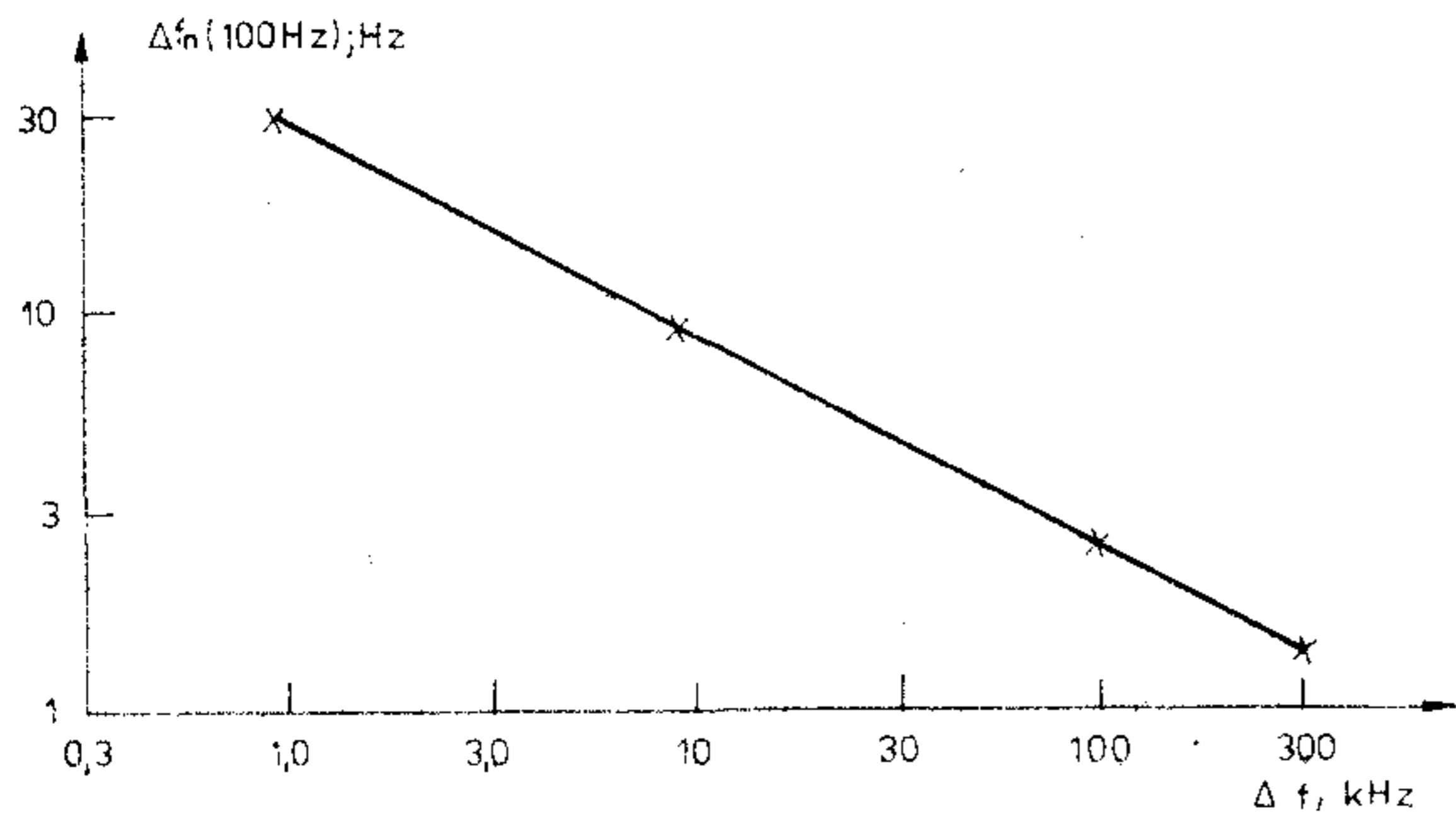
H14-11

11. ábra. Az oszcillátor optimális beállítása



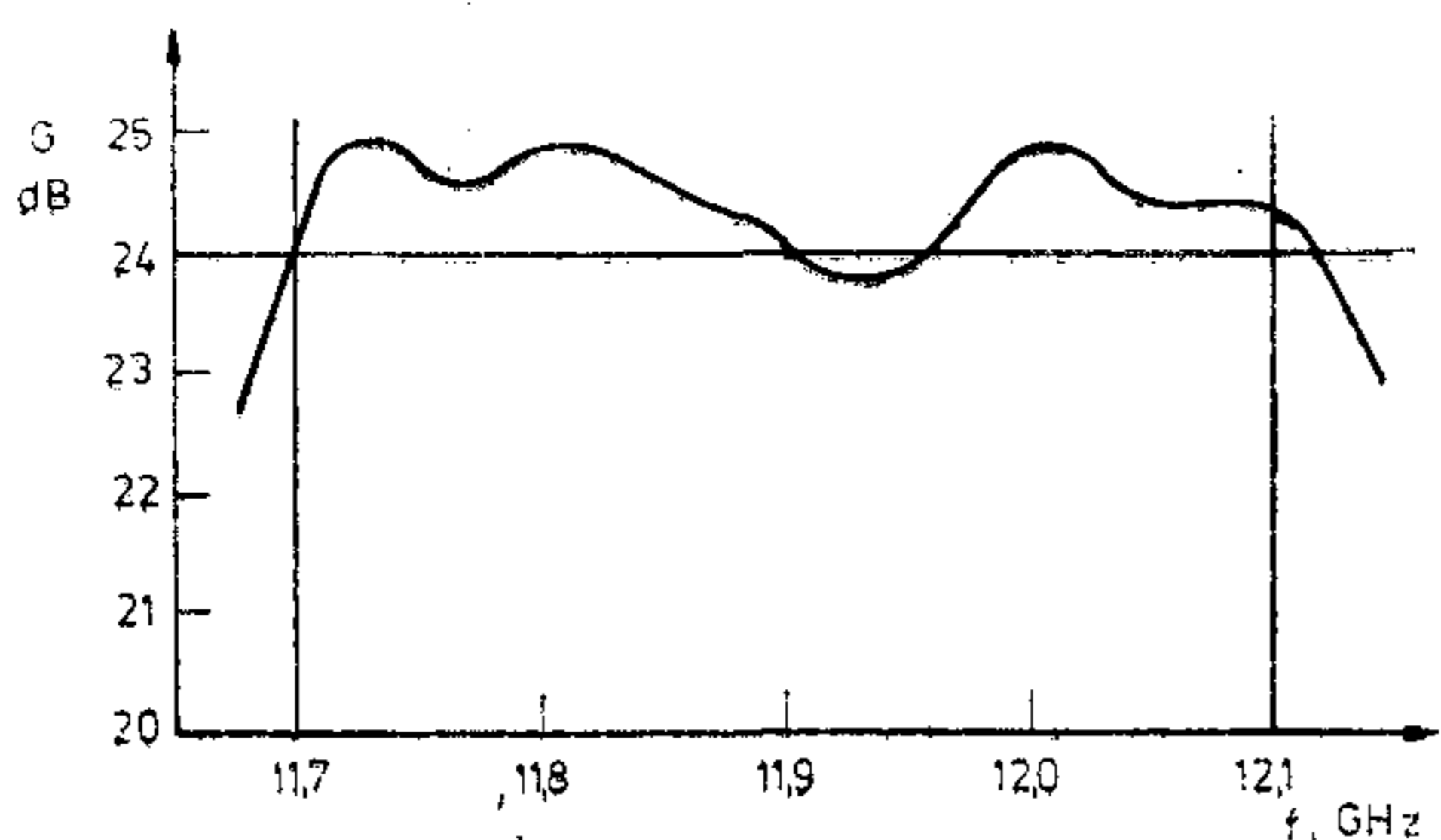
H14-16

16. ábra. Intermodulációs torzítás a bemenő teljesítmény függvényében



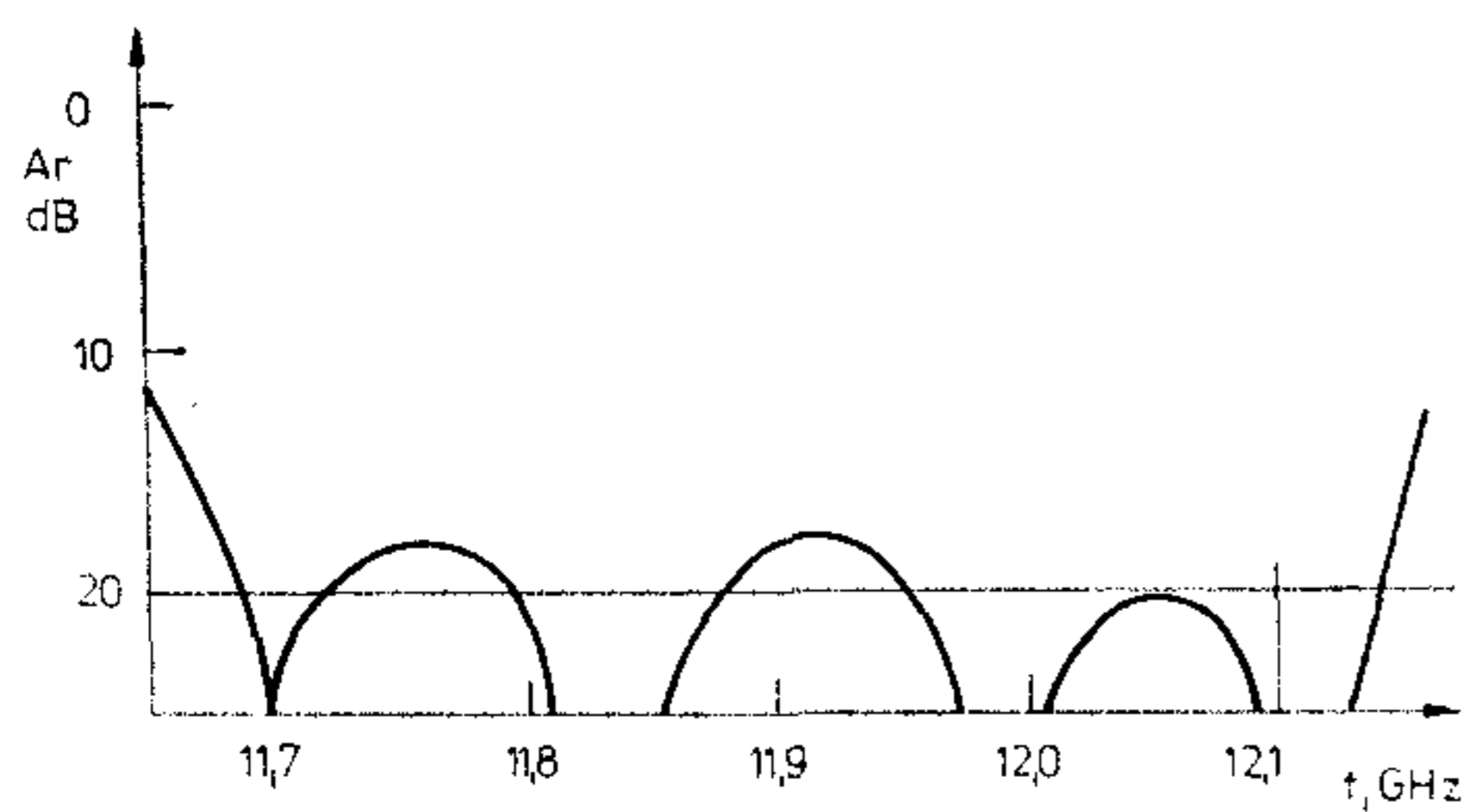
H14-12

12. ábra. Az oszcillátor FM zajspektruma



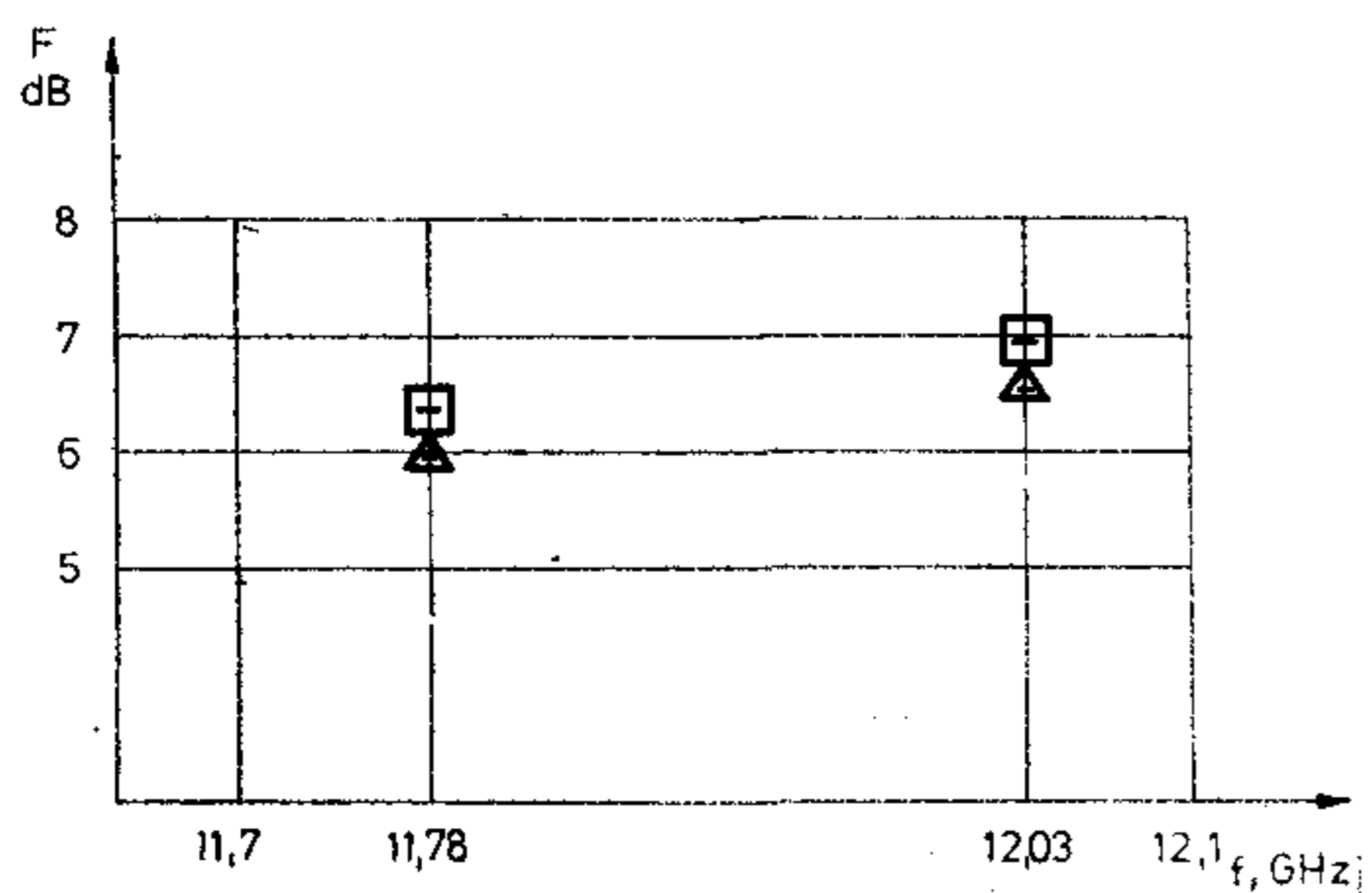
H14-13

13. ábra. Erősítés a frekvencia függvényében



H14-14

14. ábra. Bemeneti reflexiók csillapítás a frekvencia függvényében



H14-15

15. ábra. Zajtényező a frekvencia függvényében két esetében

frekvenciaszabályozással rendelkezik. A követelményeket egyszerű felépítésű szabadon futó Gunn-oszcillátor teljesíti.

Az oszcillátorban invár belső vezetőjű koaxiális rezonátort használunk. Ennek előnye, hogy kis-méretű, ugyanakkor jóságai tényezője nagy, hőmérsékleti együtthatója pedig kicsi, tehát az oszcillátor frekvenciáját elegendően stabilan tartja.

A Gunn-oszcillátor tervezése céljából nagyjelű méréseket végeztünk a diódán. A nagyjelű leíró függvények mérési módszerét [7] alkalmazva meghatároztuk a diódára jellemző egykapus leíró függvény reciprokát a szint függvényében. Ezzel megkaptuk a dióda görbét adott frekvencián.

Az oszcillátor tervezésénél arra törekedtünk, hogy egyidejűleg közel maximális kimenő teljesítményt és kis zajt érjünk el. A zaj szempontjából optimális beállításhoz jutunk, ha a dióda görbéje a terhelés görbéjét merőlegesen metszi az impedancia vagy admittancia diagramon [8]. Az oszcillátor optimális beállítását a 11. ábra mutatja.

Smith-diagramon ábrázoltuk a dióda görbéjét és a terhelés görbéjét a dióda kapcsaira transzformálva. A két görbe metszéspontja adja meg a munkapontot. A dióda görbéjének a teljesítmény, a terhelés görbéjének pedig a frekvencia a paramétere. Így a görbékről a teljesítmény és a frekvencia munkaponti értéke leolvasható. A tervezés során a terhelés transzformációját változtattuk és így kaptuk meg az ábrán látható optimális beállítást. Ekkor, mint látható, a kimenő teljesítmény közel maximális, a két görbe metszése pedig majdnem merőleges és így a zaj minimális.

Az oszcillátor mért paraméterei a következők: kimenő teljesítmény 20 mW, a frekvencia változása a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti hőmérséklet-tartományban max. 2 MHz. Az FM zaj effektív lökete a vivőtől 10 kHz távolságban 100 Hz széles sávban mérve 9 Hz. Az FM zaj spektrális eloszlása a 12. ábrán látható, mely a zaj effektív lökete adja meg a vivőtől való Δf távolság függvényében 100 Hz sávszélesség esetén. A helyi oszcillátor zaja tehát a keverő zajához képest nem számottevő.

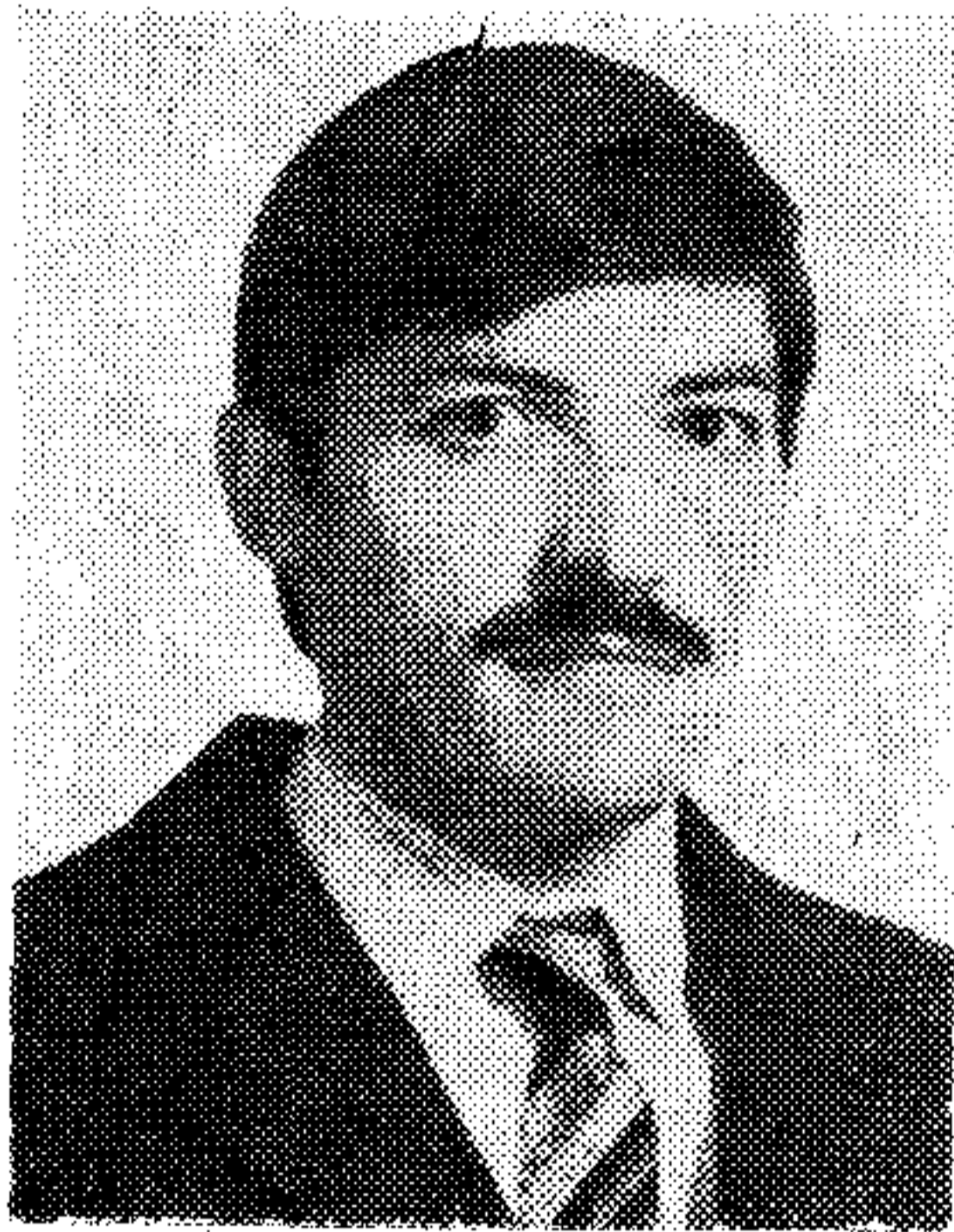
A helyi oszcillátor jelét a sztrip-vonalra negyedhullámú csatolt vonalpár révén juttatjuk, mint ez a



GRÁNÁSY JÓZSEF

A Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karának „B” tagozatán

1951-ben szerzett gépészmérnöki oklevelet. Szakmérnöki diplomáját a Villamosmérnöki Kar Folyamat szabályozási Tanszékén védte meg 1965-ben. A nehézhíradástechnikai iparban finommechanikai konstruktőr, majd főtechnológusi beosztásban dolgozott. Mikrohullámú antennák kutatás-fejlesztésével a Távközlési Kutató Intézetben kezdett 1972-ben foglalkozni. Publikációi a fémzett műanyag Cassegrain antennákkal és irányított mikrohullámú antennák konstrukciós problémáival kapcsolatosak.



JUHÁSZ KÁLMÁN

Villamosmérnöki oklevelet 1972-ben szerezte a Budapesti Műszaki Egyetemen. Azóta a Távközlési Kutató Intézetben dolgozik, mikrohullámú áramkörök tervezésével és mérésével foglalkozik. 1975 óta tudományos munkatárs. 1977-ben kitüntetéses szakmérnöki oklevelet szerzett a BME Rádió-híradástechnika szakán. Szakmai területe: mikrohullámú diódás oszcillátorok és generátorok tervezése és realizálása.

7. ábrán látható. A csatolt vonalpár teljes átvitelű iránycsatolóként működik. A lokálfrekvenciás kapu illesztésének javítását járulékos vonalcsonk segíti.

8. Eredő jellemzők

A mikrohullámú egység félsávós kialakítású, azonos felépítésben az egyik változat a 11,7–12,1 GHz közötti, a másik változat a 12,1–12,5 GHz közötti félsávban használható. Egy-egy ország műholdcsatornáit mindig egy félsávon belül vannak, ezért a félsávós megoldás sok esetben előnyösen használható. A félsávós kialakításnak ugyanis gazdasági előnyei vannak, mivel ekkor az első középfrekvencia az ultrarövidhullámú sávba helyezhető, ahol olcsó integrált áramköröket lehet használni.

A mikrohullámú egységnek a mikrohullámú bemenet és az ultrarövidhullámú kimenet közötti teljes erősítését a 13. ábra mutatja a frekvencia függvényében az alsó félsávban. Az erősítés ingadozása a sávban kb. 1 dB. Egy műholdcsatorna sáv szélessége 27 MHz. Az ábrán látható, hogy egy csatornán belül az erősítés változása a legrosszabb esetben sem több 0,5 dB-nél, ami teljesen megfelelő érték.

A mikrohullámú egység bemeneti reflexiós csillapítását a 14. ábra adja meg a frekvencia függvényében. A reflexiós csillapítás elegendően nagy, a leg-



KOLUMBÁN GÉZÁNÉ

1976-ban végzett a BME Villamosmérnöki Kara Híradástechnika tagozatán

mikrohullámú adástechnika ágazatán. Első munkahelye a Finommechanikai Vállalat volt, ahol mikrohullámú passzív áramkörökkel foglalkozott. Több FMKT szakdolgozattal helyezést ért el, és megkapta a „Kiváló Ifjú Szakember” kitüntetést. 1981 óta a Távközlési Kutató Intézetben dolgozik, ahol különböző tápvonaltípusban realizált (csőtápvonal, koax, fin-line, mikrostrip) szűrőkkel és egyéb mikrohullámú passzív áramkörökkel foglalkozik.

rosszabb esetekben sem kisebb 18 dB-nél. Látható, hogy az illesztés Csebisev típusú. A fin-vonalas szűrő négy rezonátort tartalmaz, és ennek megfelelően a reflexiós görbének négy minimuma van.

Az eredő zajtényezőt a 15. ábra adja meg a sáv két csatornafrekvenciáján két mikrohullámú egység esetére. A zajtényező 7 dB alatt van és magába foglalja a sávszűrő áteresztő csillapítását is, ami 0,5 dB körüli.

A mikrohullámú egység linearitását kétjelű intermodulációs mérési módszerrel vizsgáltuk. Megmértük a vivő és a harmadrendű intermodulációs termék szintjét a kimeneten a bemenő szint függvényében. Az eredményt a 16. ábra adja meg. Az egység üzemi bemenő szintje lényegesen az 1 dB-es erősítéscsökkenéshez tartozó szint alatt van, mely utóbbi esetünkben -35 dBm. A lineáris erősítés és harmadrendű torzítási termék egyenesének metszéspontja (az ún. intercept pont) -6 dBm bemenő szintnél van. Ez nagyfokú linearitást jelent az üzemi szinteken, ami több jel egyidejű vétele esetén fontos követelmény.

9. Összefoglalás

A műholdas televízió műsorszórás vételéhez kifejlesztett mikrohullámú vevő egyszerű felépítésű és új áramköri megoldásokat alkalmaz. A mikrohullámú vevő egyaránt használható egyéni vagy közösségi vételre megfelelő méretű antennával.

I R O D A L O M

- [1] Dietrich-Büchs, J.: Broadcasting Satellite Systems in the 12 GHz Range. European Electronics, pp. 41–49, No. 3. 1981.
- [2] Konishi, Y., Hoshino, N., Utsumi, Y. and Matsu-mura, H.: 12 GHz-Band FM Receiver for Satellite Broadcasting. NHK Laboratories Note, Serial No. 230. December, 1978.
- [3] Harrop, P., Lesartre, P. und Vlek, T. H. M. A.:

- Rauschme 12 GHz-Empfänger für das Satellitenfernsehen. Philips Technische Rundschau, pp. 241–253, No. 9, 1980/81.
- [4] Greenhalgh, S. J., Pengelly, R. S. and Turner, J.: Receivers Evolving for TV by Satellite. Microwave Systems News, pp. 82–92. September, 1980.
- [5] Berceli, T., Geleji, V., Hammer, G., Juhász, K., Mrs. Kolumbán, T. and Reiter, G.: A multiple-channel 12 GHz receiver for satellite television broadcasting. Conference Record of ICC '83, Boston, USA, pp. A17.1.–5, June, 1983.

- [6] Berceli, T., Geleji, V., Juhász, K. and Mrs. Kolumbán, T.: A simple down-converter for the direct reception of satellite television broadcasting. Conf. Proc. of 13th EuMC, Nürnberg, FRG, pp. 195–200, 1983.
- [7] Wagner, W.: Oscillator design by device line measurement. Microwave Journal, pp. 43–48. February, 1979.
- [8] Berceli T.: Mikrohullámú diódás oszcillátorok tervezési kérdései. TKI Közleményei. 1976, XXI. évf. No. 1, 9–45. old.

Mikrohullámú szeminárium

Idén januárban rendezte meg a Híradástechnikai Tudományos Egyesület a 3. Mikrohullámú Szemináriumot a hazai eredmények ismertetése és a tapasztalatok kicserélése érdekében. Ez az immár hagyományos rendezvény 300 magyar szakember részvételével és 80 előadás megtartásával zajlott le.

A Szeminárium első napján 8 előadás plenáris ülésen, a többi előadás pedig 3 párhuzamos szekcióülésen hangzott el. Az előadások földfelszíni mikrohullámú összeköttetésekkel, előfizetői rurál rádiórendszerekkel, televízió műsorszóró műholdak vételével, műholdas telefonösszeköttetésekkel, továbbá a mikrohullámú technika mérési, ipari és mezőgazdasági alkalmazásával foglalkoztak. Ennek keretében külön szekciókban tárgyalták az áramköröket és alkatrészeket, a technológiai és mérési eljárásokat, valamint az elméleti módszereket és vizsgálatokat.

A mikrohullámú összeköttetések terén is terjednek a digitális megoldások és az integrált kivitelek. A digitális átviteli sebességek növelése és a frekvenciasáv kihasználásának javítása új modulációs módszerek alkalmazását kívánja meg. Ilyenek például a 16 QAM, illetve a 64 QAM, vagyis a 16, illetve 64 állapotú kvadratúra amplitúdó moduláció. A kisebb átviteli sebességek esetén viszont a szolgáltatások növelése a fő feladat, amit a szolgálati csatornák megfelelő kialakítása is elősegít.

Az integrált kivitelek terjedése tapasztalható különösen a konténeres adó-vevő berendezések terén. Ezek szabadban telepíthető és kis fogyasztású berendezések, melyek karbantartása is egyszerű az integrált kivitel következtében.

Megjelentek a mikrohullámú rádiórendszerek az előfizetői hálózatban is. Ezek elsősorban rurál területeken nyernek alkalmazást. Egy központi és néhány alállomás révén időosztású üzemből 64 előfizető kiszolgálása lehetséges az ismertett rendszerben, mégpedig csupán két frekvencia felhasználásával. E rendszer átviteli vizsgálata most van folyamatban.

Rövidesen megjelennek az égbolton a közvetlen tv műsorszóró műholdak. A vételükre szolgáló berendezés 1,5 m átmérőjű paraboloid tükörrre szerelt mikrohullámú vevőt és a vett jeleket feldolgozó csatornaegységet tartalmaz. Az első vételi kísérletek már megtörténtek.

A műholdak hírközlési felhasználása is egyre bővül. Különösen jelentős ez a globális, vagyis az egész Földre kiterjedő rendszer, mely szovjet geostacionáris műholdak segítségével interkontinentális telefonösszeköttetések létesítését teszi lehetővé. Az ehhez szükséges földi csatlakozó berendezés problémáival 3 szekció foglalkozott. Az INTERCSAT elnevezésű berendezés SCPC típusú (single channel per carrier – vivőnként egy beszédcsatorna), amellyel már megvalósult az első próbaösszeköttetés a magyar és szovjet földi állomások között a STACIONER–4 szovjet műholdon keresztül. Az egyik előadás beszámolt az ilyen összeköttetésekhez használt műholdak csatornakapa-

citásáról különféle modulációs rendszerek esetében, míg az INTERCSAT berendezés realizálási problémáiról számos előadás emlékezett meg. Az alkalmazott PSK modulációs rendszer lehetővé tette a szigorú hibaarány-követelmények teljesítését beszédaktivizált („burst”) üzemmódban. Az adási és vételi frekvencia kiválasztása frekvenciaszintetizátorokkal történik, amelyek fejlesztése során sikerült megvalósítani a nemkívánatos zavaró oldalsávok erős csökkentését. A beszédaktivizált üzem különleges feladatot rótt a vevő-oldalon az órajel és a vivőhullám helyreállítására, aminek minden egyes „burst” elején gyorsan, pontosan és zavarmentesen kell megtörténnie. Az INTERCSAT berendezés újdonsága egy mikroprocesszoros adaptív üzemi beszéd-detektor, amely alkalmazkodik a földi állomáshoz csatlakozó távbeszélővonalak változó zajviszonyaihoz, és így kiküszöböli a zajbeütésektől származó vivőhullám-generálást. A PCM kódolás és dekódolás során alkalmazott előkód-jelsorozat előállítása és kiértékelése szintén mikroprocesszorral van megvalósítva. A középfrekvenciás áramkörök nagy linearitása biztosítja maximálisan 800 vivőhullám átvitelét a 36 MHz-es KF-sávban zavaró intermodulációs termékek előállása nélkül. A műholdas földi hálózat egy központi állomása pilotjelet sugároz, és az INTERCSAT berendezés pilotrendszere biztosítja az egyes földi állomások vevőinek automatikus erősítés- és frekvencia-szabályozását, továbbá olyan antennanyalábító jel előállítását, amely a földi állomás antennanyalábját a műholdra irányítja. Külön szolgálati összeköttetés biztosítja az állomások személyzeti közötti távbeszélő és táviró kapcsolatot, és alkalmas nemcsak szelektív, hanem körözvényösszeköttetés létesítésére is.

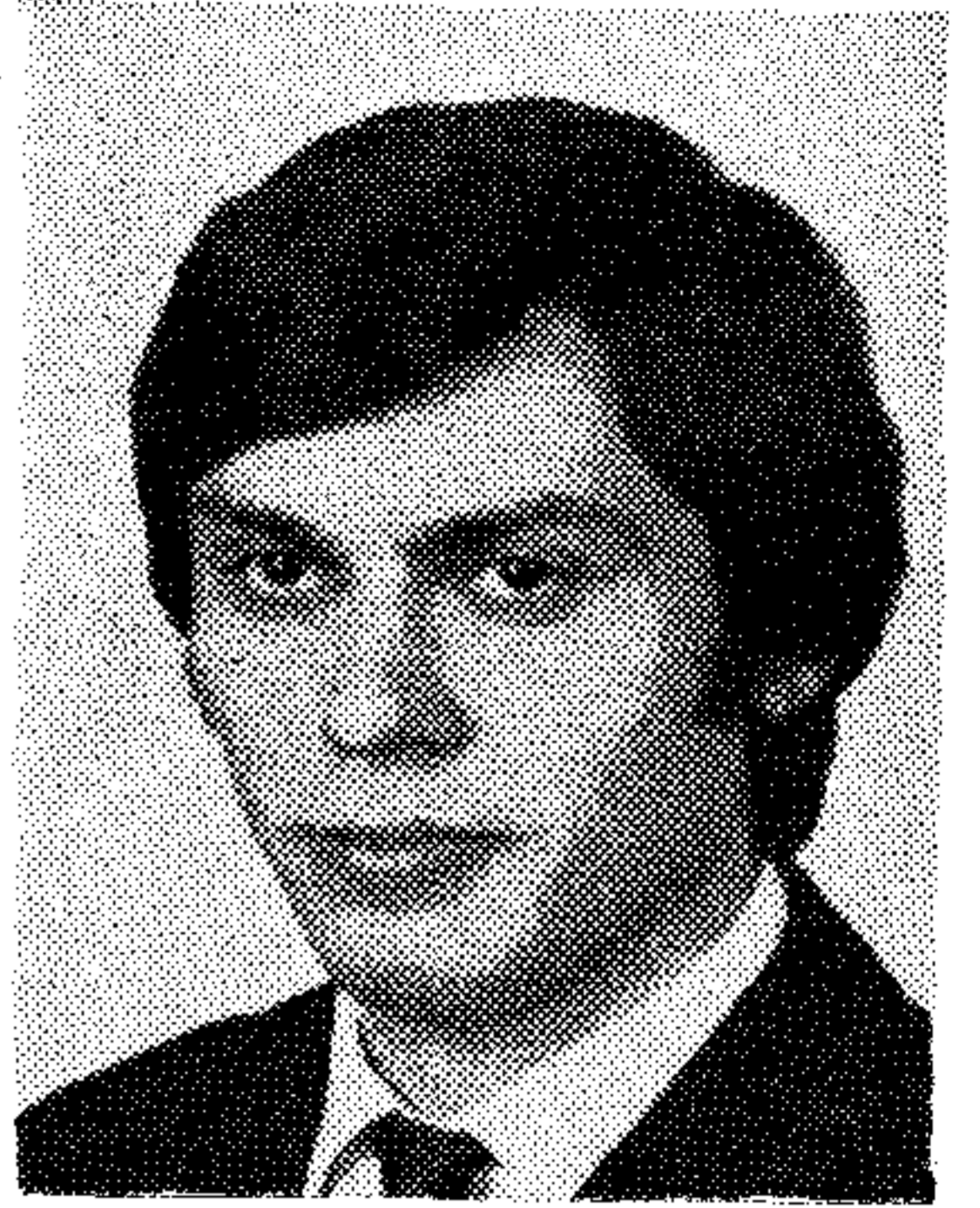
A mikrohullámú aktív és passzív áramköri szekciókban 16 előadás hangzott el igen élénk viták kíséretében. Új tápvonal: a „fin-line” kedvezőbb tulajdonságok elérését teszi lehetővé a 10 GHz körüli és feletti frekvenciákon. Ilyen diplexerek, szűrők és keverők kerültek ismertetésre. Új rezonátortípus: a dielektromos rezonátor számos feladat jobb megoldását biztosítja. Elsősorban oszcillátorok frekvenciájának kielégítő mértékű stabilizálását biztosítja. Az oszcillátorok frekvenciáját AFC és PLL típusú hurkokkal is stabilizálják, különösen kiskapacitású rurál berendezésekben.

A mikrohullámú tranzistoros erősítők gyorsan terjednek a berendezésekben. Az előerősítővel 3–4 dB-es zajtényező érhető el széles sávú megoldásban. Itt fő kérdés a zajra való illesztés mellett a stabilitás, vagyis gerjedésmentesség egyidejű biztosítása. A teljesítményerősítők terén elsősorban a közvetlen csatolású több fokozatú erősítők keltettek érdeklődést. Előadások hangzottak el a nagyszintű paraméterek mérése, az ezekre épülő tervezési eljárások és stabilitásvizsgálatok témakörében is.

(Folytatás a 123. oldalon.)

Félvezető szeletek mérési adatainak számítógépes feldolgozása

BOZSIK KÁROLY—SVÁB PÉTER
Mikroelektronikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk első részében az integrált áramkörök fejlesztési és gyártási folyamatát vizsgálja a mérés szempontjából. Rávilágít a szeletmérés jelentőségére az önköltség csökkentésében és a fejlesztési folyamat lerövidítésében. Ismertetésre kerül egy szeletmérő rendszer, majd annak alkalmazása egy példán keresztül.

Korunk gyors műszaki fejlődésének alapvető feltétele a mikroelektronikai technológia létrejötte és robbanásszerű térhódítása, amely szoros kapcsolatban áll a mérés-technika fejlődésével.

Talán legélesebben a két terület egymásra utaltsága az integrált áramkörök gyártó vállalatoknál jelentkezik, ahol az alacsony ár — tehát a versenyképesség — elérése a gyártásközi mérések automatizálását és a mérési adatok számítógépes feldolgozását igényli, különösen az LSI és VLSI termékek gyártása esetén.

Monolit integrált áramkörök csipjeinek előállításánál a technológiai műveleteket félvezető szeleteken végzik. A továbbiakban — a teljességre való törekvés nélkül — bemutatjuk a fejlesztés—gyártás folyamán keresztül a szeletméréssel való szoros kapcsolatukat.

A technológia és a mérés kapcsolata

Az integrált áramkörök fejlesztése az előzetes specifikációval kezdődik, amely során körvonalazódik a felhasználó által igényelt funkció, paramétersereg és nem utolsósorban a költségtényező. Ez utóbbi maga után vonja néhány paraméter optimalizálását (minimális fogyasztás, méret, külső alkatrészek száma stb.).

Az áramköri tervezés igen körültekintő és szigorú optimalizálási feladat, amelynek során jól kell megválasztani az integrálható és diszkrét elemekkel megvalósítható funkciók részarányát. Az integrálható áramköröknél optimalizálni kell az illesztő, analóg és digitális részek arányát. Néhány kritikus szempontot említünk csupán: áram — feszültség — disszipációtartomány, kivezetések száma, és nem utolsósorban csipfelület.

A tervezés befejezése után célszerűen felépített diszkrét, ill. számítógépes áramköri modelleken történik a kitűzött funkciók megvalósulásának ellenőrzése. A számítógépes matematikai modellezés futtatási idejét, vagy az integrált áramköri elemkészletből felépített diszkrét modellek elkészítési idejét és költségeit — adott pontosságú modellezésnél — is

BOZSIK KÁROLY

MEV félvezető fejlesztési főosztályán gyártmányfejlesztő mérnökként dolgozik, szakterülete elsősorban a bipoláris IC fejlesztés és mérésfejlesztés.

diplomáját 1979-ben szerezte a BME Villamosmérnöki Karának híradástechnikai szakán. Az EIVRT, majd a későbbi

optimalizálni kell. Különösen a parazita elemek (pl. kapacitások) és csatolások (pl. termikus visszacsatolások) figyelembevétele lényeges.

Az ellenőrzés után kapott eredmények visszahatnak a specifikációra, esetleg az áramkör teljes újratervezéséhez vezethetnek.

A sikeres áramköri tervezés, modellezés után következik az integrált változat topológiájának megtervezése.

Nagy figyelmet kell szentelni az izotermikus elrendezésű kritikus alkatrészeknek, hogy az integrált változatnál a lehető legjobb eredményeket kapjuk. Külön említést érdemelnek a fél-felhasználói áramkörök, amelyek fix elrendezésű integrált elemkészletet (ellenállások, tranzisztorok, logikai kapuk) tartalmaznak, és a fémező maszkkal választhatók ki az egyes izotermikusan elhelyezkedő elemek. Mivel ezeknél kötött az elrendezés és az elemszám, a csip felületét nem lehet teljes egészében hasznosítani, ezért a fél-felhasználói tervezést siker esetén követheti egy — a felület kihasználását javító — minden maszkra kiterjedő újratervezés.

A topológia tervezésekor biztosítani kell az egyes áramköri elemek előírt paramétereit (disszipáció, megbízható működési tartomány stb.).

A topológiai tervezés után elkészülnek az egyes technológiai lépésekhez szükséges maszkok. Természetesen a maszkokhoz a technológiától függő fotolitográfiai, diffúziós és egyéb berendezések szükségesek, amelyeken a kész maszkok segítségével a félvezető szeleteken elkészíthetők az integrált áramkörök.

Kiforrott, stabil technológia esetén a szelet néhány pontján mérőábrákat helyeznek el, amelyeken olyan elrendezések vannak, amik az egyes technológiai lépések paramétereit elektromos mennyiségekké alakítják, lehetővé téve a korszerű mérésadatgyűjtést és feldolgozást.

Gyártás esetén az IC-k maszkjaiba léptetik be a mérőábrákat, technológiafejlesztés vagy egyéb kísérletek alkalmával csak mérőábrákat tartalmazó szeletek készülnek. Így nem csak a kísérlet paramétereit lehet nagy mennyiségben mérni és statisztikailag fel-

Beérkezett: 1984. IX. 5. (A).

dolgozni, hanem a paraméterek szelet felületén való eloszlásáról is értékes információkat nyerhetünk.

Jó felületkihasználású IC-k maszkján is szokott annyi hely maradni, hogy egyszerű mérő struktúrák elhelyezhetők. Ezek közbülső megoldásnak tekinthetők a csak mérőábrát és a néhány mérőábrát tartalmazó elrendezés között.

A szelettechnológiai paraméterek elektromos jelekké alakításának egyik hátránya, hogy csak a szelet elkészülte után — a fémezett kivezető felületek (tappancsok) segítségével — mérhetők. Ezért szükséges olyan — szeletméréssel összekapcsolt — számítógépes adatfeldolgozó rendszer alkalmazása, amely az egyes technológiai lépések elvégzésének feltételeit (pl. koncentráció, idő, hőmérséklet, nyomás, porszint) is rögzíti [1].

Egy ilyen rendszer az IC-k és a mérőábrák szeletmérési adatait figyelembe véve az egyes paraméterek és a kihozatal közötti összefüggések felderítését lehetővé teszi, valamint az információ visszacsatolásával a kihozatal optimalizálását, a paraméterek stabilitásának biztosítását is jól szolgálja. A rendszer gazdaságosságát még fokozhatjuk, ha az adatok közé a közvetlenül elektromos jelekké nem átalakítható paramétereket is be vesszük.

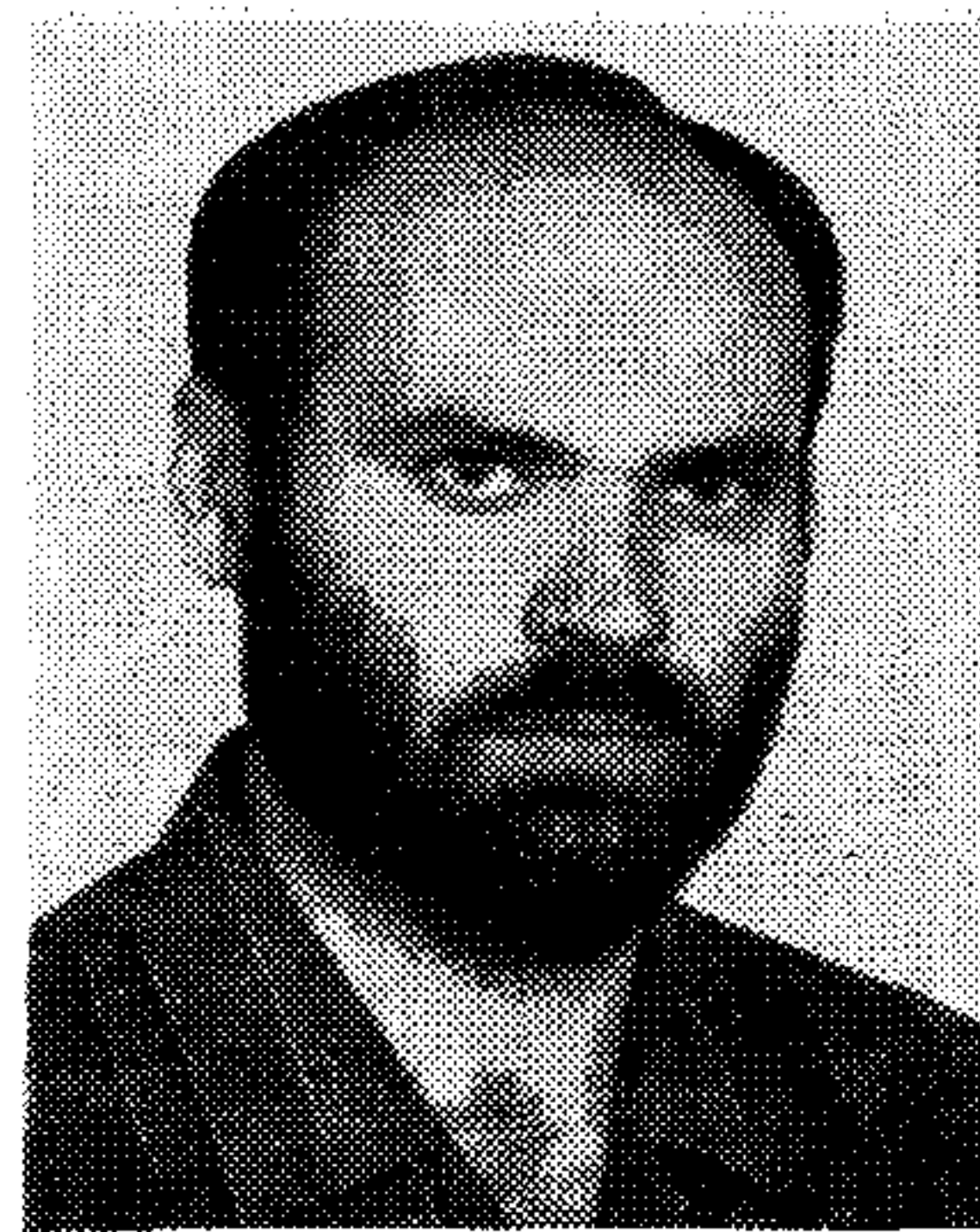
A továbbiakban az ilyen technológiai folyamat szabályozó és irányító adatfeldolgozó rendszerrel nem kívánunk foglalkozni, figyelmünket az integrált áramkörök mérésére, elsődlegesen a szeletmérésre összpontosítjuk.

Az IC fejlesztése során elsődleges feladat a maszknak — az integrált áramkör működésének — az ellenőrzése. Ehhez a szeletmérő mechanikához megfelelő mérőautomatát csatlakoztatunk, amely a mérőkártyán és tűkoszorún keresztül minden egyes csipet lemér. A mérés fejlesztési szakaszában a modellezés eredményeként kapott paraméterek az elsődlegesek. Ekkor még tág mérési határok között történik a válogatás. A maszk hibáinak felderítésére a csip belső pontjain is szükségessé válhat mérést végezni. Maszkhibák a tervezés és gyártás során keletkezhetnek, amelyek behatárolását hatásosan segítheti elő a szeletmérő rendszer.

A funkcionális működést elrontó véletlenszerű hibák közül a kristályhibákat, porszemek által okozott fotolitográfiai hibákat és a fémezés hibáit említjük meg [2].

A jó szeletmérési kihozatal érdekében meg kell határozni az egyes paraméterek mérési határait úgy, hogy valamennyi működő elem ki legyen választva. Ebből a célból a szelet valamennyi elemét lemérjük, és a mérési eredményeket hisztogramok formájában kiértékelve meghatározható az egyes paraméterek értékeinek eloszlása és szórása. Az egy szeleten mért szórás a szelettechnológia homogenitását, míg a sok szeleten hosszabb időintervallumban regisztrált paraméter átlagok és szórások értéke a stabilitást jellemzi.

A mérési határokat úgy kell optimalizálni, hogy adott szelettechnológiai paraméterterület betartása esetén a szeletmérési kihozatal optimális legyen. Amennyiben egy vagy több paraméter nem teljesíti a specifikációt — állandó technológiai feltételek mellett —, a maszk egyes elemeinek értékváltoztatása, esetleg újratervezése következik.



SVÁB PÉTER

1980-ban szerzett diplomát a BME Villamosmérnöki Karának híradástechnika szakán, majd az EIVRT félvezető fejlesztési főosztályán helyezkedett el, miközben folytatta tanulmányait az

egyetem nappali szakmérnöki tagozatán. Szakmérnöki diplomát 1983-ban szerzett, szakterülete a szeletmérés adatainak feldolgozása. Jelenleg a MEV analóg mérésfejlesztési osztályán dolgozik.

Ritkább esetben a kritikus elemek külső elemként való csatlakoztatásához vezethet.

Jó áramköri modellezés alapján a szűk toleranciájú alkatrészeket eleve külső elemként tervezik, korszerű technológia esetén pedig a szelet felületén utólag kapnak értékbeállítást pl. lézersugárral, amellyel igen kis paraméterterületet is jó kihozattal lehet garantálni. Egyes paraméterek megkövetelhetik a technológia fejlesztését, ami hosszadalmas és költséges, így csak nagy sorozat esetén gazdaságos.

Amennyiben a szeletmérés során az egyes csipek síkbeli helyét is paraméterként tekintjük, lehetővé válik a paraméterek szelet felületén való eloszlásának vizsgálata, ami a technológia inhomogenitási hibáinak felderítésére is használható (a mérőábrás szeletek mellett), amennyiben az egyes áramköri paraméterek kapcsolatban állnak a technológiai paraméterekkel.

Az elemek szétválogatását szolgáló festékponttal való megjelölés helyett az egyes szűk paraméterű elemek számítógép segítségével kiemelhetők a csipek egymástól való elválasztása után. A mérési eredmények hisztogramjai lehetőséget nyújtanak a normális gyártási szórásnál szűkebb mérési határok esetén a kihozatal meghatározására, így válogatással is előre kalkulálható az árnövekedés [3].

Különösen a fejlesztés során szükséges az egyes paraméterek hőmérséklet-függésének — az IC működőképességének hőmérséklet-tartománya — meghatározása. Egyes esetekben az IC-ben levő hőmérséklet mérő kapcsolások működésének ellenőrzésére, beállítására is szükség van.

A dinamikus paraméterek specifikációja szükségesé teszi lehetőséget szerint minél több dinamikus paraméter szeleten történő — gyakran a hőmérséklet függvényében — mérését, beállítását.

Ha a csipek jellemzői elérték a várt értékeket, a fejlesztés a szerelés-tokozás műveletével folytatódik. Mivel általában nem minden paraméter mérhető szelet alakban, gyakran a fejlesztés is igényel tokozott áramköröket.

A szerelés, tokozás során keletkező hibás (szakadt, zárlatos), vagy megváltozott paraméterű IC-k kiválogatása a készáru mérés folyamán történik.

A kész integrált áramkörök a megbízhatósági vizsgálatokra kerülnek, ahol előírt feltételek (klíma, hőmérséklet stb.) között vizsgálják a paraméterek változását. Megfelelő eredmények esetén ezer–tízezer darabos kísérleti gyártást indítanak. A kísérleti gyártás célja a beállított értékek reprodukálhatóságának vizsgálata és a jó kihozatalú gyártásnak a bizonyítása. A gyártás már csak mennyiségileg tér el a kísérleti gyártástól, azonos és állandó technológiát feltételezve a fejlesztéssel és kísérleti gyártással. A gyártás során a szeletek és a készáru mérése a fejlesztés során meghatározott határookra történik, a kidolgozott mérési elvek szerint.

A szerelés és tokozás költséghányada a késztermékben magas, ezért fontos, hogy a szeletmérés lehetőleg minden előírt paraméterre terjedjen ki.

A szeletmérő rendszerrel szemben támasztott követelmények

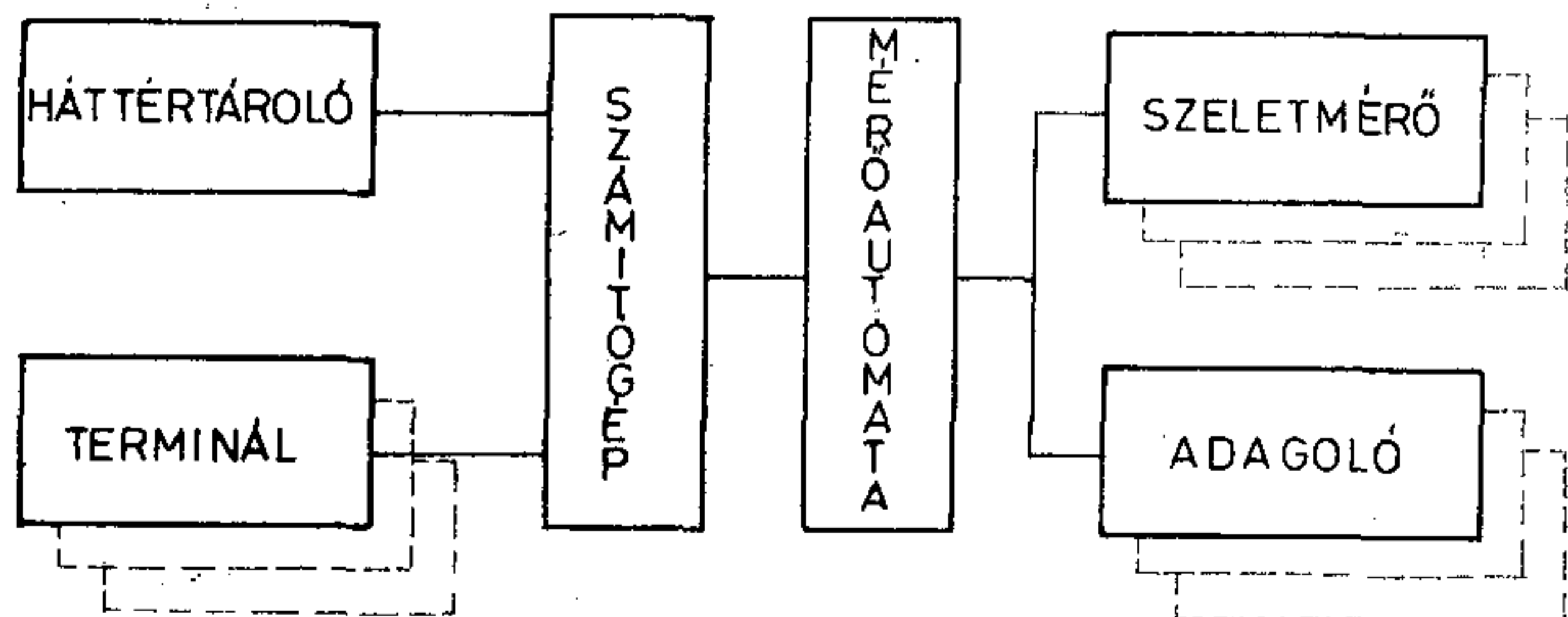
Az előzőekben láthattuk, milyen fontos szerepet játszik az IC-gyártás folyamatában a mérés, különösen a szeletmérés.

A továbbiakban azt vizsgáljuk, milyen igényeket kell támasztanunk a mérőrendszerrel szemben, hogy az hatékonyan szolgálhassa a fejlesztést és a gyártást [4], majd példaképpen bemutatunk egy rendszert, amelyet már hosszabb ideje sikerrel használunk a kihozatal és a minőség javításában és a tervezési folyamat lerövidítésében.

A félvezető eszközök tömeggyártása elkerülhetetlenül magával hozta a mérés automatizálását – megteremtette az automatikus mérőberendezések iparát és piacát [5].

Az egy csipen integrált funkciók egyre összetettebbek lettek, aminek természetes következménye volt, hogy a mérőberendezések is mind gyorsabbá és sokoldalúbbakká váltak. A mérések olyan sok adatot eredményeztek, hogy azok feldolgozása kézzel már nem lehetséges. Így természetes, hogy ma már az automatikus mérőberendezések számítógéppel vezéreltek, és az adatok redukcióját szintén számítógép (gyakran ugyanaz) végzi.

Az 1. ábrán egy tipikus mérőrendszert láthatunk, amely mind készáru, mind félvezető szeletek mérésére alkalmas.



1. ábra

1. ábra. Szelet és készáru mérésére alkalmas mérőberendezés felépítése

A továbbiakban csupán az adatfeldolgozás problémájával foglalkozunk, azt is a gyártó szemszögéből vizsgálva. Azt kell tehát szem előtt tartanunk, az adatkompressziós számítógép és programcsomag hogyan segíti elő

1. az IC technológia homogenitásának ellenőrzését;
2. az IC technológia stabilitásának vizsgálatát;
3. az esetleges technológiai vagy konstrukciós hibák behatárolását;
4. a kihozatal optimalizálását.

Az előzőekben láttuk, hogy mindegyik a szeletmérés a legalkalmasabb, hiszen a mért paraméterek hely szerinti eloszlása értékes információkat nyújthat, amely a csipek egymástól történő elválasztása után véglegesen elvész.

Vizsgáljuk meg az előző szempontok alapján, milyen igényeket kell támasztanunk a szeletmérés adatainak feldolgozásával szemben [6, 7]!

1. Az integrált áramkörök gyártási folyamatának stabilitását rövid és hosszú távon is vizsgálnunk kell. Az előző többnyire az egyes típusok szeletmérési adatainak statisztikus analízisével, míg a második inkább a tesztábrákon végzett mérések alapján minősíthető. Mindkettő feltételezi, hogy a számítógép nagy kapacitású, gyors háttértárolóval, valamint a statisztikus analízist hatékonyan elősegítő programcsomaggal rendelkezik.

2. Az esetleges technológiai hibák behatárolását egyrészt a paraméterek részletes statisztikus analízisével, másrészt a paraméterek és hibás csipek hely szerinti eloszlásának vizsgálatával végezhetjük (pl. maszk illesztetlenségi problémák, kezelési hiányosságok, egyenetlen diffúziós gáztér stb.).

A konstrukciós hiányosságok behatárolását is elősegítik a statisztikus vizsgálatok, de a rendszert alkalmas berendezéssel kiegészítve (amely lehetővé teszi az IC belső pontjain történő méréseket) a szeletmérés során a diszkrét áramkörök „belövésénél” megszokott módszereket is alkalmazhatjuk. Így a fejlesztési folyamatot nagy mértékben le lehet rövidíteni, ami különösen a berendezésorientált áramkörök tervezésénél fontos.

3. A kihozatal optimalizálása többnyire a specifikációs és gyártási toleranciák illesztésével történik [8]. Ehhez szintén alapvető kiindulásul kell, hogy szolgáljon a mért paraméterek részletes statisztikus analízise.

Vázlatosan összefoglalva az előző gondolatokat, a félvezető szeletmérés adatainak feldolgozását végző számítógéppel és programcsomaggal szemben a következő igényeket kell támasztanunk:

1. A számítógép álljon „on-line” kapcsolatban a mérőautomatával, rendelkezzen nagy kapacitású és gyors háttértárolóval, grafikus terminállal.
2. A programcsomag használata egyszerű legyen, tegye lehetővé a paraméterek részletes statisztikus analízisét, a szeleten történő hely szerinti eloszlásának megjelenítését.
3. A berendezés az adatokat a felhasználó számára gyorsan és könnyen áttekinthető formában bocsássa rendelkezésére.

A MEV-ben kifejlesztett és alkalmazott szeletmérő rendszer

A megelőző fejezetekben összefoglaltuk a szeletmérés főbb követelményeit, a rendszerrel szemben támasztott igényeket, amelyeket figyelembe vettünk az adatfeldolgozó számítógép hardver és szoftver kialakításakor. A 2. ábra a MEV-ben alkalmazott rendszer felépítésének vázlatát mutatja.

Látható, hogy az adatok kiértékelését és dokumentálását színes grafikus display, nyomtató és plotter segíti. A rendszer interaktív, a külvilággal az alfanumerikus terminál segítségével kommunikál. Számítógépként bármilyen nagy memóriakapacitású általános célú számítógép vagy mikrogép megfelel — amely képes kezelni a szükséges perifériákat is —, hiszen speciális igényeket csupán a szoftverrel szemben kell támasztanunk, így a továbbiakban erről szólnunk részletesebben.

Az adatok kiértékelésének folyamatát három szintre bontottuk:

1. gyors, áttekintő jellegű statisztikus vizsgálat;
2. részletes statisztikai analízis;
3. hely szerinti paraméter- és hibaeloszlás-vizsgálat.

Az 1. többnyire a technológiai stabilitás vizsgálatára szolgál, míg a 2., 3. fontos szerepet játszik a különböző hiányosságok okainak felderítésében. Mindhárom esetben lényeges, hogy a vizsgálatokat az adatok — tetszőlegesen megválasztott — rész-halmazain is elvégezhesük, hiszen pl. a széleken, hibás csipeken vagy tesztábrákon végzett mérések eredményei a számításokat teljesen meghamisítanak.

Az általunk használt program ezt úgy teszi lehetővé, hogy a mérések tetszőleges halmazára feltételeket lehet megadni, amely feltételek teljesülése esetén lesz csak az adott csip része a számítások elvégzéséhez bázisul szolgáló adathalmaznak. (Így pl. mód van kizárni azokat a csipeket, amelyek esetén az i_1, i_2, \dots, i_n sorszámú mérés valamelyike valamilyen feltételt nem elégít ki.)

A továbbiakban mindezt egy konkrét példán keresztül mutatjuk be.

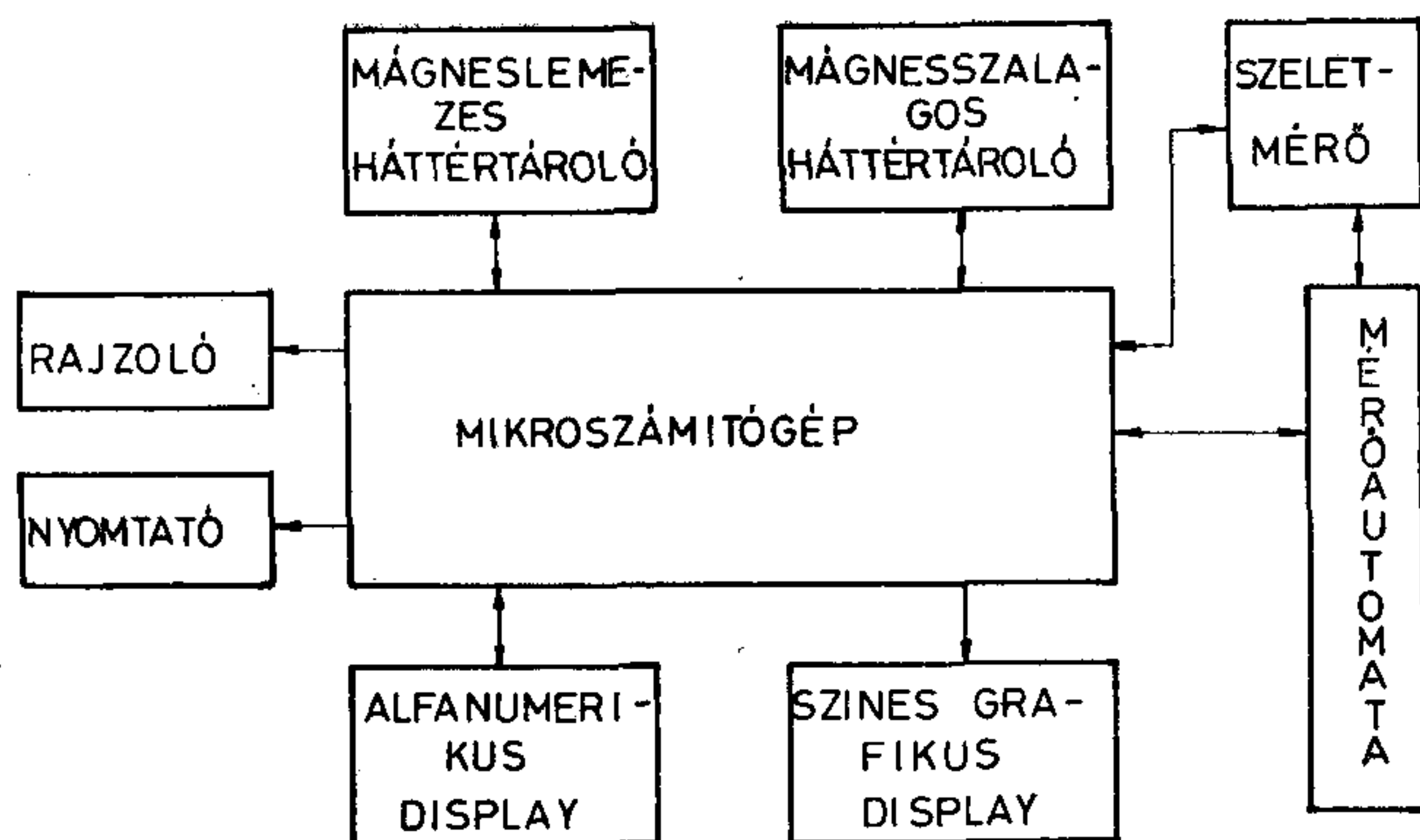
A szeletmérő rendszer alkalmazása

A technológia homogenitásának ellenőrzése

Mint már elmondtuk, a technológia homogenitásának vizsgálatára különböző tesztseleket is szoktak alkalmazni, azonban gyakran a gyártásban levő szelet lényegesen egyszerűbb (és főleg olcsóbb) erre a célra — ha a mért adatok hely szerinti eloszlásának gyors ábrázolása egyszerűen lehetséges.

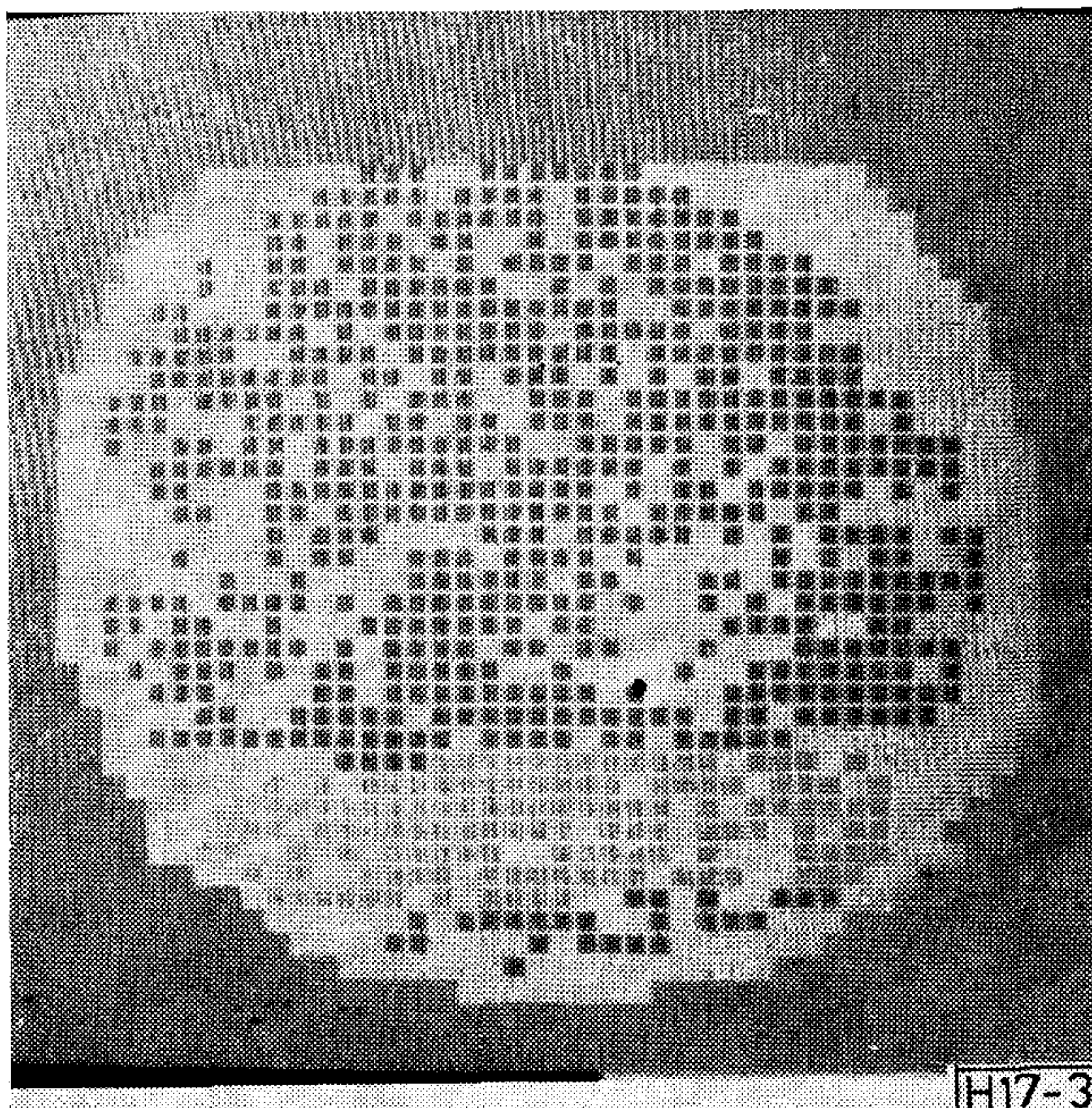
Az általunk alkalmazott rendszer erre egy színes grafikus display segítségével ad módot, ahol a különböző tartományokat különböző színek ábrázolják — így gyakran első pillantásra feltűnővé téve más módszerrel igen nehezen felderíthető hibákat is.

A 3. ábrán egy szelet oxid letörésének hely szerinti változását láthatjuk. Habár a nyomdatechnika nem tette lehetővé a színes szelettérkép bemutatását, fekete-fehérben is látható, hogy jól elkülöníthető,



H17-2

2. ábra. A MEV-ben alkalmazott szeletmérő rendszer



3. ábra. Oxid-letörési szelettérkép

különböző letörési feszültségű területek vannak a szeletben (pl. a széleken a letörési feszültség alacsonyabb). (A valóságban természetesen az egyes színek paraméter-intervallum értéke is leolvasható a displayről, itt — mivel a színek fekete-fehérben nem különböztethetők jól meg — a fényképről ezt lehagytuk.)

A különböző paraméterű tartományok behatárolása leggyakrabban az okokat is felfedi (maszk-elillesztés [9], gondatlan kezelés, rossz diffúziós gázáramlás).

A technológia stabilitásának ellenőrzése

Szeletmérő rendszerünk a technológia stabilitásának ellenőrzését a statisztikai számítások gyors elvégzésével segíti elő. Az egyes szeletek lemérése után néhány perc alatt elkészíti a mért adatok átlag, szórás táblázatát (4. ábra), amit az előző szeletek hasonló táblázataival összehasonlítva percek alatt ellenőrizhető, hogy a technológiai körülmények nem változtak-e meg.

Amennyiben ez a vizsgálat hibát jelez, annak behatárolásához részletesebb analízis szükséges.

MERES	KIHOZATAL	MINIMUM	MAXIMUM	ATLAG	SZORAS		
1.:U1/20 (V)	91.66%	00.00	03.82	02.20	00.94	(	01.00 00.00)
2.:U2/20 (V)	89.88%	00.00	03.72	02.16	00.88	(	01.00 00.00)
3.:U3/20 (V)	90.03%	00.00	03.66	02.14	00.86	(	01.00 00.00)
4.:U4/20 (V)	90.62%	00.02	03.64	02.12	00.88	(	01.00 00.00)
5.:U5/20 (V)	90.62%	00.00	03.60	02.12	00.84	(	01.00 00.00)
6.:U6/20 (V)	90.62%	00.00	03.58	02.10	00.84	(	01.00 00.00)
7.:U7/20 (V)	90.92%	00.02	03.56	02.10	00.82	(	01.00 00.00)
8.:U8/20 (V)	90.92%	00.02	03.54	02.08	00.84	(	01.00 00.00)
9.:U9/20 (V)	90.92%	00.00	03.54	02.08	00.82	(	01.00 00.00)
10.:U10/20(V)	91.07%	00.00	03.50	02.08	00.80	(	01.00 00.00)

H17-4

6. SZ./2. OXID LETORES

1984. 01. 19.

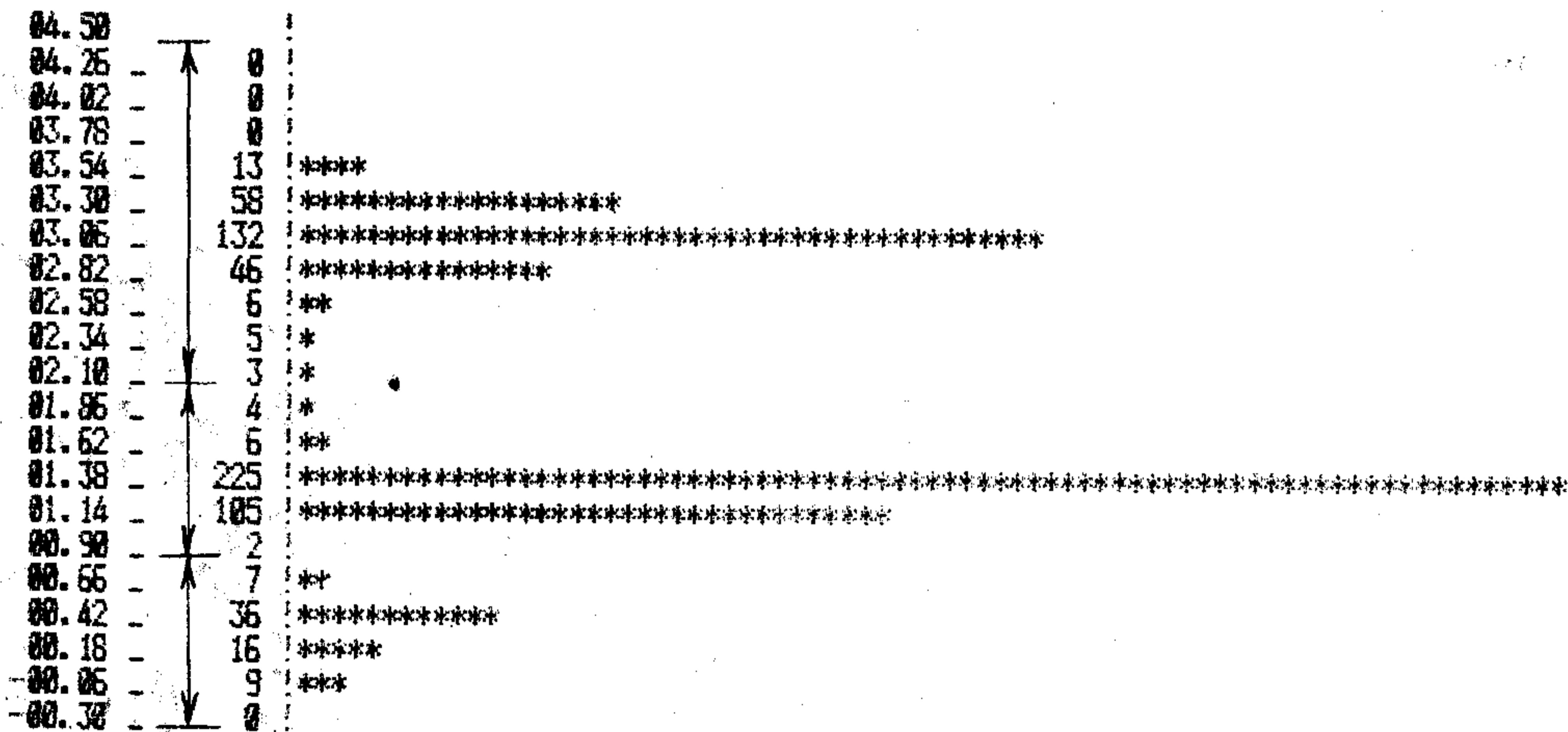
MERESEK SZAMA: 10

LEMERT CHIPEK SZAMA: 673

INTERVALLUMOK SZAMA= 20

2.: U2/20 V

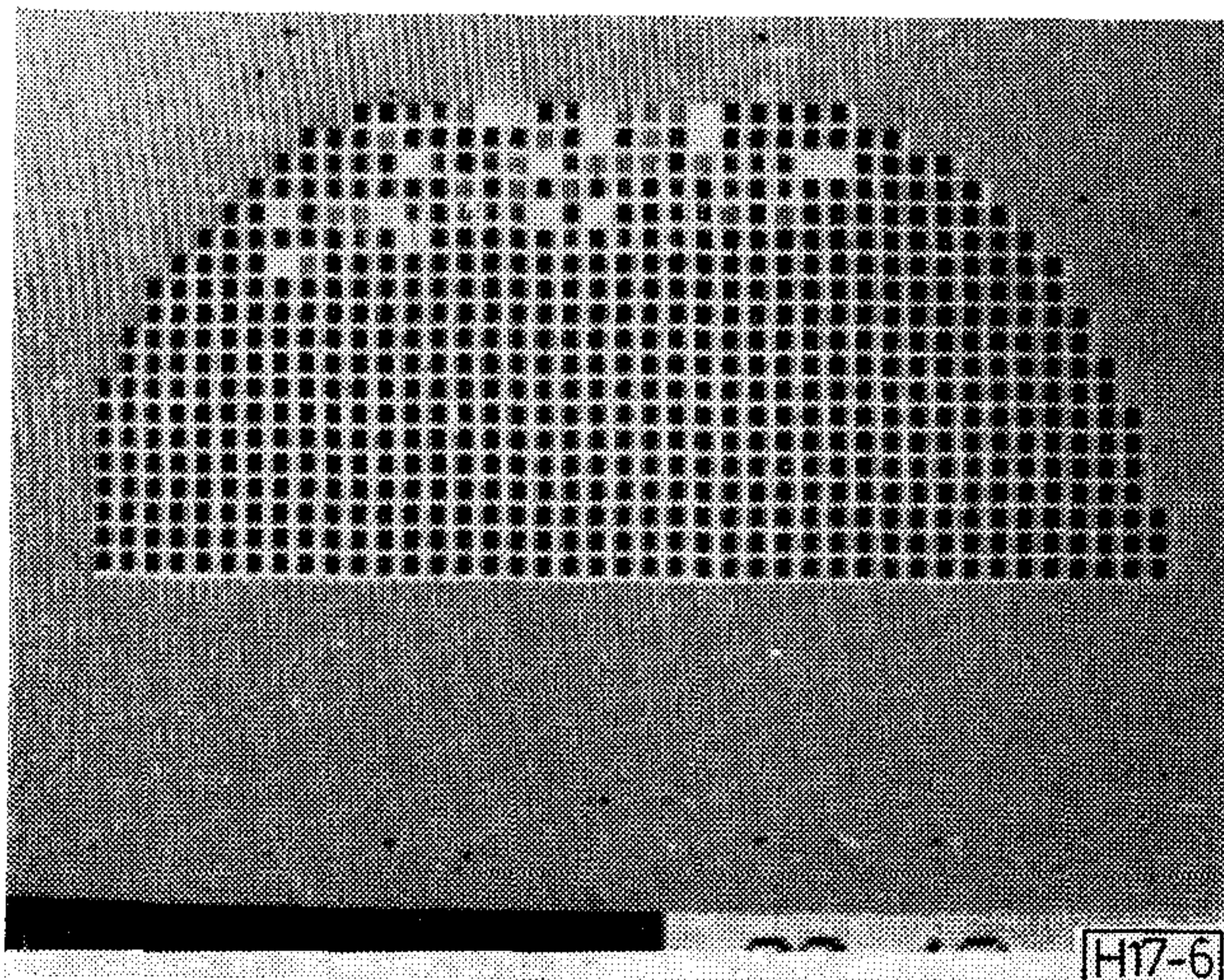
3 DB/OSZTAS



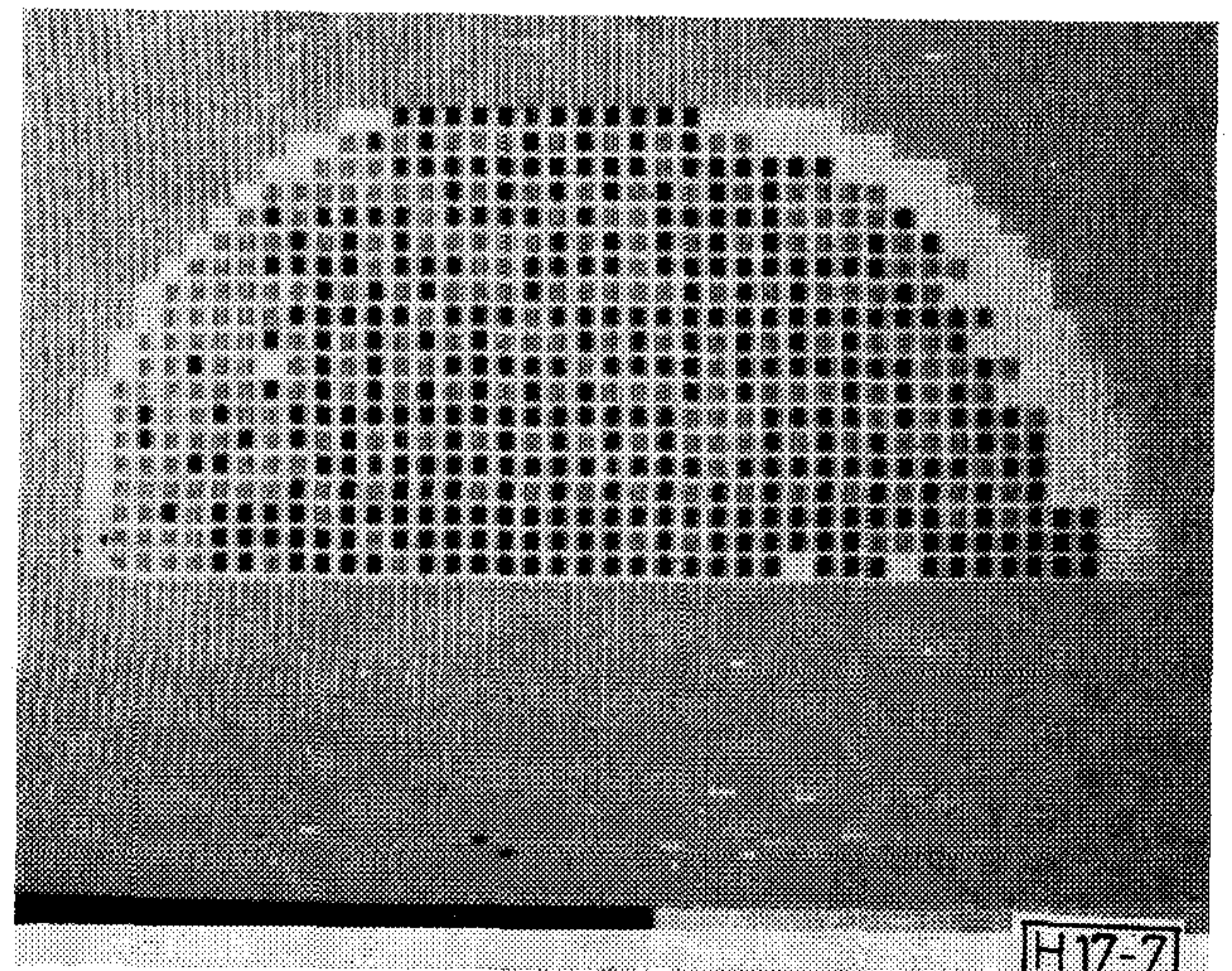
AZ ADOTT HATAROKRA (-00.30 - 04.50) SZAMITOTT KIHOZATAL= 100 % 673 DB , ATLAG= 01.98 , SZORAS= 01.00

5. ábra. Oxid-letörési hisztogram

H17-5



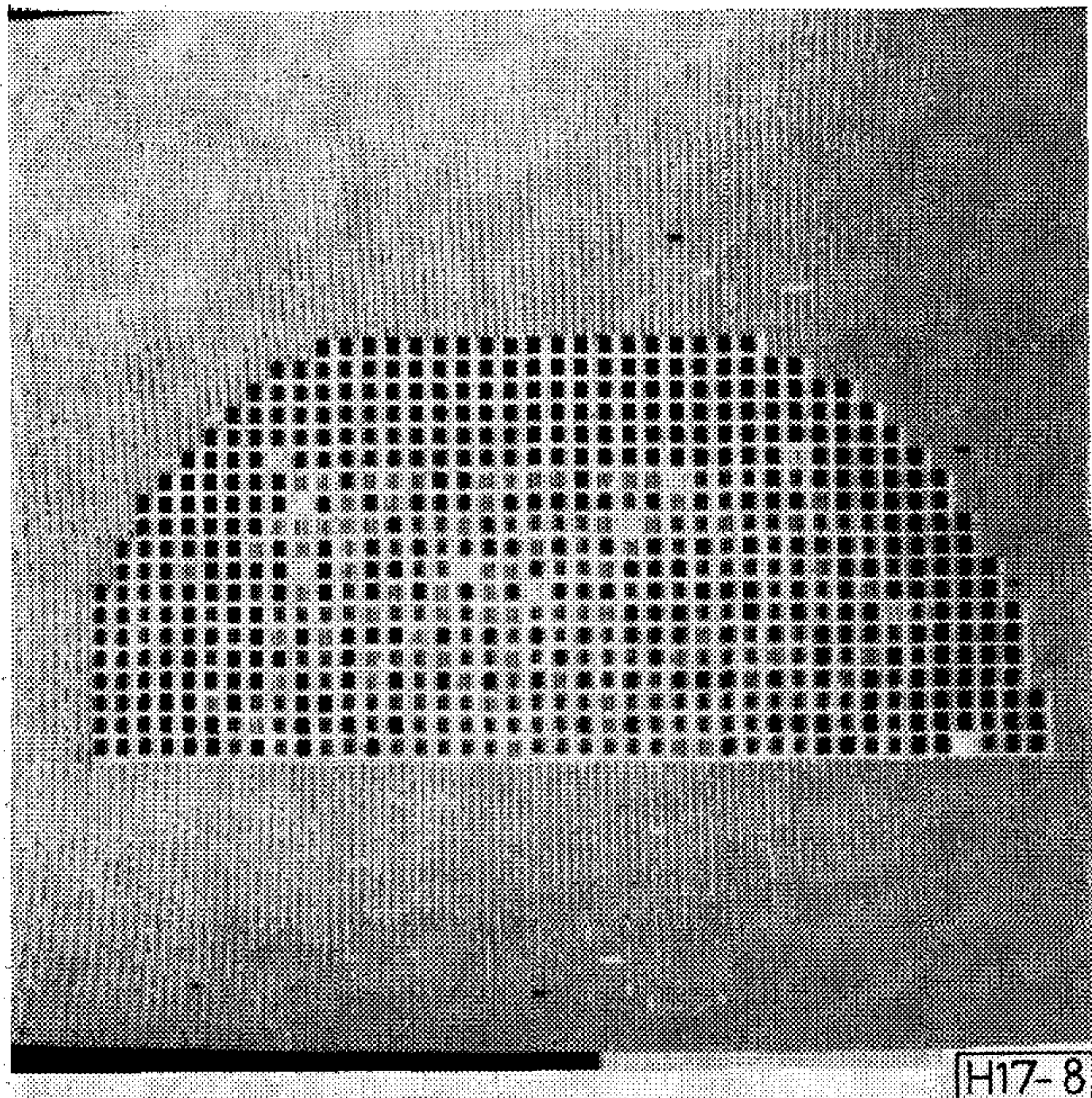
H17-6



H17-7

6. ábra. Oxid-letörési szelettérkép — a kezelési terület

7. ábra. Oxid-letörési szelettérkép — a szelet szélső területe



8. ábra. Oxid-letörési szelettérkép — a szelet belső területe

Technológiai hibakeresés

A technológia hiányosságainak felderítése meglehetősen körülményes és drága feladat, amit ráadásul gyorsan kell végezni, hiszen minden idővesztés további selejtet — tehát önköltség-növekedést — okoz. Ha valamilyen hiba jelentkezik a gyártásban levő szeleten vagy tesztszeleten, célszerű a vizsgálatot a mért paraméterek empirikus sűrűségfüggvényeinek vizsgálatával (hisztogram) kezdeni.

Az 5. ábra egy oxid-letörést ellenőrző tesztszelet hisztogramját mutatja. Első látásra meglepőnek tűnik, hogy a görbének három „púpja” van, azaz három érték körül csoportosul a statisztikus sokaság. Ennek oka nem lenne kideríthető, ha nem vizsgálnánk meg a paraméterek hely szerinti eloszlását, mégpedig mindhárom „púpot” külön-külön. A megfelelő intervallumokat a hisztogramon nyilak jelölik, amelyekkel kívül eső értéket a szelettérképen piros (fekete-fehérben a legsötétebb árnyalat) jelöli.

A 6. ábrán látható a 0...0,9, a 7. ábrán a 0,9...2,1, a 8. ábrán a 2,1...4,5 mérési határokhoz tartozó érték, amelyekből könnyen kitűnik, hogy a legalacsonyabb letörési feszültség a kezelési területen jelentkezik, a széleken valamivel magasabb és csupán a fél szelet közepén megfelelő az értéke, ahol azonban még egyéb — pontszerű — hibák is jelentkeznek.

Sajnos a vizsgálat nem minden esetben ilyen egy-

szerű és egyértelmű, de legtöbbször a szelettérkép jelentősen megkönnyíti a technológusok feladatát.

A kihozatal optimalizálása

A kihozatal optimalizálása a gyártási és specifikációs toleranciák illesztését (középpontosítását) igényli, amelyhez természetesen elsődleges feladat ismerni a gyártás szórását és a paraméterek eloszlását. Ehhez a rendszer által felrajzolt hisztogramok nyújtanak nagy segítséget (5. ábra).

Összefoglalás

Az előzőekben áttekintettük vázlatosan az IC-fejlesztés és gyártás folyamatát, és láthattuk, hogy a mérésnek — de különösen a szeletmérésnek — a jelentősége meghatározó a gazdaságosságban és a minőségben. A továbbiakban a szeletmérést vizsgáltuk az adatkiértékelés szempontjából, majd bemutattuk a MEV-ben alkalmazott szeletmérő adatfeldolgozó számítógépet.

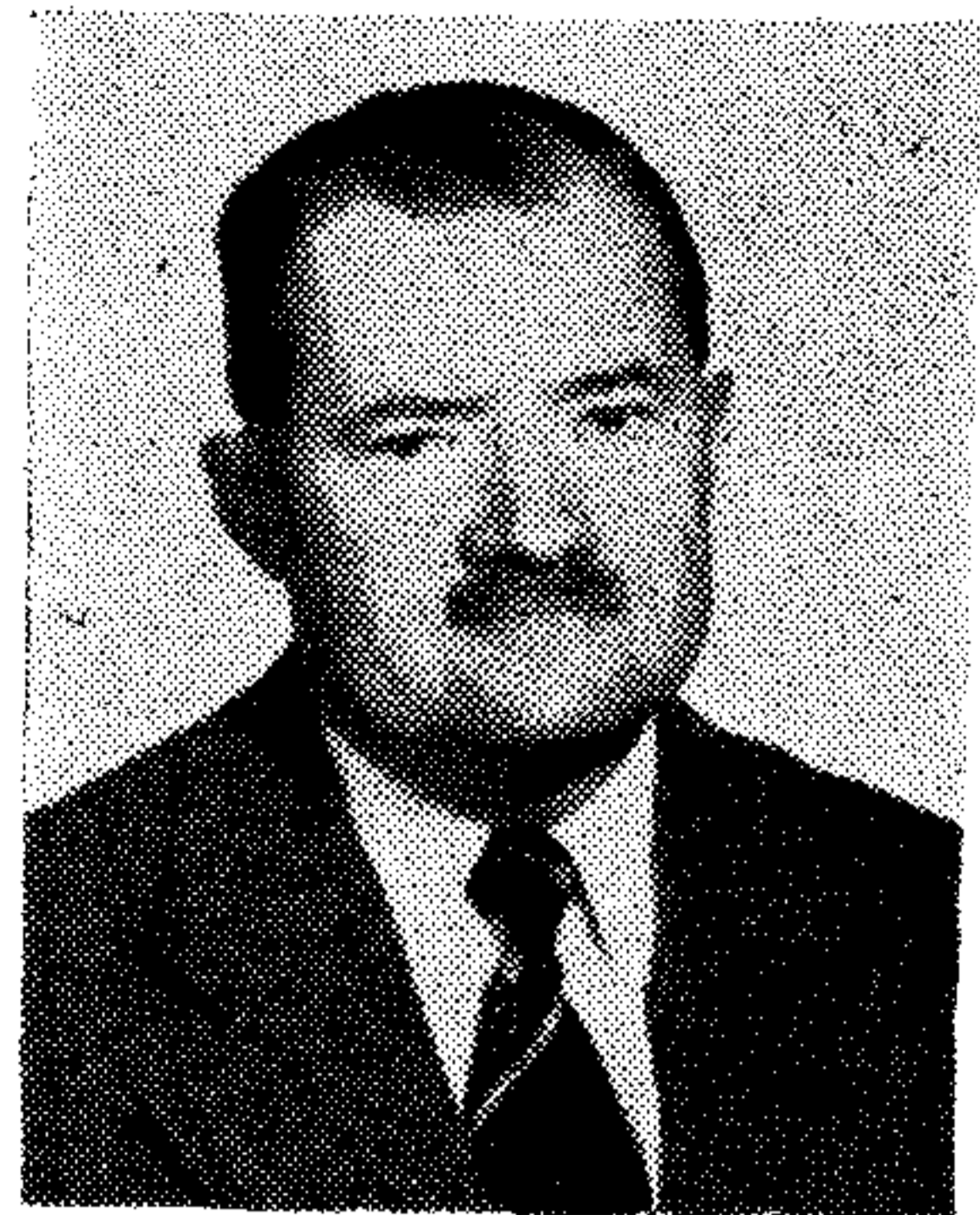
Természetesen nem lehet azt állítani, hogy a szeletmérés adatainak kiértékelése egy csapásra megoldaná meglévő technológiai problémáink nagy részét, valószínű azonban, hogy szerepet játszhat mind a gazdasági, mind a műszaki tervezésben, de legfőképpen a selejt elleni küzdelemben.

I R O D A L O M

- [1] C. H. Stapper: LSI yield modeling and process monitoring. IBM J., pp. 228–234, May, 1976.
- [2] T. Yanagawa: Yield degradation of IC-s due to spot defects. IEEE Trans. on Electron Dev., pp. 190–197., Feb. 1972.
- [3] M. R. Gullett: A practical method of predicting IC yields. Semicond. International, pp. 87–94, March 1981.
- [4] T. Goto, N. Manabe: How Japanese manufacturers achieve high IC reliability, Electronics, pp. 140–146, March 1980.
- [5] J. D. Hutcheson: Semiconductor testing requirements in the 1980s. Solid-State Technology, pp. 133–137, Aug. 1980.
- [6] J. M. Charles, M. W. Lantz: Applications of high speed data acquisition for semiconductor device yield analysis — I. Solid-State Technology, pp. 119–121. March 1982.
- [7] J. M. Charles, M. W. Lantz: Applications of high speed data acquisition for semiconductor device yield analysis — II. Solid-State Technology, pp. 247–250, Apr. 1982.
- [8] Gefferth L.: Elektronikus áramkörök gyártási selejtjének csökkentése. Híradástechnika, 1982. aug.
- [9] C. S. Kim, W. E. Ham: Yield area analysis; part II. RCA Review, pp. 565–577, Dec. 1978.

Josephson-effektus alkalmazása a mikrohullámú tartományban

DR. KENDERESSY MIKLÓS
Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A Josephson-effektus alig 20 éve ismert a technikában, azóta azonban világszerte nagyon intenzív kutatás folyik az alkalmazása érdekében. Fő alkalmazási területe a híradástechnika és a számítástechnika, de alkalmazzák a mérés technikában is különleges célokra. A mikrohullámú technikában rezgés-keltőként, detektorként, keverőként és erősítőként lehet felhasználni. Közvetlen rezgés-keltőként ritkán alkalmazzák a Josephson-átmenetet, mert az így előállítható teljesítmény nagyon kicsiny. A cikk ezért csak a további alkalmazásokkal foglalkozik részletesebben. Detektorként való felhasználás esetére megtalálhatók a számítási alapok és konkrét mérési eredmények is. Keverőként és erősítőként való alkalmazásnak csak az elméleti alapjai vannak adva, a gyakorlati alkalmazásról egy külön cikk fog beszámolni.

Bevezetés

Alig több mint 20 éve, hogy B. D. Josephson elméletileg megállapította az azóta róla elnevezett effektus létezését, és ezen rövid idő alatt a jelenséget nemcsak kísérletileg igazolták, hanem számos területen alkalmazzák is. Ezzel egyidőben azonban nagyon intenzív kutató munka folyik világszerte a technológia javítása és az alkalmazhatóság szélesítése érdekében. A Josephson-effektus mikrohullámú alkalmazásával foglalkoznak a Münchener Műszaki Egyetem Nagyfrekvenciás Tanszékén is, ahol alkalmam volt ebben a munkában közreműködni. Az itt szerzett tapasztalatakról ad rövid áttekintést ez a cikk.

A Josephson-effektus elve röviden

1913-ban Heike Kamerlingh Onnes felfedezte a szupravezetést [1], vagyis azt a jelenséget, hogy igen alacsony hőmérsékleten (néhány Kelvin-fok) egyes fémek ellenállása gyakorlatilag zérusra csökken. Ennek a jelenségnek a magyarázatát csak több mint 40 évvel később sikerült megadni. Ennek lényege az, hogy míg normál vezetés esetén az áramvezetést elektronok végzik, addig szupravezetési állapotban speciális elektronpárok, melyeket felfedezőjükről Cooper-pároknak neveztek el [2]. A Cooper-párok főbb jellemzői:

- a benne levő elektronok impulzusa ellenkező, ezért az eredő impulzus zérus
- a két elektron spinje is ellenkező, ezért az eredő spin is zérus,
- a Cooper-párok tömege kétszeres elektron-tömeg,
- a Cooper-pár töltése kétszeres elektron-töltés,
- egy szupravezetőben levő valamennyi Cooper-pár azonos fázisban mozog,

DR. KENDERESSY MIKLÓS

1958-ban szerzett a Budapesti Műszaki Egyetemen gyengeáramú villamosmérnöki oklevelet. Munkáját a Távközlési Kutató Intézetben kezdte, ahol jelenleg is dolgozik. Első szakterülete mikrohullámú műszerek fejlesztése volt. E témában elért új eredményeiért 1962-ben egyetemi doktori címet kapott, 1967-ben pedig megszerezte a műsza-

ki tudományok kandidátusa címet is. 1969 óta foglalkozik mikrohullámú berendezések tervezésével. Ezen a téren elért eredményeiért 1978-ban Állami Díjat kapott. 1963 óta részt vesz az egyetemi oktatásban, munkásságáért c. egyetemi docensi fokozatot kapott. 1958 óta tagja a MATE-nak, jelenleg elnökségi tag és a mikrohullámú szakcsoportot vezeti. A Virág-Pollák-díj tulajdonosa.

- egy szupravezetőben levő valamennyi Cooper-pár igyekszik azonos energiaszinten tartózkodni,
- a Cooper-párban résztvevő elektronok távolsága 10^{-6} – 10^{-7} m, ezért a kötési energiájuk nagyon kicsiny, kb. 10^{-3} eV,
- Cooper-párok csak akkor tudnak fennmaradni, ha a termikus energia kisebb, mint ez a 10^{-3} eV, vagyis nagyon alacsony hőmérsékleten.

A szupravezetés elméletét tanulmányozva 1962-ben Josephson igen jelentős megállapítást tett [3]. Eszerint tunnel-átmenet esetén is tud szupravezetés létrejönni, vagyis a szupravezetést biztosító Cooper-párok szigetelő rétegen is át tudnak jutni, ha ez a réteg elegendően vékony, 1–2 nm. Ez az ún. Josephson-egyenáram. Ez az egyenáram úgy folyik keresztül az átmeneten, hogy közben feszültség nem esik rajta, vagyis tisztán szupravezetésről van szó.

Még jelentősebb Josephson másik megállapítása. Eszerint, ha az átmeneten egyre növekvő áramot vezetünk keresztül, akkor egy I_c kritikus érték fölött feszültség lép fel az átmeneten, de ezzel egyidejűleg igen nagyfrekvenciás rezgés is keletkezik, melynek frekvenciája ettől a feszültségtől függ:

$$f = \frac{2e}{h} U_s, \quad (1)$$

ahol e — az elektron töltése: $1,60219 \cdot 10^{-19}$ C,
 h — a Planck-féle állandó: $6,6256 \cdot 10^{-34}$ Js.

Ebből a frekvencia:

$$f = 483,593718 \pm 0,000\ 060 \text{ GHz/mV.}$$

Láthatóan nagyon kis feszültségek esetén is igen nagy frekvenciaértékek adódnak. Ez a Josephson-váltó-

Beérkezett: 1984. VIII. 28. (□).

áram alapjellemezője, mely sok különböző alkalmazását teszi lehetővé.

A Josephson-effektus fellépéséhez nem kell feltétlenül tunnel-átmenetet alkalmazni. A lényeg az, hogy két szupravezető között valamilyen laza csatolás legyen, melyen keresztül a szupravezetőkben levő Cooper-párok hullámfüggvényei átlapolódhatnak. Ilyen laza csatolást lehet biztosítani vékony szigetelőréteggel, vagy keskeny vezetőszalaggal, túlérintkezővel, sőt egy forrasztóon-cseppel is, mely „hideg” forrasztást teremt két vezető között. Egy ilyen átmenetet a következőképpen lehet jellemezni. Az 1 és 2 szupravezetők mindegyikében szoros fáziskorrelációban levő Cooper-pár rendszer van. Az egyszerűség kedvéért legyen a két szupravezető azonos, vagyis a két Cooper-pár rendszer azonos. Amikor a két rendszer teljesen szét van választva, akkor ezek jól meghatározott állapotban vannak. Minthogy azonos rendszerekkel foglalkozunk, ezért feltételezhetjük, hogy azonos körülmények között, azonos állapotban vannak. Minden ilyen állapothoz egy konstans erejéig hozzárendelhetünk egy E energiaszintet. A kvantummechanika tanítása szerint minden ilyen E energiának megfelel egy belső frekvencia: $\nu = E/h$. Ezért a Cooper-pár rendszert egy koherens rezgő rendszernek tekinthetjük.

Ezután hozzuk kapcsolatba a két szupravezetőt egy vékony szigetelő rétegen keresztül, akkor azok Cooper-párokat tudnak cserélni. Ezáltal a két rendszer csatolásba került a Cooper-párok révén. A csatolás azonban nagyon gyenge, vagyis a Cooper-párok átjutásának valószínűsége még nagyon vékony szigetelő esetén is csekély. A két Cooper-pár rendszernek ebben a gyenge csatolásban rejlik a különlegessége. A csatolás általában azt jelenti, hogy a két rendszer állapota, éppen a cserélődés következtében, időben változik. A rendszerek közötti fáziskülönbség a csere-folyamat nagyságától és irányától függ. Tunnel átmenet esetére azt mondta Josephson, hogy

$$I_s = I_{s \max} \sin(\varphi_2 - \varphi_1), \quad (2)$$

ahol $I_{s \max}$ — az átmeneten folyó maximális Josephson-áram. Ennek nagysága kizárólag a szigetelő tulajdonságaitól (a szigetelő szélességétől, magasságától) függ. φ_1 és φ_2 rendre az átmenettől jobbra és balra levő Cooper-pár rendszerek fázisa.

Ha a Josephson-átmenet $I_{s \max}$ maximális szupra-áram értékét túllépjük, akkor U_s feszültség marad az átmeneten. Ebben az esetben az átmeneten nagyfrekvenciás rezgés fog megjelenni. A Josephson-átmenet tehát nagyfrekvenciás generátorként működik, melynek frekvenciája az egyenfeszültségtől függ. A maximálisan várható kimenő teljesítmény azonban nagyon kicsiny, 10^{-8} W nagyságrendben van. A Josephson-átmeneten megjelenő nagyfrekvenciás rezgés frekvenciája a (2) egyenletből határozható meg. A (2) egyenlet kapcsolatot teremt az átmeneten folyó szupraáram és a szigetelőréteg két oldalán levő Cooper-párok fázisa között. Ha most U_s feszültséget hozunk létre az átmeneten, akkor ez a Cooper-párok számára $\Delta E = 2e \cdot U_s$ energiakülönbséget jelent. Amikor a Cooper-pár a szigetelőrétegen keresztül a negatív oldalról a pozitívra átmegy, akkor ezt az energiát tudja felvenni a feszültségforrásból.

Az atomfizika tanítása szerint azonban a két Cooper-pár rendszer közötti energiakülönbség egy frekvencia-különbségnek felel meg az (1) egyenlet szerint. Ha a két rendszer különböző, de időben állandó frekvencián rezeg, akkor a két rendszer közti fázis időben lineárisan változik. A $\Delta\varphi$ fáziskülönbség a következő:

$$\Delta\varphi = 2\pi f \cdot t = 2\pi \frac{2e \cdot U_s}{h} \cdot t. \quad (3)$$

Itt feltételeztük, hogy $t=0$ időben $\Delta\varphi$ is nulla. Ez a feltétel azonban nem jelent különösebb korlátozást, mert itt csak a különbségek számítanak. Nyomatékosan alá kell húzni, hogy a (3) egyenlet független a két Cooper-pár rendszer energiájának abszolút értékétől, csak az energiakülönbségnek van jelentősége. Ha az idővel lineárisan növekvő $\Delta\varphi$ fáziskülönbségünk van, akkor a (2) egyenletből azonnal következik, hogy az átmeneten váltakozó áramnak is kell folyni, melynek nagysága:

$$I_s = I_{s \max} \sin\left(2\pi \frac{2e \cdot U_s}{h} \cdot t\right). \quad (4)$$

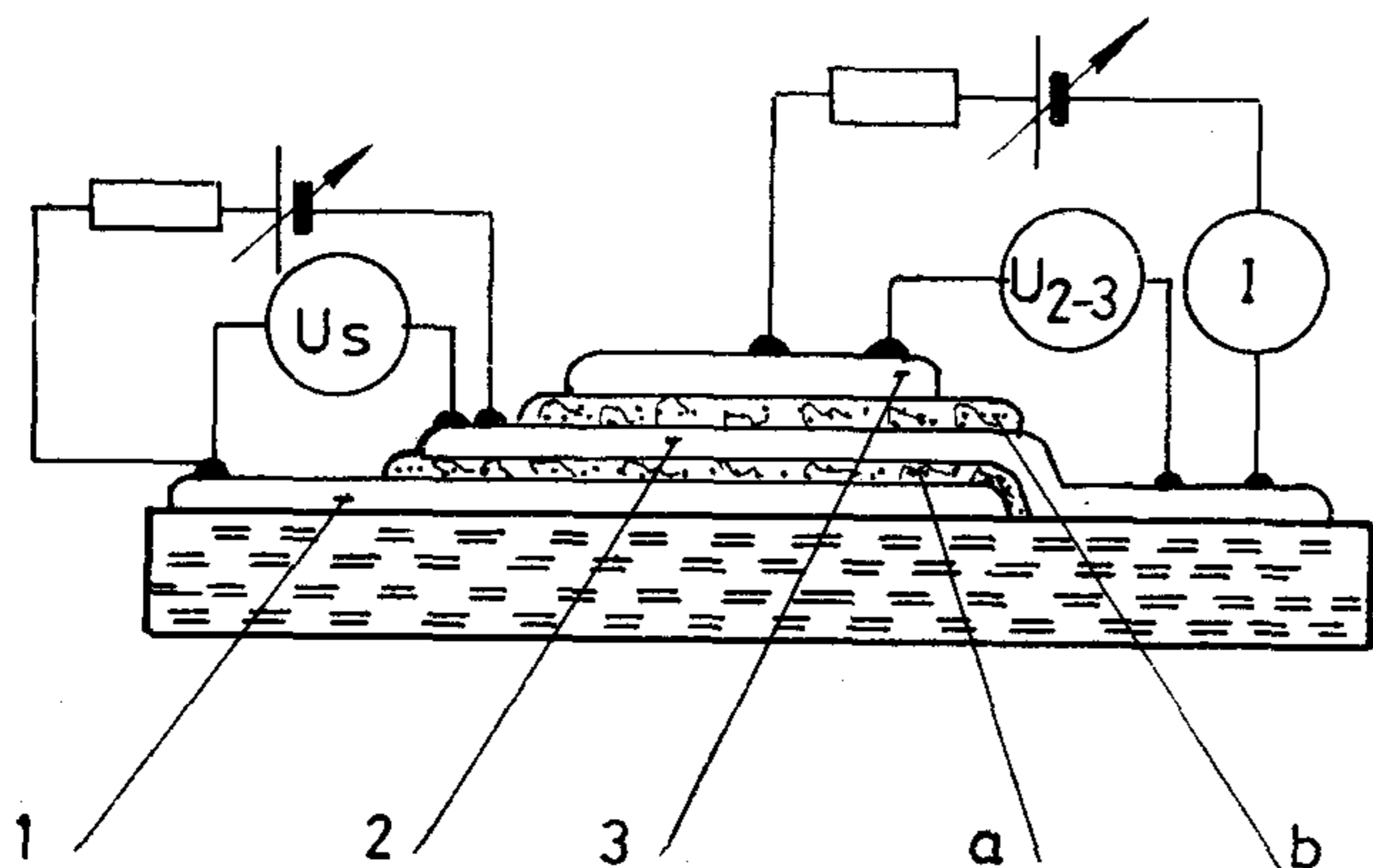
Ennek a váltakozó áramnak a frekvenciája tehát az átmeneten levő U_s feszültségtől függ. Itt rögtön meg kell említeni ennek mérés-technikai jelentőségét. Minthogy napjainkban a frekvenciamérést tudjuk legpontosabban elvégezni, ezért a Josephson-váltakozóáram lehetőséget nyújt nagyon pontos feszültségmérésre.

A Josephson-váltakozóáramról közvetlenül nehéz meggyőződni, mert egyrészt ez a teljesítmény nagyon kicsiny, másrészt mert nagyon nehéz kicsatolni egy megfelelő tápvonalba. A Josephson-váltakozóáram létezését először indirekt módon bizonyították [4]. Ha egy ilyen átmenetet mikrohullámú térbe helyezünk, akkor az áram—feszültség karakterisztikán egyenlő távolságokban levő lépcsőket kapunk. A feszültséglépcsők távolsága, ΔU_s , megfelel egy nagyfrekvenciás rezgésnek:

$$\nu_M = \frac{2 \cdot e}{h} \cdot \Delta U_s. \quad (5)$$

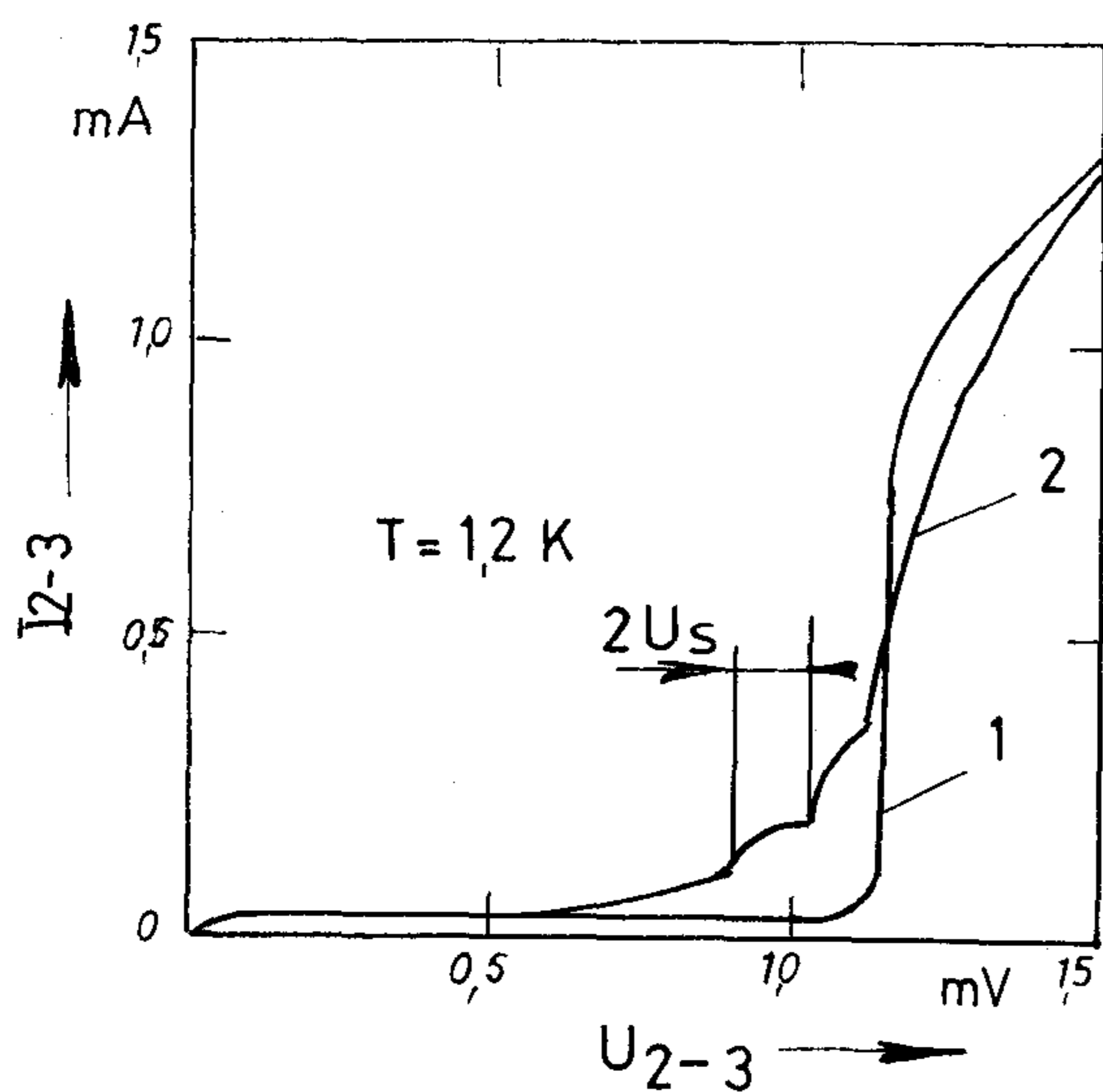
Ezek a lépcsők a Josephson-váltakozóáram és a külső mikrohullámú tér egymásra hatásából származnak. Amikor a Josephson-váltakozóáram frekvenciája megfelel a külső mikrohullámú frekvencia valamelyik többszörösének, akkor egy járulékos Josephson-egyenáram lép fel, ami a lépcsős szerkezetet okozza. Ezeknek a lépcsőknek a meghatározását a következő fejezet tartalmazza részletesebben.

A Josephson-váltakozóáram első közvetlenebb bizonyítása Giaevernek sikerült 1965-ben [5]. Mint említettük, a közvetlen megfigyelésnek egyik nehézsége az energia kicsatolásában rejlik, egy szokásos nagyfrekvenciás rendszer esetén. Giaever abból indult ki, hogy egy második tunnel-elrendezés közvetlenül a Josephson-átmenet mellett bizonyára kedvező csatolást fog biztosítani. A kicsatolt teljesítmény megjelenését akkor fogjuk tapasztalni, ha a második átmenet karakterisztikája megváltozik a besugárzott nagyfrekvenciás jel hatására. Ezt a hatást használta fel Giaever a Josephson-váltakozóáram kimutatására. Az ő módszere azért közvetlenebb, mert az egyik



H19-1

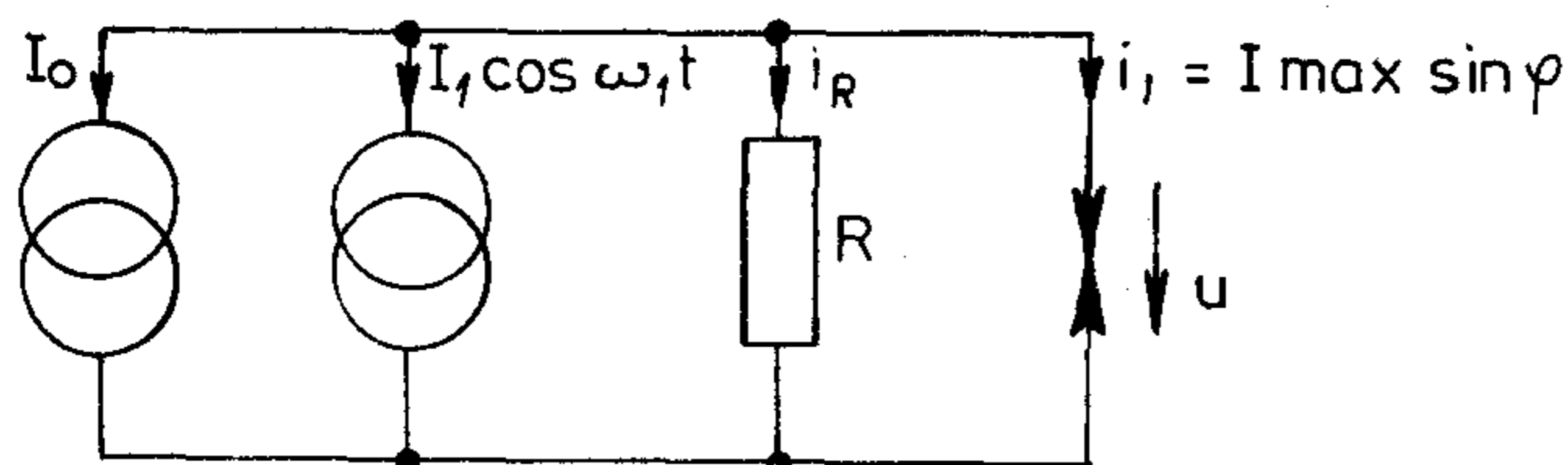
1. ábra. Giaever elrendezése. 1, 2 és 3 ónrétegek, a és b szigetelő rétegek. Az a és b vastagsága úgy van megválasztva, hogy 1 és 2 között Josephson-átmenet alakuljon ki, 2 és 3 között viszont Josephson-áram ne tudjon fellépni



H19-2

2. ábra. Giaever elrendezésének 2–3 rétegre jellemző karakterisztikák:

- 1 — nincs feszültség az 1–2 átmeneten
- 2 — 0,055 mV feszültség van az 1–2 átmeneten



H19-3

3. ábra. A vizsgálandó helyettesítő kép. Áll magából a Josephson-átmenetből, a túérintkező veszteségi ellenállásából és két áramgenerátorból

átmenetben fellépő rezgés jelenlétét egy másik átmenetben mutatja ki. Ehhez egy olyan elrendezést készített, mely sematikusan az 1. ábrán látható.

Az 1. és 2. ónréteg között nagyon vékony oxidréteg van, ezért ez az elrendezés egy Josephson-átmenetet alkot. Ezzel szemben a 2. és 3. ónréteg között olyan vastag oxidréteg van, hogy ott Josephson-hatás ne tudjon fellépni. A 2–3 átmeneten egy szokásos tunnel-karakterisztikát lehet mérni, ami az elektronvezetésnek felel meg, ha az 1–2 átmeneten nincs feszültség. Ez látható a 2. ábra 1 jelű görbéjén. A döntő kísérlet abból áll, hogy az 1–2 Josephson-átmenetre kicsiny U_s feszültséget kapcsolunk. Ha ebben az átmenetben váltakozó áram keletkezik, akkor a viszonylag jó csatolás miatt a 2–3 karakterisztikában az ismert változásnak kell bekövetkeznie. Ezt a változást Giaever meg tudta figyelni. A 2. ábra 2 jelű görbéje ezt a karakterisztikát mutatja. Az 1–2 átmeneten, mely a nagyfrekvenciás teret gerjesztette, ekkor $U_s = 0,055$ mV feszültség volt. Ennek megfelelő frekvencia:

$$\nu_J = \frac{2 \cdot e}{h} U_s \approx 31 \text{ GHz.}$$

A karakterisztikán levő lépcsők távolsága pedig $2U_s$ kell legyen:

$$\Delta U_{2-3} = \frac{h \cdot \nu_J}{e} = 2 \cdot U_s = 0,11 \text{ mV.}$$

A Giaever által megfigyelt karakterisztika lépcsői pontosan ekkorák voltak. (Megjegyezzük, hogy az (1) szerinti képletbe egyszeres elektrontöltést kellett beírni, mert itt a vezetést nem Cooper-párok, hanem elektronok végzik.)

A Josephson-váltakozóáram közvetlen megfigyelése először egy szovjet [6] és egy amerikai [7] kutató csoportnak sikerült úgy, hogy a teljesítményt egy nagyfrekvenciás tápvonalba csatolták ki. Nagyon nagy érzékenységet kellett elérni, kb. 10^{-11} W nagyságú teljesítményt kellett mérni. Az elért érzékenység azonban 10^{-16} W volt.

Mindezeket a kísérleteket csak 1960 után sikerült elvégezni. Akkor azonban gyönyörűen igazolták az elmélet helyességét. Ily módon az elektronok Cooper-párokká való egyesülését és a köztük levő szigorú korrelációt egyaránt be lehetett bizonyítani.

A Josephson-átmenet mint mikrohullámú detektor

Az ideális Josephson-átmenetet a következő egyenletek jellemzik [8, 9]:

$$\begin{aligned} i(t) &= I_{\max} \sin \varphi(t), \\ \frac{\partial \varphi(t)}{\partial t} &= \frac{2 \cdot e}{h} \cdot u(t). \end{aligned} \quad (6)$$

Véges hőmérsékletek mellett a szupravezetőben a szupravezetési áram mellett normál áram is fellép. Ez a normál áram disszipatív jellegű és hatására az átmeneten feszültség jelenik meg. Túérintkezős átmenet esetén ez a normál áram már nagyon kis feszültségnél fellép, és arányos a feszültséggel, mintha

az átmenettel párhuzamosan egy lineáris ohmos ellenállás is volna.

Vizsgáljuk azt az esetet, amikor a Josephson-átmeneten az egyenfeszültségen kívül egy ω_1 frekvenciás mikrohullámú feszültség is van. A feszültség ekkor a következőképpen írható fel:

$$u(t) = U_0 + U_1 \cos \omega_1 t. \quad (7)$$

Az átmeneten folyó áram ekkor [10] szerint:

$$i(t) = I_{\max} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n \left(\frac{2eU_1}{h\omega_1} \right) \sin [(\omega_0 + n\omega_1)t + \varphi_0], \quad (8)$$

ahol $\omega_0 = \frac{2e}{h} U_0$ és J_n a közönséges n -ed rendű Bessel-függvény. Ha az U_0 feszültség $n \frac{h\omega_1}{2 \cdot e}$ értékeket vesz

fel, akkor az áramnak egyenáramú komponensei is lesznek, melyek az U_1/U_0 -tól a Bessel-függvény szerint függenek. Ezek a diszkrét U_0 értékeknél fellépő egyenáramú komponensek hozzáadódnak az átmenet egyenáramú karakterisztikájához és lépcsőket képeznek az áram értékében. Ennek a lépcsőzött áram-feszültség karakterisztikának a meghatározására alkalmazunk egy egyszerű helyettesítő képet.

A 3. ábra mutatja a vizsgálandó helyettesítő képet. A Josephson-átmenettel párhuzamosan van az R veszteségi ellenállás. Egy áramforrás szolgáltatja az I_0 áramot. A mikrohullámú teret az I_1 amplitúdójú áramgenerátor jelképezi. Erre a kapcsolásra érvényes a következő egyenlet:

$$I_0 + I_1 \cos \omega_1 t = \frac{1}{R} u(t) + I_{\max} \sin \varphi(t). \quad (9)$$

Vezessük be a következő normalizált értékeket:

$$\alpha_0 = \frac{I_0}{I_{\max}} \quad \alpha_1 = \frac{I_1}{I_{\max}} \quad (10)$$

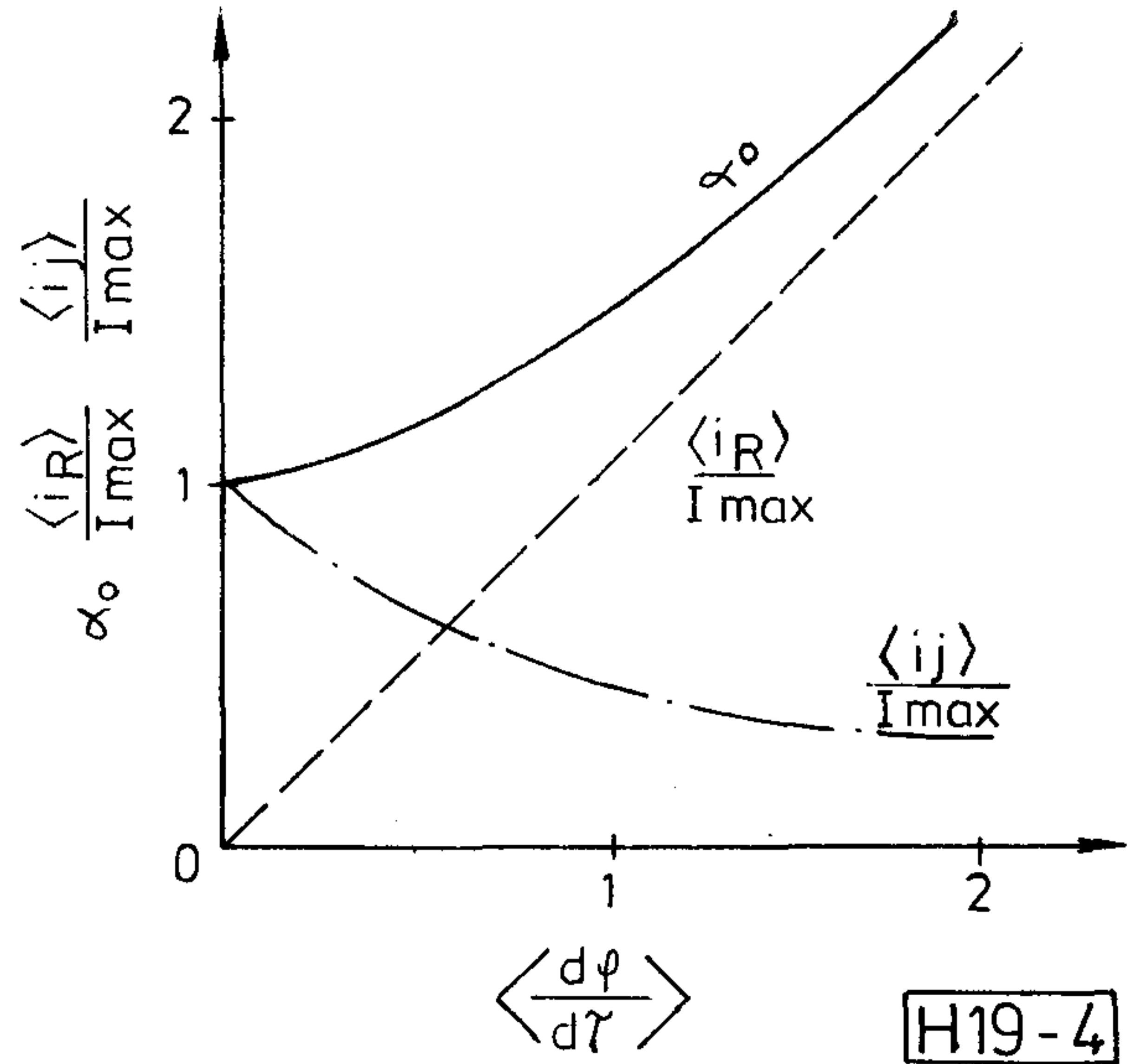
$$\Omega = \frac{2 \cdot e}{h} R \cdot I_{\max} \quad (11)$$

$$\xi_1 = \frac{\omega_1}{\Omega} \quad \tau = \Omega \cdot t,$$

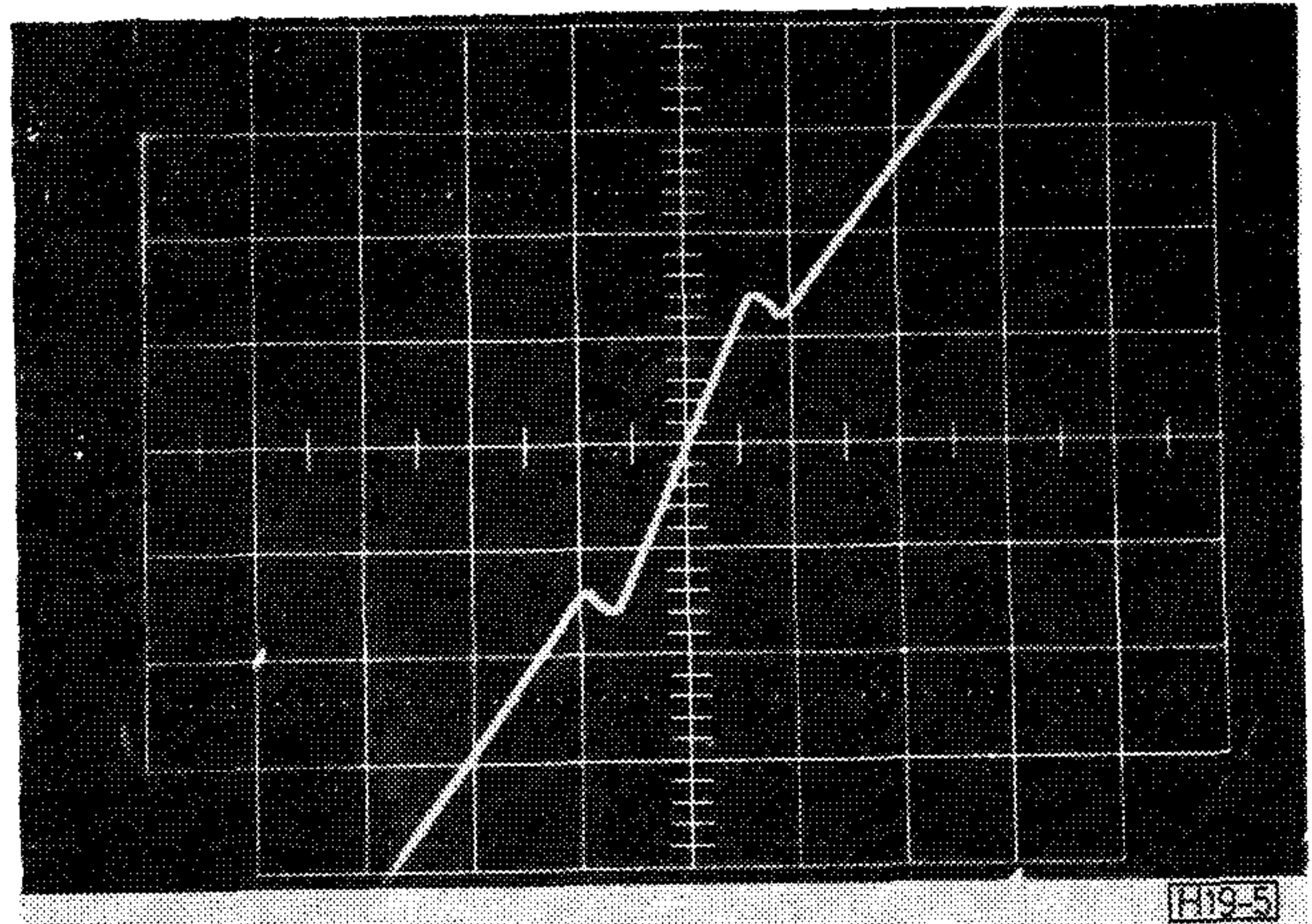
akkor felhasználva a (6b) egyenletet is, a következőt kapjuk:

$$\alpha_0 + \alpha_1 \cos(\xi_1 \cdot \tau) = \frac{d\varphi}{d\tau} + \sin \varphi(t). \quad (12)$$

Mikrohullámú jel nélkül ($\alpha_1 = 0$) az egyenáram két komponensből tevődik össze, abból, amely közvetlenül az R veszteségi ellenálláson folyik, és a Josephson-átmeneten folyó egyenáramból. Ez látható a 4. ábrán. Ez az ábra egy Josephson-átmenet tipikus áram-feszültség karakterisztikáját mutatja mikrohullámú besugárzás nélkül. Mindkét tengelyen normalizált értékek vannak feltüntetve a (6) és (10) egyenletek szerint. Egy Nb-Nb tús átmenet ténylegesen mért karakterisztikája az 5. ábrán látható. Az adott összeállításban a függőleges lépték $20 \mu\text{A}/\text{osztás}$, a vízszintes lépték pedig $500 \mu\text{V}/\text{osztás}$. Az ábrán jól látható a feszültség hirtelen ugrása, amikor az áram túlhaladja az átmenet I_c kritikus értékét. Ez



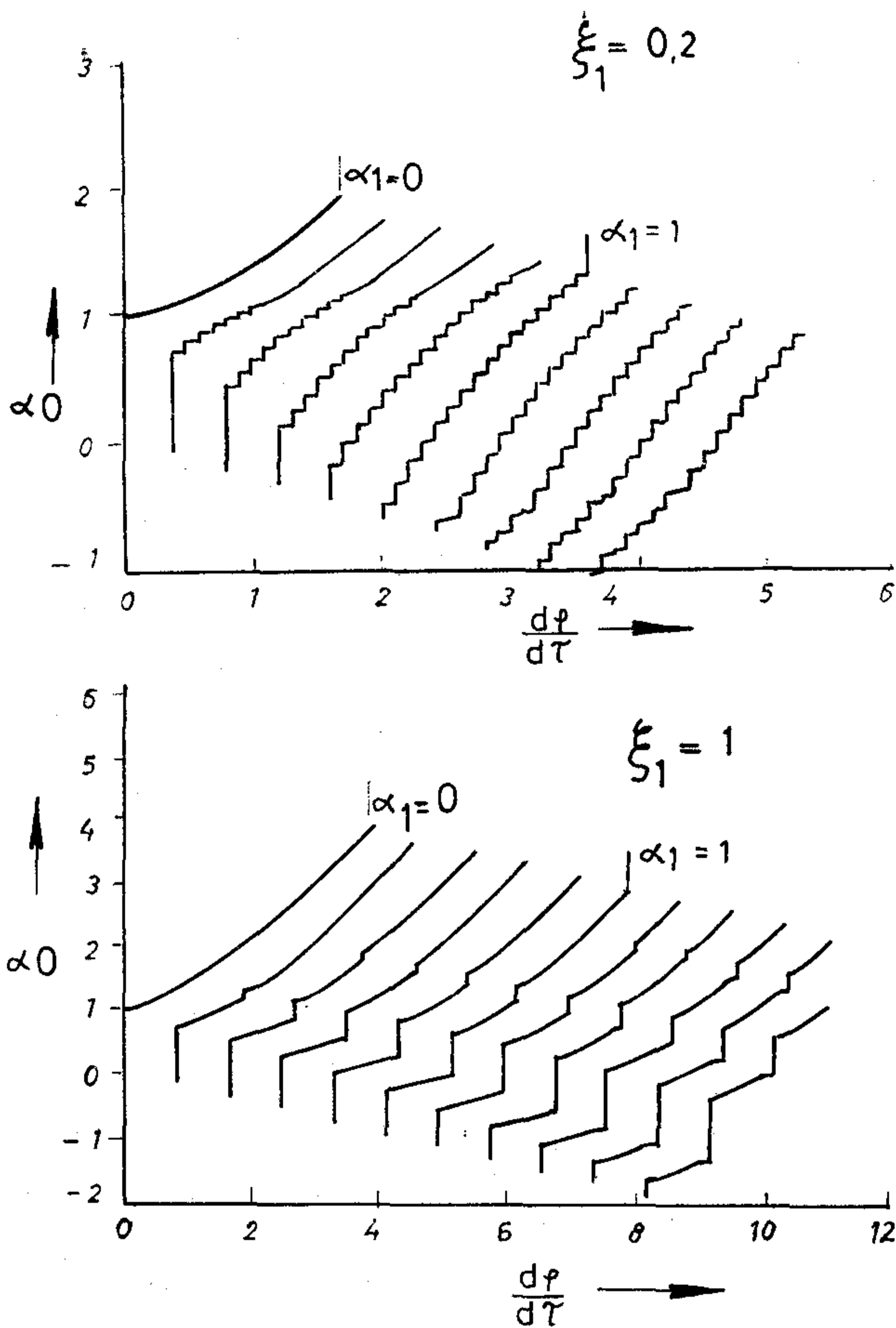
4. ábra. Túérintkezős átmenet áram-feszültség karakterisztikája mikrohullámú sugárzás nélkül. Az áram összetevődik az i_R normál-egyenáramból és az i_J Josephson-áramból



5. ábra. Niobium túérintkezős átmenet mért karakterisztikája

jellemző a tús átmenetre. Az ábrából az is látszik, hogy a Josephson-átmenetnek nincs polaritása. Bármilyen irányú áramvezetés lehetséges. A meghajtó fűrészáram 0-ra szimmetrikus, ezért az ábrán pozitív és negatív irányban egyaránt látható egy-egy ugrás.

Abban az esetben, amikor mikrohullámú tér is kerül az átmenetre, az egyenfeszültség karakterisztikát számítógéppel célszerű számolni [11]. Az egyenáramú karakterisztika mikrohullámú tér jelenléte esetén α_1 -től és ξ_1 -től függ. ξ_1 értékét a besugárzott mikrohullámú jel frekvenciája, és a Josephson-átmenet maximális árama és veszteségi ellenállása szabja meg. A számítás eredménye a 6. ábrán látható, ahol két görbesereg van feltüntetve $\xi_1 = 0,2$ és 1 esetére. Az áram értékében lépcsők jelentkeznek, egymástól konstans távolságra levő értékeknél. Egy 26–40 GHz tartományban végzett kísérlet eredménye látható a 7. ábrán. A Josephson-átmenet egy csőtápvonalba van építve, és ezen tápvonalon keresztül jut rá a mikrohullámú jel. Az oszcilloszkóp fel-



H19-6

6. ábra. Egy Josephson-átmenet számított egyenáramú karakterisztikája párhuzamos veszteségi ellenállás esetén

vételen jól látszanak a mikrohullámú jel hatására fellépő áramlépcsők. A lépcsők nagysága a mikrohullámú jel teljesítményétől függ.

Az egyenáramú karakterisztika lépcsőzetessé válása teszi lehetővé, hogy a Josephson-átmenetet mikrohullámú detektorként alkalmazzuk. Detektor célokra hídelemek és tús átmenetek egyaránt jól alkalmazhatók, mert ezeknél az átmenetknél az egyenáram monoton módon nő az egyenfeszültséggel, és sem instabilitások, sem hiszterézis nem lép fel. Nagyfokú érzékenységet kis ξ_1 értékeknél lehet elérni. A Bessel-függvények sorfejtéséből látható, hogy kicsiny α_1 esetén a nulladik áramlépcső négyzetesen, az első áramlépcső pedig lineárisan változik α_1 függvényében. Ezért kicsiny mikrohullámú jelek esetén a Josephson-átmenet a nulladik áramlépcsővel négyzetes detektorként viselkedik. Minthogy a nulladik áramlépcső nem függ a frekvenciától, ezért a Josephson-átmenet itt széles sávú detektor. Ezzel szemben az első áramlépcsőnél a Josephson-átmenet lineáris detektorként viselkedik. Minthogy az első áramlépcső helye függ a frekvenciától, ezért itt az átmenet keskeny sávú detektorként működik. A 8. ábrán egy detektált mikrohullámú jel látható. A mikrohullámú jel négyszögmodulált, és kb. -50 dBm nagyságú. A Josephson-átmenet pedig négyzetes detektor üzemben működik.

Josephson-átmenet alkalmazása keverőként

Nagyfokú nemlinearitásuk miatt a Josephson-átmenetek nagyon jól alkalmazhatók mikrohullámú keverőként. Az $i(t)$ áram és $u(t)$ feszültség közti kapcsolatot Josephson-átmenet esetén a (6) egyenletek írják le. Két mikrohullámú frekvencia besugárzása-kor az átmeneten az alábbi feszültség lép fel:

$$u(t) = U_0 + U_1 (\cos \omega_1 t + \varphi_1) + U_2 \cos (\omega_2 t + \varphi_2), \quad (13)$$

ahol U_0 a rákapcsolt egyenfeszültség és U_1, U_2 pedig az ω_1 és ω_2 körfrekvenciájú váltakozó áram amplitúdói. A (6) és (13) egyenletekből az áram értéke [12]:

$$i(t) = I_{\max} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_m \left(\frac{2eU_1}{h\omega_1} \right) J_n \left(\frac{2eU_2}{h\omega_2} \right) \cdot \sin [(\omega_0 + m\omega_1 + n\omega_2)t + \varphi_0 + m\varphi_1 + n\varphi_2]. \quad (14)$$

Itt J_n ismét a közönséges n -ed rendű Bessel-függvény. Egyenáram azoknál a diszkrét egyenfeszültségeknél lép fel, ahol:

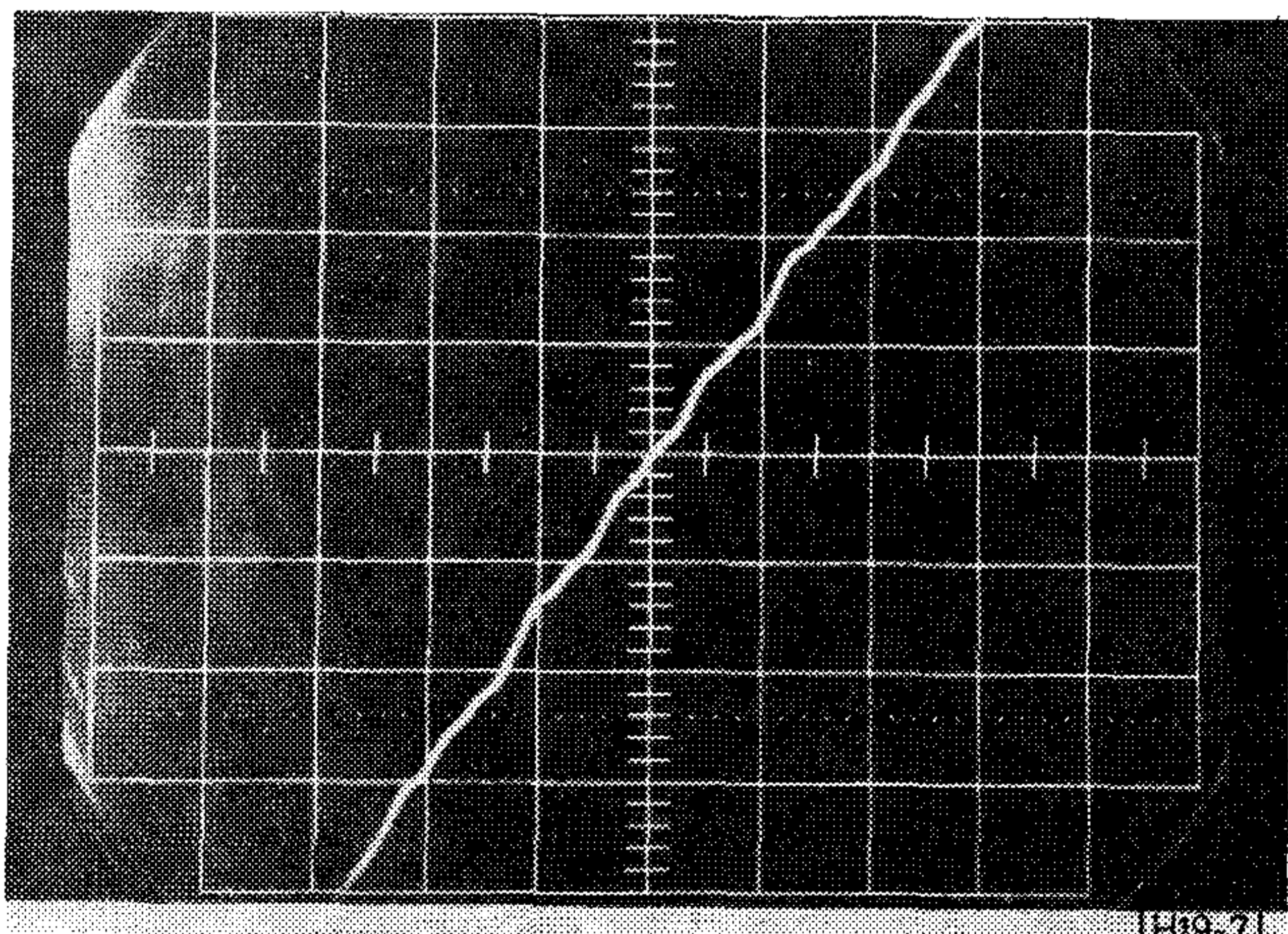
$$U_{\text{okl}} = \frac{h(k\omega_1 + l\omega_2)}{2 \cdot e}, \quad (15)$$

az áram értéke ekkor:

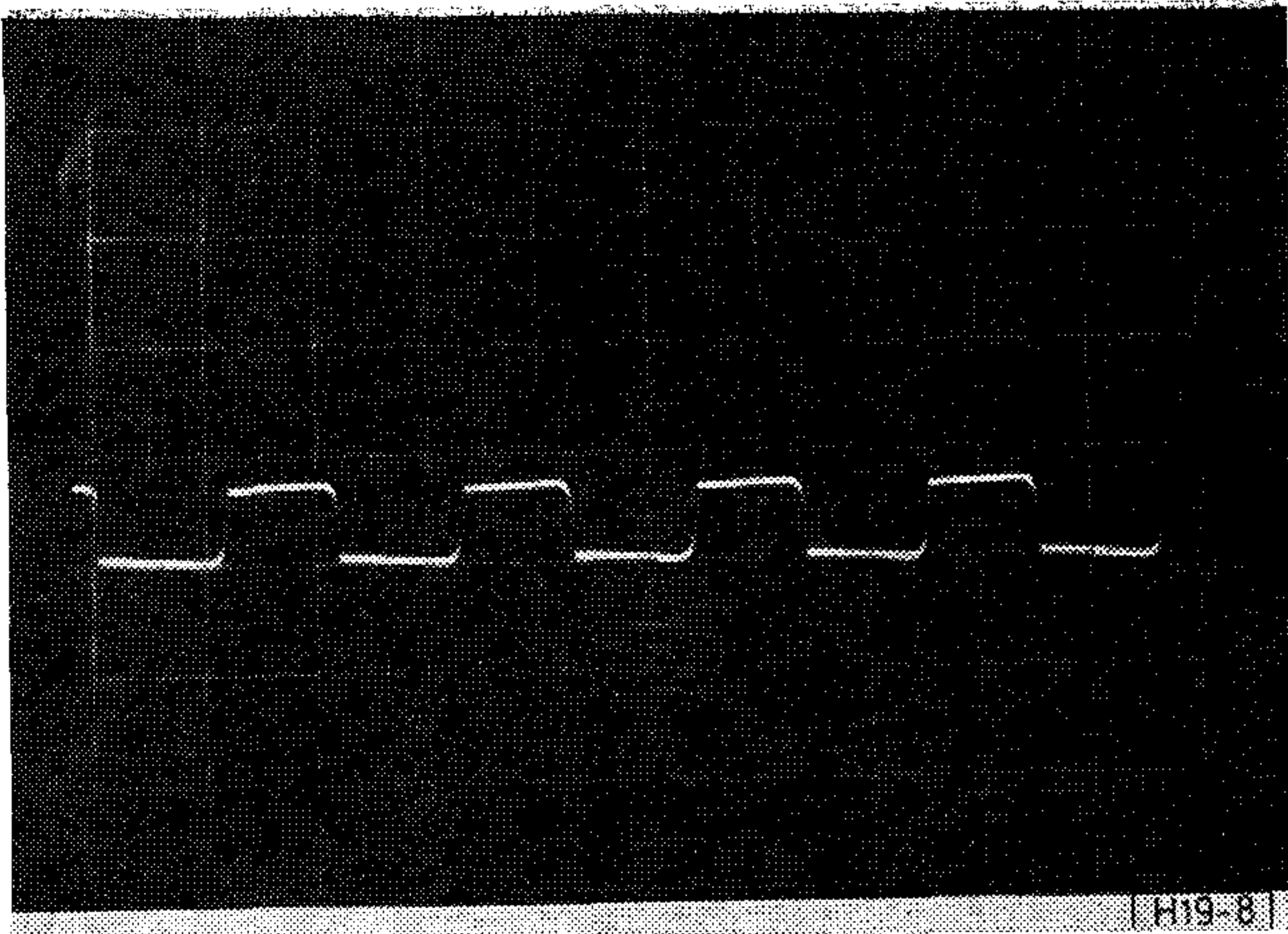
$$I_{\text{okl}} = I_{\max} J_k \left(\frac{2eU_1}{h\omega_1} \right) J_l \left(\frac{2eU_2}{h\omega_2} \right) \cdot (-1)^{k+l} \cdot \sin (\varphi_0 - k\varphi_1 - l\varphi_2). \quad (16)$$

Egyenáramú komponensek olyan feszültségeknél lépnek fel, melyek megfelelnek a besugárzott frekvenciáknak, azok felharmonikusainak vagy keverési terméküknek. A (14) egyenletből következik, hogy a Josephson-áramnak egy ω_0 körfrekvenciás komponense van, φ_0 fázisszöggel. A két besugárzott frekvencia keverékének is van egy ω_0 -os komponense, melynek fázisszöge $(k\varphi_1 + l\varphi_2)$. Az I_{okl} egyenáramú komponens nagysága ezeknek a fázisoknak a különbségétől függ. Ha U_{okl} változtatásával változtatjuk az I_{okl} áramot, akkor a $(\varphi_0 - k\varphi_1 - l\varphi_2)$ fáziskülönbség a (16) egyenlet szerint fog beállni.

Az egyenáramú karakterisztika kiszámításához



7. ábra. Túérintkezős Josephson-átmenet áram-feszültség karakterisztikája mikrohullámú besugárzás esetén. Függőleges érzékenység $20 \mu\text{V}/\text{osztás}$, vízszintes érzékenység $500 \mu\text{V}/\text{osztás}$



8. ábra. Detektált mikrohullámú jel. Függőleges érzékenység $50 \mu\text{V}/\text{osztás}$

most is a 3. ábrán láthatóhoz hasonló helyettesítő képet alkalmazunk, de most két váltakozó áramú generátor szerepel, melyek amplitúdója I_1 és I_2 és körfrekvenciája ω_1 és ω_2 . A teljes áram értéke ezért a Josephson-áramnak és a normál áramnak az összege:

$$I_0 + I_1 \cos \omega_1 t + I_2 \cos \omega_2 t = \frac{1}{R} u(t) + I_{\max} \sin \varphi(t). \quad (17)$$

Alkalmazzuk a (10) és (11) egyenletekkel megadott rövidítéseket, valamint az

$$\alpha_2 = \frac{I_c}{I_{\max}} \quad \xi_2 = \frac{\omega_2}{\Omega} \quad (18)$$

egyszerűsítéseket, akkor a (17) egyenlet a következőképpen írható:

$$\alpha_0 + \alpha_1 \cos \xi_1 \tau + \alpha_2 \cos \xi_2 \tau = \frac{d\varphi}{d\tau} + \sin \varphi. \quad (19)$$

A (19) egyenletet számítógéppel célszerű megoldani. Az így számított karakterisztikákat mutatja a 9. ábra. A karakterisztikákban egymásra van rajzolva két görbesereg, melyek egymástól az alacsonyabb frekvenciás jel amplitúdójában különböznek. Vékony vonalak mutatják az $\alpha_2 = 0$ esetet, vastag vonalak pedig az $\alpha_2 = 0,25$ esetet. A két görbe közti különbség a ξ_1 normalizált frekvenciájú jel nagyságára jellemző. A görbét növekvő α_1 esetén ismételtén megrajzolta a számítógép.

Ha csak egy frekvenciát sugárzunk be, akkor $n \frac{h\omega_1}{2 \cdot e}$ közökkel lépcsők jelennek meg a karakterisztikán. Ha egy második, ω_2 körfrekvenciás jel is van az átmeneten, akkor újabb lépcsők jelennek meg $n \frac{h\omega_2}{2 \cdot e}$ távolságokban az előző lépcsőkhöz viszonyítva. Kis mikrohullámú teljesítmények és nagy frekvencia-különbségek esetére ezek a lépcsők világosan elkülöníthetők. Nagy mikrohullámú teljesítmények esetén nagyon sok lépcső jelenik meg, melyek olyan sűrűn fekszenek, hogy egy folyamatos görbe hatását keltik. Ha α_1 sokkal nagyobb, mint α_2 , akkor az $n\xi_1$ értéknél levő lépcsők megmaradnak, viszont mások tűnnek el. A gyenge α_2 jelre vonatkozó detekciós érzékenység növekszik α_1 -gyel a magasabb

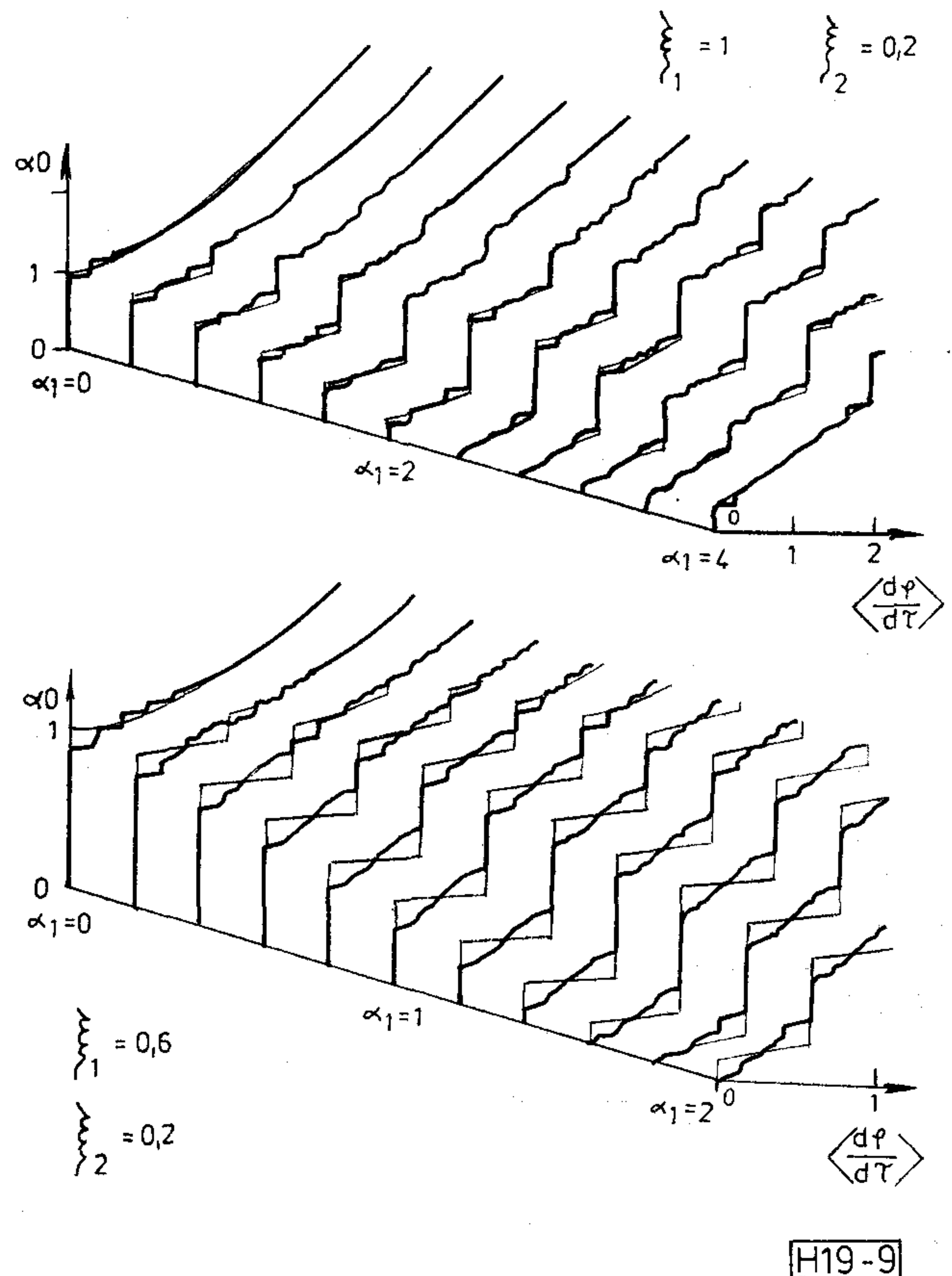
n -értékek esetén. Mindebből az következik, hogy egy második besugárzott frekvencia esetén a detekciós érzékenység növekszik nagyobb egyenfeszültségek mellett. Azonos áramváltozásoknál nagyobb egyenfeszültség esetén lesz nagyobb a kimenő teljesítmény. A Josephson-átmenetben tulajdonképpen teljesítményátalakítás történik. A Josephson-átmenet által leadott vagy felvett teljesítményt legyszerűbben a Manley-Rowe-egyenletekből lehet kiszámítani [13, 14]. Abban az esetben, ha a Josephson-átmenetre két független frekvencia jut, akkor ezek az egyenletek a következők:

$$\sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{m \cdot P_{mn}}{m\omega_1 + n\omega_2} = \frac{-kP_0}{k\omega_1 + l\omega_2} \quad (20)$$

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n \cdot P_{mn}}{m\omega_1 + n\omega_2} = \frac{-lP_0}{k\omega_1 + l\omega_2},$$

ahol P_{mn} az $(m\omega_1 + n\omega_2)$ körfrekvencián az átmenetbe jutó valós teljesítmény, és P_0 az egyenáramú teljesítmény: $P_0 = U_{\text{okl}} \cdot I_{\text{okl}}$. A (13) egyenlet következtében az átmeneten levő feszültségnek az egyen-komponensen kívül csak két, ω_1 és ω_2 frekvenciás komponense van. Ezért a (20) egyenlet bal oldalán csak P_{10} és P_{01} teljesítmények lehetnek, és így azt kapjuk, hogy:

$$\frac{P_{10}}{k\omega_1} = \frac{P_{01}}{l\omega_2} = -\frac{P_0}{k\omega_1 + l\omega_2}. \quad (21)$$



9. ábra. Egyenáramú karakterisztika két mikrohullámú jel besugárzása esetén. $\xi_1 = 1$, illetve $0,6$. $\xi_2 = 0,2$. Vékony vonalak esetén $\alpha_2 = 0$, vastag vonalak esetén $\alpha_2 = 0,25$

A (21) egyenletből következik, hogy az átmenetbe jutó teljesítményeknek zérust kell adniuk:

$$P_{10} + P_{01} + P_0 = 0.$$

Ha k és l azonos előjelű, akkor az ω_1 és ω_2 körfrekvenciás mikrohullámú teljesítmények egyformán vagy az átmenetbe, vagy onnan el haladnak. P_{10} és P_{01} úgy aránylanak egymáshoz, mint az ω_0 körfrekvencia komponensei: $k\omega_1$ és $l\omega_2$. Az egyenáramú teljesítmény ezzel szemben a mikrohullámú teljesítmények összegével egyenlő, de az ellenkező irányba folyik. Ha k és l ellenkező előjelű, akkor P_{10} és P_{01} előjele is ellenkező. Minthogy a P_{10} és P_{01} teljesítmények aránya $k\omega_1:l\omega_2$, egy fix érték, ezért az egyik jel változtatása esetén, megfelelő frekvenciaviszonyok mellett, a másik frekvencia teljesítményfelvétele úgy változhat, hogy ott erősítés léphet fel. Ez teremti meg a parametrikus erősítés lehetőségét.

Parametrikus erősítés Josephson-átmenettel

A (20) egyenletek kapcsán láttuk, hogy a Josephson-átmenet különböző frekvenciájú jelek között teljesítmény átalakítására képes. Vagyis a nagy pump teljesítmény egy részét hasznos jellé alakítja, és ezáltal erősítés lép fel a kívánt frekvencián. A teljesítményviszonyokat a (20) egyenletek adják meg.

Vizsgáljuk először azt az esetet, amikor a Josephson-átmenet nincs egyenfeszültségre kapcsolva, vagyis $P_0 = 0$. Legyen továbbá az átmenet úgy felépítve, hogy teljesítményátalakítás csak három frekvencia között jöhessen létre, a többi frekvencia legyen elnyomva. Legyen ez a három frekvencia: ω_j hasznos jel, az ω_p pumpjel és az ω_k kimenőjel. Legyen közöttük az alábbi kapcsolat:

$$\omega_p > \omega_j \quad \omega_k = \omega_j + \omega_p.$$

Ekkor a (20) egyenletekből a következőt kapjuk:

$$\frac{P_j}{\omega_j} = \frac{P_p}{\omega_p} = -\frac{P_k}{\omega_k}. \quad (22)$$

Ha ω_j és ω_p frekvenciás teljesítményt adunk a reaktanciára, akkor ω_k frekvencián teljesítményt lehet kivenni. Ezen az elven működik az up-konverter. A parametrikus erősítőhöz ω_j körfrekvenciás hasznos jelet vezetünk P_j teljesítménnyel. A P_k kimenő teljesítményt magasabb ω_k frekvencián kapjuk. Az ω_j és ω_k jelek amplitúdója azonban olyan kicsi, hogy közöttük lineáris kapcsolat áll fenn. A pumpjelenek ezzel szemben nagyon nagy az amplitúdója, és ez végzi a nemlineáris reaktancia időbeli változtatását.

Legyen a következőben $\omega_{kl} = \omega_p - \omega_j$, akkor a (20) egyenletekből a következő adódik:

$$-\frac{P_j}{\omega_j} = \frac{P_p}{\omega_p} = -\frac{P_{kl}}{\omega_{kl}}. \quad (23)$$

Ha a reaktanciához ω_p pumpjelet vezetünk, akkor ω_j -n és ω_{kl} -en teljesítményt tud leadni. Stabil üzemben csak akkor következik be teljesítménycsere, ha a reaktanciához ω_j jelet vezetünk. Minthogy a (23) egyenletben P_j -nek negatív előjele van, ezért az ω_j körfrekvencián nagyobb jel fog reflektálódni, mint

amikorát bevezettünk. Ezért erősítést lehet elérni akár az ω_j , akár az ω_{kl} frekvencián.

Vizsgáljuk végül azt az esetet, amikor a Josephson-átmenetre egyenfeszültséget is kapcsolunk, és ezáltal az átmenetbe valamekkora egyenáramú teljesítményt is juttatunk. Minthogy a Josephson-átmenet nem csak egy nemlineáris, veszteségmentes induktivitás, hanem egyenfeszültség rákapcsolása esetén még mikrohullámú generátor is, ezért a Josephson-átmenettel olyan parametrikus erősítőt lehet megvalósítani, ahol a pumpenergia az egyenfeszültségből származik. Legyen egy Josephson-átmenet egy áramkörbe úgy beépítve, hogy az ω_1 és ω_2 , valamint $m\omega_1 + n\omega_2$ frekvenciák között teljesítménycsere legyen lehetséges. Legyen továbbá a Josephson-átmenetre U_0 egyenfeszültség kapcsolva, ahol ez az egyenfeszültség az ω_1 és ω_2 frekvenciák valamilyen kombinációjának feleljen meg:

$$\omega_0 = k\omega_1 + l\omega_2, \quad (24)$$

akkor ennek az esetnek a (21) egyenlet felel meg. Vagyis a P_0 egyenáramú teljesítmény ugyanúgy kezelhető, mint az ω_p pumpfrekvenciás teljesítmény, a teljesítménycsere akkor is be tud következni. Így tehát lehetőség nyílt egy egyenáramú pumpálású parametrikus erősítő megvalósítására.

Minthogy a nemlineáris, veszteségmentes reaktanciák önmaguk zajt nem termelnek, ezért a parametrikus erősítők nagyon kis zajúak. Járulékos zajt csak a segédáramkörök és a pumposzcillátor termelnek. Ezeket a zajhozzájárulásokat azonban alacsony szinten lehet tartani, ha a segédköröket vagy az egész erősítőt hűtjük, és a pumposzcillátort nagyon zajszegénnyé tesszük.

Összefoglalás

A Josephson-átmenetnek mikrohullámú keverőként és erősítőként való alkalmazása lehetővé teszi, hogy nagyon nagy érzékenységű vevőberendezéseket készítsenek a segítségükkel. Ezt a lehetőséget széles körben fel is használják a tudomány és technika különböző területein. Ezekről a nagy érzékenységű vevőkről egy külön cikkben szeretnék beszámolni.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki az Országos Ösztöndíj Tanácsnak és a Távközlési Kutató Intézetnek, hogy a téma tanulmányozását lehetővé tették számomra a Müncheni Műszaki Egyetemen. Köszönöm Dr. Ing. Peter Russer professzornak, hogy a tanszékén folyó kutató munkában részt vehettem.

I R O D A L O M

- [1] Heike Kamerlingh Onnes. Communications Leiden, Suppl. No. 34. 1913.
- [2] L. N. Cooper: Phys. Rev. 104. (1956) pp. 1189.
- [3] B. D. Josephson: Possible new effects in superconductive tunneling. Phys. Rev. Letters 1. (1962) pp. 251–253.
- [4] S. Shapiro: Josephson currents in superconducting tunneling, the effect of microwaves and other

- observations. Phys. Rev. Lett. 11. (1963) pp. 80–82.
- [5] *I. Giaever*: Detection of the ac Josephson effect. Phys. Rev. Lett. 22. (1965) pp. 904–906.
- [6] *I. K. Yanson, V. M. Svistunov, J. M. Dmitrenko*: Experimental observation of the tunnel effect for Cooper pairs with the emission of photons. Zs. Experim. Teor. Fiz. 48. (1965) pp. 976–979. Sov. Phys. JETP 21. (1966) pp. 650–653.
- [7] *D. N. Langenberg, D. J. Scalapino, B. N. Taylor, R. E. Eck*: Investigation of microwave radiation emitted by Josephson junctions. Phys. Rev. Lett. 15. (1965) pp. 294–297.
- [8] *B. D. Josephson*: Coupled superconductors. Rev. Mod. Phys. 36. (1964) pp. 216–220.

- [9] *B. D. Josephson*: Supercurrent through barriers. Adv. Phys. 14. (1966) pp. 419–451.
- [10] *Solymár László*: Superconductive tunneling and applications. 10.2. fejezet. Chapman and Hall Ltd. London, 1972.
- [11] *N. R. Werthamer, S. Shapiro*: Analog-computer studies of Josephson radiation effects. Phys. Rev. 164. (1967) pp. 523.
- [12] *Solymár László*: ua., mint [10], de 17.2. fejezet.
- [13] *J. M. Manley, H. E. Rowe*: Some general properties of nonlinear elements. Part I. Proc. IRE 44. (1956) pp. 904–913.
- [14] *P. Russer*: General energy relations for Josephson junctions. Proc. IEEE 59. (1971) pp. 282–283.

Szemle

Összeállította: Gál Ferenc

A svájci híradástechnikai szervek a svéd Ericsson cég teljesen digitális AXE 10 kapcsoló rendszerével kívánják kiemelni az országos hálózatot. A svájci megrendelés áttörést jelent, mivel a svéd berendezések fő vevői eddig nem európai és fejlődő országok voltak. Az AXE telefonközpontokat kooperációs egyezmény alapján a svájci Hasler AG elektronikai cég fogja gyártani.

Az Ericsson cég másik jelentős üzleti sikerét a brit Thorn EMI-jal közös Thorn–Ericsson leányvállalat aratta Angliában, mivel megrendelést kapott a 80-as évek végén a Nagy-Britannia 80%-át lefedő sejtyszerűen kiépített rádióhálózat kezdeti szakaszának szállítására. A London, Birmingham, Bristol és Cardiff körzetében létrehozandó mintarendszerhez 29 millió font értékű berendezést szállítanak, de lehet, hogy a projekt brit fővállalkozója, a Racal Electronics Group is mintegy 60–100 millió font értékű berendezést igényel.

(Sweden now, 1984/1.)

Az A. S. Popov műszaki kutatóintézet munkatársai elemezték az elektronika további fejlődésének lehetőségeit a csehszlovák gazdaságban. Megállapították, hogy az elmúlt időszakhoz viszonyítva meg kell gyorsítani a csehszlovák népgazdaság egyes szektorainak és ágazatainak az elektronizálását. Az elektronikai építőelemek és berendezések átlagos felhasználása a termelő és a nem termelő szféra anyagi ráfordításain belül hatszorosára, a háztartások fogyasztásában (a személyes fogyasztásban) négyszeresére, a beruházási építésben ötszörösére, a kivitelben szintén ötszörösére nő. A népgazdaság közvetlen és közvetett termelő fogyasztása közel hétszörösére, ezen belül a gépiparé nyolcszorosára emelkedik.

A japán NEC cég μ PD7764 jelű beszédfelismerő egysége egy chipen megvalósított két processzor kombinációja. Minden külön kiejtett szó felismeréséhez 0,3 s időre van szükség. Max. 40, szünet nélkül egymás után kiejtett szóból álló mondatokat, vagy 340 egyedi szót képes felismerni.

A gyártó szerint a hibaszázalék 0,1% alatt van. A beszédfelismeréshez szükséges mikroprogram egy, a chipre integrált, de különválasztott RAM-ban van tárolva, így az alkalmazási területnek megfelelő beszédfelismerési szabályok választhatók. A 40 pólusú DIP tokozású egység +5 V tápfeszültséget igényel. (Messen and Prüfen Automatik, 1983/11. — Prodinform válogatás)

AZ ELEKTRONIKAI TERMÉKEK FAJLAGOS FELHASZNÁLÁSÁNAK EDDIGI ALAKULÁSA CSEHSZLOVÁKIÁBAN (százalékban)

	1970	1982
A termelő szféra anyagi ráfordításaiban	0,67	1,23
Ezen belül:		
— az építőiparban	0,77	1,85
— az elektronikai iparban (számítástechnika nélkül)	2,25	5,60
— az elektronikai iparban (belső fogyasztás)	30,11	44,92
— egyéb iparágakban	0,24	0,27
— a nem ipari ágazatokban	0,30	0,38
— a közlekedésben és a hírközlésben	1,13	3,80
A nem termelő szféra anyagi ráfordításaiban	1,36	2,00
A népgazdaság összes anyagi ráfordításaiban	0,72	1,30
A lakosság személyes fogyasztásában	1,61	0,95
A beruházásokban	3,48	4,40
A kivitelben	2,70	2,35

(Hospodarské Noviny, 1984/10.)

A világ legmodernebb radarberendezését helyezte üzembe a Hannover melletti Deisterben az NSZK Szövetségi Repülésbiztosítási Hivatala (Bundesanstalt für Flugsicherung). Az AEG-Telefunken SRE–M5 jelű berendezése az északnémet légtérre felügyel. A brémai és düsseldorfi repülésirányító központok képernyőin minden 280 km-es körzetben és max. 20 000 m magasságban repülő objektum képe megjelenik.

(Prodinform válogatás)

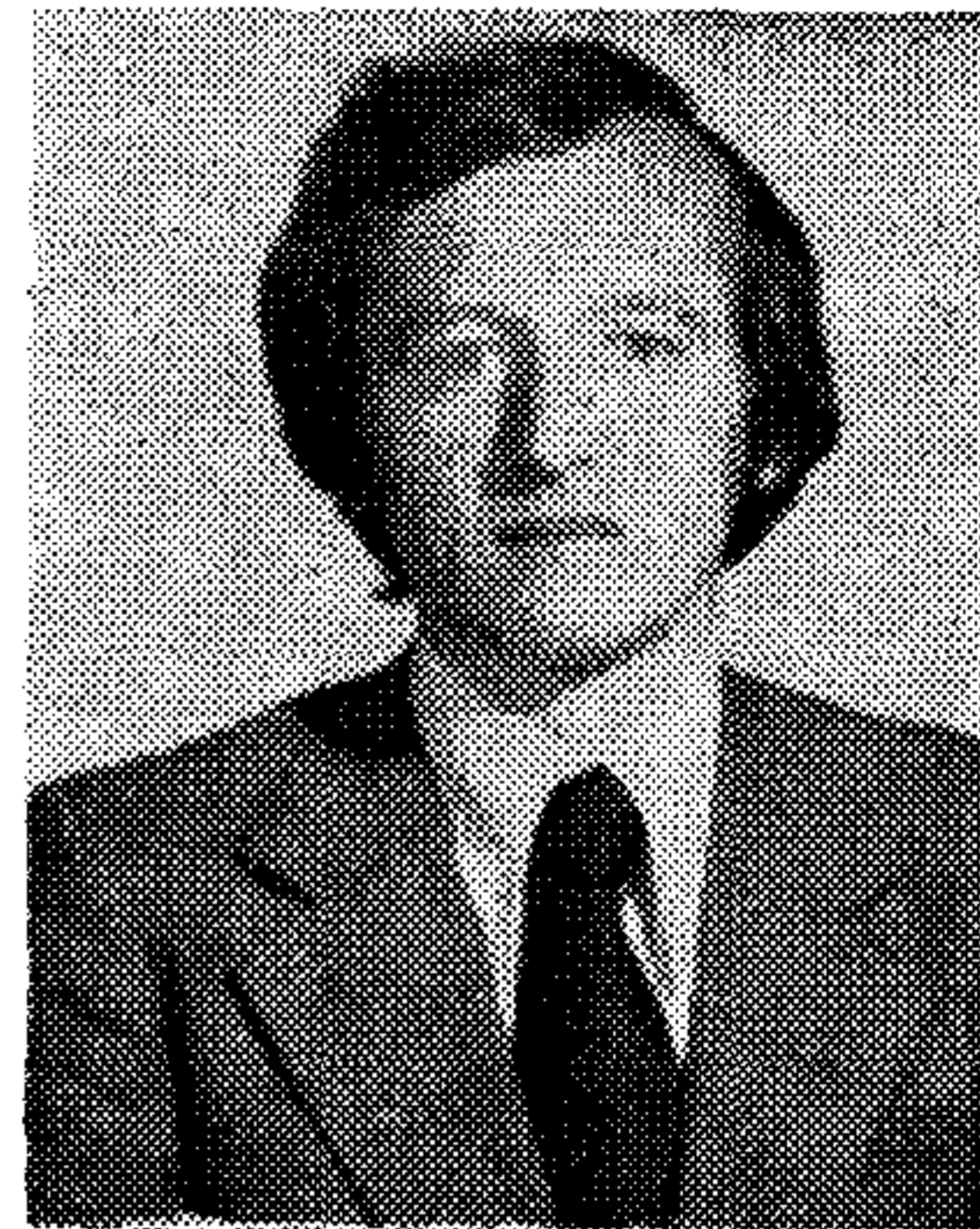
A Ginsbury Electronic kis teljesítményfelvételű FX409 jelű FSK modemje CMOS technológiával készül, és működéséhez kevés külső elemre van szükség. Nyugalmi árama mindössze 450 μ A, így különösen hordozható, hálózattól független működésű adatvégeberendezésekben használható előnyösen. A széles –30...+80 °C működési hőmérséklet-tartomány pedig nehéz környezeti feltételek melletti alkalmazását teszi lehetővé. A szétválasztott adó- és vevőcsatorna teljes duplex üzemmódot biztosít 1200 Baud adatátviteli sebességgel. Az integrált kapcsolt kondenzátoros szűrők és a digitális jelfeldolgozás kitűnő dinamikus tulajdonságokat biztosítanak zajos környezetben is. Az áramkör egyik kimenete a vivő felismerést jelzi és ez vezérli az adatátvitelt. A beépített kristályvezérelt oszcillátor állítja elő az átviteli sebességet meghatározó órajelet, a jelnek és a szünetnek megfelelő karakterisztikus frekvenciákat (1200, illetve 1800 Hz), valamint az összes szinkronjelet.

(Elektronik, 1983. november — Prodinform válogatás)

Hardware leíró nyelv digitális berendezések többszintű leírására

CSOPAKI GYULA

BME Híradástechnikai Elektronika Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk áttekinti a digitális berendezések többszintű leírására szolgáló hardware leíró nyelvekkel szemben támasztott követelményeket. Az ismertetésre kerülő hardware leíró nyelv a CARS (Computer Aid for Recursive Synthesis) rendszer számára került kifejlesztésre. A nyelv egyik legfontosabb jellegzetessége, hogy a tervező ugyanazon nyelvi elemeket használhatja mind a funkcionális, mind a strukturális specifikációra, a tervezés bármely szintjén.

Bevezetés

Digitális berendezések tervezése során a tervezési hatékonyság nagymértékben növelhető a megtervezett egységek számítógéppel történő ellenőrzése által. A számítógépes ellenőrző programok számára a berendezés működését hardware leíró nyelvek segítségével specifikáljuk. A tervezési folyamat során a felülről lefelé történő megközelítés történik, kiindulva a rendszerszinttől, eljutva az alkatrészsztig. A jelenlegi tervezőrendszerek általában nem biztosítják azt, hogy az egyes tervezési szinteken a tervezendő egység működését azonos nyelvi eszközökkel specifikáljuk. A továbbiakban ismertetjük egy ilyen hardware leíró nyelvvel szemben támasztott követelményeket, majd tárgyaljuk a nyelv alapelemeit, az általuk leírható funkciókat és struktúrákat.

A többszintű hierarchikus tervezés folyamata

A leíró nyelv alapvetően a felülről lefelé való tervezési folyamatot támogatja, azáltal, hogy lehetővé teszi a magasszinten definiált funkcionális egység egyértelmű működésének megadását mint külső specifikációt. A hardware leíró nyelv támogatja és egyben kényszeríti is a tervezőt a pontos és egyértelmű specifikációra. A funkcionális egység helyes működését számítógépes szimulációval ellenőrzi a tervező a bemenetre kerülő jelszekvenciákra a kimeneten kapott jelsorozatokkal. Ezt követően a tervező felépíti a funkcionális egységet mint struktúrát alacsonyabb szintű funkcionális egységek összekapcsolásából.

Az így felépített struktúrát ugyanazzal a bemenő jelsorozattal működtetve, mint a funkcionális egységet, hasonlóképpen egy kimeneti jelsorozatot kapunk. A két eredmény összevetéséből megállapítható, hogy a struktúra megvalósítja-e a kívánt funkciót. Ha igen, akkor a struktúrát megvalósító funkcionális részegységeket hasonlóképpen felépítjük struktúráként eggyel alacsonyabb szinten speci-

CSOPAKI GYULA

Villamosmérnök oklevelét 1969-ben a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán szerezte meg. 1969-től a BME Híradástechnikai

Elektronika Intézetében az MTA Informatikai és Elektronikai Tanszéki Kutatócsoportjának tudományos munkatársa; szakterülete digitális berendezések számítógéppel segített tervezése.

fikált és ellenőrzött részegységekből és ellenőrizzük a struktúrát a fentieknek megfelelő módon. A tervezési folyamat akkor ér véget, ha a struktúrát megvalósító részegységek már előzőleg megtervezett funkcionális egységek vagy katalóguselemek [3].

A tervezési folyamat során a funkcionális egységek és a struktúrák működésének specifikációja hardware leíró nyelv segítségével történik [2].

A hardware leíró nyelvvel szemben támasztott követelmények:

- a tervezési folyamat minden szintjén azonos nyelvi eszközökkel biztosítsa a funkcionális működés és a struktúra leírását;
- tegye lehetővé a működéseknek és a működések feltételének az időben helyes leírását;
- biztosítsa az időbeli teljes finomszerkezet leírásán kívül az általánosabb időbeli leírást;
- a nyelv eszközei és elemei olvasható és öndokumentáló szintaktikai szerkezetek létrehozását tegyék lehetővé;
- a nyelv szintaktikai szerkezete olyan legyen, hogy a struktúrált programozás eszközeivel elemezhető legyen.

A hardware leíró nyelv elemei [1, 5]

A hardware leíró nyelvnek a következő fő építőelemei vannak:

- specifikálni kell a funkcionális egység vagy a struktúra bemenő-, kimenő- és buszjeleit. Ezekre a jelekre vonatkozóan meg kell adni a jel bitbeli méretét, típusát és a megengedett értékek halmazát;
- nyelvi eszközökkel biztosítani kell a funkcionális egység bemenetein történő elemi változások leírását elemi bemeneti eseményekként;
- lehetővé kell tenni a bemeneten zajló jelszekvenciák leírását összetett bemeneti eseményekként;
- a funkcionális egység bemenetén történő válto-

Beérkezett: 1984. IX. 15. (#).

zások hatására a kimeneteken kimeneti eseményekkel írhatjuk le a változásokat.

A kimeneti események a bemeneti változásokhoz viszonyítva adott késleltetéssel történnek meg. A kimeneti eseményeknek ebben az adott időpontban való bekövetkezése lehet feltételhez rendelve. A feltételrész vonatkozhat jelek értéke logikai kapcsolatának igaz voltára, de biztosítja a feltételrész adott jelértékek időtartamban való vizsgálatát.

- a nyelvi elemeknek biztosítani kell az időzítési viszonyok általánosabb kezelését, amikor is kimeneti jelek értékváltozásait nem konkrét időpontokhoz rendeljük, hanem adott időintervallumhoz;
- biztosítani kell a struktúrák felépítéséhez a kötési listák leírását;
- lehetővé kell tenni a funkcionális egységeket és struktúrákat működtető bemeneti jelsorozatok leírását.

A leírásokon végezhető ellenőrzések

A funkcionális egységek vagy struktúrák leírása működtethető bemeneti jelsorozatokkal, ezáltal az egység működése ellenőrizhető, hogy végrehajtja-e a kívánt funkciót. Ezt a szimulációs úton történő ellenőrzést következetesen végrehajtva a funkcionális egységekre és az őt megvalósító struktúrára a tervezési folyamat nagymértékben támogatható [4].

A funkcionális egység és az őt megvalósító struktúra által ugyanarra a bemenő jelsorozatra adott kimeneti jelsorozat összevethető, az eltérések az összehasonlító program által kijelvezhetők.

Az egyes funkcionális leírások vagy struktúrák ellenőrizhetők teljességre és ellentmondásmentességre. Teljességre történő ellenőrzés során megvizsgálható, hogy az adott bemeneti változások mindegyikéhez definiálva lett-e kimeneti esemény. Megengedhető, hogy a bemeneti események ne fedjék le az összes lehetséges változások halmazát, azonban az szükséges, hogy a definiált értékkészletet teljesen meghatározzuk. Az ellentmondásra történő ellenőrzés azt vizsgálja meg, hogy adott bemeneti jelváltozásokhoz nincs-e két különböző egymásnak ellentmondó kimeneti jelváltozás rendelve.

A leíró nyelv elemei

Külső jelek specifikálása

A tervezés során a specifikálandó áramköri egység bemeneteit, kimeneteit és buszjeleit egyértelműen definiálni kell.

A bemeneti jeleket a következő attribútumok határozzák meg:

- bitbeli szélessége;
- számrendszere;
- értékkészlete.

A fenti attribútumokon kívül azonosítóval kell el látni a bemenetet, hogy a bemenetre a leírásban hivatkozni lehessen.

A kimeneti jeleket meghatározó attribútumok:

- a jel bitbeli szélessége;
- számrendszere;
- értékkészlete;
- a kimenet típusa.

A be- és kimeneti jeleknél a bitbeli szélesség megadása decimális számmal történik, melyet a BITS alapszó követ. A számrendszer megadásakor definiálni kell, hogy a jel bitjeit hány darab oktális, decimális vagy hexadecimális számjegyként értelmezzük. Bináris értelmezés esetén a számrendszer megadása elmarad.

A bemeneti és kimeneti jelek értékkészletét azáltal specifikáljuk, hogy megadjuk mely értékeket vagy értéktartományokat nem veheti fel a jel. A meg nem engedett értékeket az EXCEPT alapszót követően zárójel között kell felsorolni.

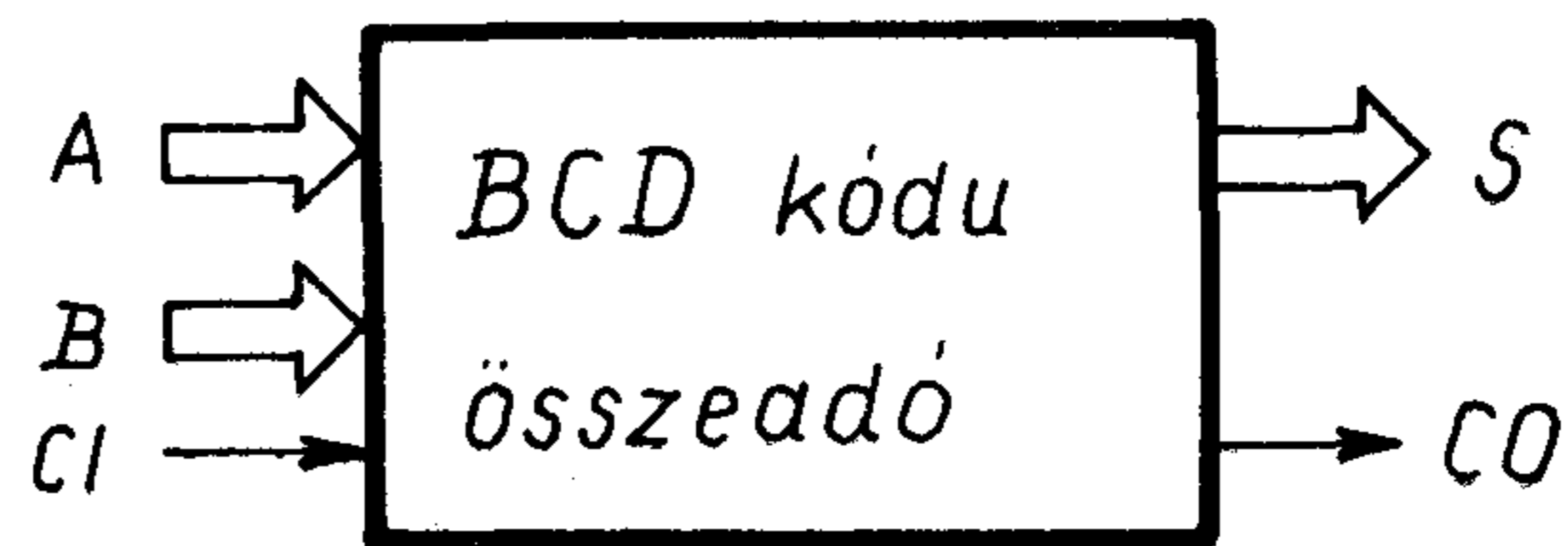
A kimenet típusa lehet ellenütemű vezérlésű totem-pole, nyitott kollektoros vagy háromállapotú. Alapértelmezésben a kimenet típusa ellenütemű vezérlésű, a nyitott kollektoros kimenet jelölése OC-vel, a háromállapotú kimenet jelölése TS-sel történik.

A síneket meghatározó attribútumok:

- bitbeli szélessége;
- számrendszere;
- értékkészlete;
- a sín típusa;
- a jelterjedés iránya.

A sínen a jelterjedés lehet kétirányú vagy kimeneti. Azonosításukra a BIDIRECTIONAL és az OUTPUT alapszavak szolgálnak.

Mintaként definiáljuk egy egydekádós BCD összeadó bemeneti és kimeneti jeleit (1. ábra).



H24-1

1. ábra. BCD kódú összeadó be- és kimenő jelei

INPUTS: A,B 4 BITS, 1 DEC DIGIT; CI.

OUTPUTS: S 4 BITS, 1 DEC DIGIT; CO.

A bemeneti jelek közül az A és B négy bites, a CI egy bites, a kimeneti jelek közül S négy bites, a CO egy bites. Az A,B és S jelek decimálisként vannak értelmezve.

Bemeneti események

A funkcionális egységek bemenetén lezajló változások bemeneti eseményekként írhatók le. Elemi jelek egyszerű változását elemi bemeneti eseményeknek nevezzük. A következő jellegű változások specifikálhatók bemeneti eseményként (zárójelben a nyelvbeli megfelelő alapszavak):

- adott bemeneti jel megváltozása:
jel CHANGES;
- adott bemeneti jel határozott értékű megváltozása:
jel CHANGES__TO érték;
- bármely bemeneti jel megváltozik:
ANY__INPUTS CHANGES;
- bármely bemeneti jel adott értékű megváltozása:
ANY__INPUTS CHANGES__TO érték;
- az összes bemeneti jel megváltozása:
ALL__INPUTS CHANGE;
- az összes bemeneti jel határozott értékű megváltozása:
ALL__INPUTS CHANGE__TO érték.

A fenti BCD kódú összeadó bemenetén ha valamilyen változás történik, akkor ki kell értékelni a kimenetet. Az ilyen jellegű változások leírására a bármely bemenet megváltozása típusú esemény alkalmas. A bemeneti eseményeket azonosítóval is el kell látni, hogy az eseményekre hivatkozni lehessen. Legyen a szóban forgó bemeneti esemény azonosítója INCHG.

A bemeneti események definícióját mindig az INPUT_EVENTS alapszó vezeti be. Az esemény leírása ezután:

INPUT_EVENTS: INCHG: ANY__INPUTS
CHANGES.

A fenti elemi bemenő eseményekkel bármilyen bemeneti változás leírható. Az elemi bemeneti eseményekre adott válaszfüggvények kimeneti eseményekkel definiálhatók.

Abban az esetben, ha a kimeneten akkor történik változás, ha a bemeneten adott jelszekvencia érkezett, elemi bemeneti változásokkal nem lehet egyszerűen leírni. Bemeneti jelszekvenciák képzése és leírása a bemeneti összetett eseményekkel történik. Bemeneti összetett eseményként definiálható elemi bemeneti események adott sorrendű előfordulása kötött időzítésű sorrenddel. Ilyen esetben definiálni kell, hogy az összetevő eseményeknek milyen sorrendben és milyen időzítéssel kell egymást követniük.

Összetett bemeneti eseményként definiálható továbbá adott elemi bemeneti események nem kötött sorrendű előfordulása adott időtartamon belül. Összetett bemeneti eseményként definiálható az összes felsorolt elemi bemeneti esemény egyidejű előfordulása, vagy csak az egyik, vagy bármennyi egyidejű előfordulása. Ilyen esetekben az összetett esemény bekövetkezését vagy meghíusulását kijelzi a rendszer. Ezáltal a specifikáció megvalósulását vagy meghíusulását a futtató rendszer közli a tervezővel.

A fenti összetett esemény-konstrukciók igen nagy mértékben támogatják a tervezőt a bemeneten történő változások egzakt időhelyes leírásában.

Kimeneti események

A funkcionális egység bemenetén történő változások hatására kimeneti változások történnek. A kimeneti változásokat kimeneti eseményeknek nevezzük. A kimeneti eseményeket a következő attributumok határozzák meg:

- bekövetkezési időpont;
- bekövetkezés esetleges feltétele;
- hatásrész.

A bekövetkezés időpontját meghatározza a kimeneti eseményt kiváltó bemeneti esemény és az esetleges késleltetési idő.

A bekövetkezésnek lehetnek feltételei, melyeket logikai kifejezéseként írhatunk le. A logikai kifejezés operandusai jelek és konstansok lehetnek, logikai operátorként logikai és, logikai vagy/és negációs operátorok szerepelhetnek. Mivel a kimeneti események alapvetően a többszintű időhelyes leírást támogatják, biztosítani kell nyelvi eszközökkel a beállási és tartási idő jellegű feltételek leírását, továbbá jelek adott időtartambeli konstans vagy nem konstans értékének vizsgálatát. A vizsgált időponthoz képest múltbeni és jövőbeni időtartam specifikálására szolgáló szerkezet: FROM <TIME1> TO <TIME2>; ahol TIME1 az intervallum alsó, a TIME2 az intervallum felső határát specifikálja. Az intervallum alsó és felső határát eseménynévvel és egy relatív késleltetési idővel lehet megadni. Ha az intervallum felső határa a referenciaidőpont akkor az intervallum specifikációja: SINCE <TIME1> ahol a TIME1 eseménynévvel és relatív késleltetési időponttal specifikálható.

A kimeneti események a funkcionális egységekbeli történések teljes időbeli és funkcióbeli finomszerkezetének leírását adják.

A hatásrészben leírható történések logikai kifejezések vagy memóriaműveletek lehetnek. A logikai kifejezésekkel jelek új értékét definiálhatjuk. Memóriaműveletként memóriába való írást és memóriából való olvasást specifikálhatunk. A memóriákat nem kell külön specifikálni, hivatkozni memóriaelemekre a címregiszter és az adatregiszter segítségével lehet.

Ha a teljes időbeni finomszerkezet leírására nincs mód, mert olyan bonyolultságú funkcionális elemeket alkalmazunk, amelyekre vonatkozólag nincsenek egzakt időpontok, a jelváltozásokra akkor úgynevezett működéseket alkalmazunk.

A működések esetén definiálandó a működés kezdetének időpontja, a működés befejezésének időpontja vagy feltétele és a funkció. A kezdeti időpont megadására egy referencia esemény és az ehhez viszonyított relatív késleltetés szolgál. Az indításhoz ezenkívül feltétel is rendelhető. A feltételes kifejezés jelek értékeire hivatkozhat időparaméterekkel.

A működés befejezésének megadására vagy egy referenciaesemény és az esetlegesen szereplő relatív késleltetési idő vagy a befejeződési feltétel szolgál. A befejeződést megszakítás jellegű feltételek bekövetkezése idézheti elő, tehát bizonyos jelek adott értékre történő megváltozása.

A hatásrészben jelek értékét lehet definiálni aritmetikai vagy logikai kifejezésekkel. Az értékadó utasítások lehetnek feltételes vagy feltétel nélküliek. A hatásrész tartalmazhat továbbá memóriaműveleteket. Memóriaműveletek (írás, olvasás) esetén a memória azonosítása cím- és adatregiszterével történik, a memóriákat sem deklarálni, sem névvel el-

láttni nem kell. A memóriarekeszek deklarációja előfordulásuk által történik.

A működések indítási és befejeződési időpontja között a működés során értéket kapó jelek értéke elérhetetlenné válik, így a rájuk való hivatkozás nincs megengedve.

A tervezés során ez előnyös, mert nem engedi meg a tervezőnek, hogy olyan jelre vagy jelekre hivatkozzon, amelyeknek az értéke nem egyértelműen definiált.

Az alábbiakban az eseményekre és a működésekre vonatkozólag megadjuk az SN7474-es D tároló és az SN7483-as összeadó funkcionális leírását.

TYPE: DFLOP (D,CP,CL,PR,Q,NQ; SN7474).

INPUTS: D,CP,CL,PR.

OUTPUTS: Q,NQ.

INPUT__EVENTS:

CPLH: CP CHANGES__TO 1 BIN;

CLHL: CL CHANGES__TO 0 BIN;

PRHL: PR CHANGES__TO 0 BIN.

OUTPUT__EVENTS: SET:

AT CPLH+33 NSEC,IF D STEADY
FROM CPLH-20 NSEC TO CPLH+5 NSEC
AND CL=1 BIN AND PR=1 BIN,

Q=D, NQ=NOT D;

CLEAR: AT CLHL+33 NSEC,

Q=0 BIN,NQ=1 BIN;

PRESET: AT PRHL+33 NSEC,

Q=1 BIN, NQ=0 BIN.

DFLOP END.

Bemeneti eseményként a CP órajel felfutását, a CL törlő és a PR beíró bemenetek lefutását definiáltuk.

A SET kimeneti esemény, mely beállítja a Q és NQ kimeneteket a D bemeneteknek megfelelően a CPLH bemeneti esemény bekövetkezését 33 ns-mal követőleg történik meg. A SET kimeneti esemény bekövetkezésének az a feltétele, hogy a D bemeneten levő jelérték állandó legyen a beállási és tartási idő alatt, valamint az aszinkron beíró és törlő bemenetek értéke logikai egyes szintű legyen. A CLEAR és a PRESET kimeneti eseményeknek nincs feltételrész, az események a CL vagy PR bemenetek 1→0 átmenetekor megtörténnek 33 ns késleltetési idővel.

Az SN7483-as négybites bináris összeadó leírása:

TYPE: SUM4 (A,B,CI,CO,S; SN7483).

INPUTS: A,B 4 BITS, 4 BIN DIGITS; CI.

OUTPUTS: S 4 BITS; CO.

INPUT__EVENTS: CHG:

ANY__INPUTS CHANGE.

OPERATIONS: SUM: STARTS__AT CHG

TERMINATES__AT CHG+24;

RESULT: S=A+B+CI.

SUM END.

CRY: STARTS__AT CHG

TERMINATES__AT CHG+16;

RESULT: IF(A+B+CI)>=10 000 BIN

THEN CO=1 BIN;

IF(A+B+CI)<10000 BIN

THEN CO=0 BIN.

CRY END.

OPERATIONS__END.

SUM4 END.

A típus bemeneti jelei bármelyikének megváltozása hatással van a kimenetre, így bemeneti eseményként az ANY__INPUTS CHANGE változást definiáljuk. A bemeneti esemény hatására a kimeneten megjelenik a bemeneti jelek összege és beállítódik az átvitel jel értéke.

Kimeneti események esetén a kimeneti jelek értéke mindig meghatározott, a jelváltás időpontjáig a régi, azt követőleg az új értékkel szerepel a jel. A felfutási vagy lefutási idő kezelésére, amennyiben az alkalmazó igényt tart rá, a leíró nyelv az X jelértéket biztosítja.

A működések azon kimeneti jelek kezelésére különösen előnyösök, amelyekre nem lehet egyértelműen meghatározni, hogy mikor történik a jelváltás, hanem csak egy intervallum definiálható, amelyen belül a jelváltás megtörténik. Ilyenkor az adott intervallumon belül a jelre nem szabad hivatkozni.

A struktúra specifikációja

A tervezendő egység funkcionális specifikációját követőleg, fel kell építeni az egységet mint alacsonyabb szintű funkcionális egységekből álló struktúrát. A struktúrát felépítő részegységeket hasonlóképpen le kell írni, mint funkcionális specifikációit és a külső kapcsolataik összeköttetése által épül fel a struktúra.

A strukturális leírás elemei:

- bemenetek;
- kimenetek;
- a struktúrát alkotó építőelemek;
- a struktúra elemeinek kapcsolatát definiáló kötési lista.

A struktúrát megvalósító elemek felépítése:

ELEMENTS: típusnév 1: realizáció 1,
realizáció 2,
.
.
.
realizáció i;
típusnév 2: realizáció 1,
realizáció 2,
.
.
.
realizáció j;
típusnév n: realizáció 1,
.
.
.
realizáció k.

A fenti szerkezetben a típusnév a funkcionális egységet azonosítja, a realizációnevek pedig a megvalósulásokat, másnéven példányokat azonosítják.

A realizáció megadására azonosító szolgál, melyet paraméterlista követ. A paraméterlistán a típus definíójakor megadott paraméterlistabeli felsorolási rendnek megfelelően meg lehet határozni összeköttetések. Ha az adott funkcionális egység valamely bemenete vagy kimenete a struktúra külső csatlakozási pontjával össze van kötve, akkor a külső csatlakozási pontot a paraméterlistán szerepeltetve, az összeköttetés definiálva lesz. A paraméterlistán szerepelhet:

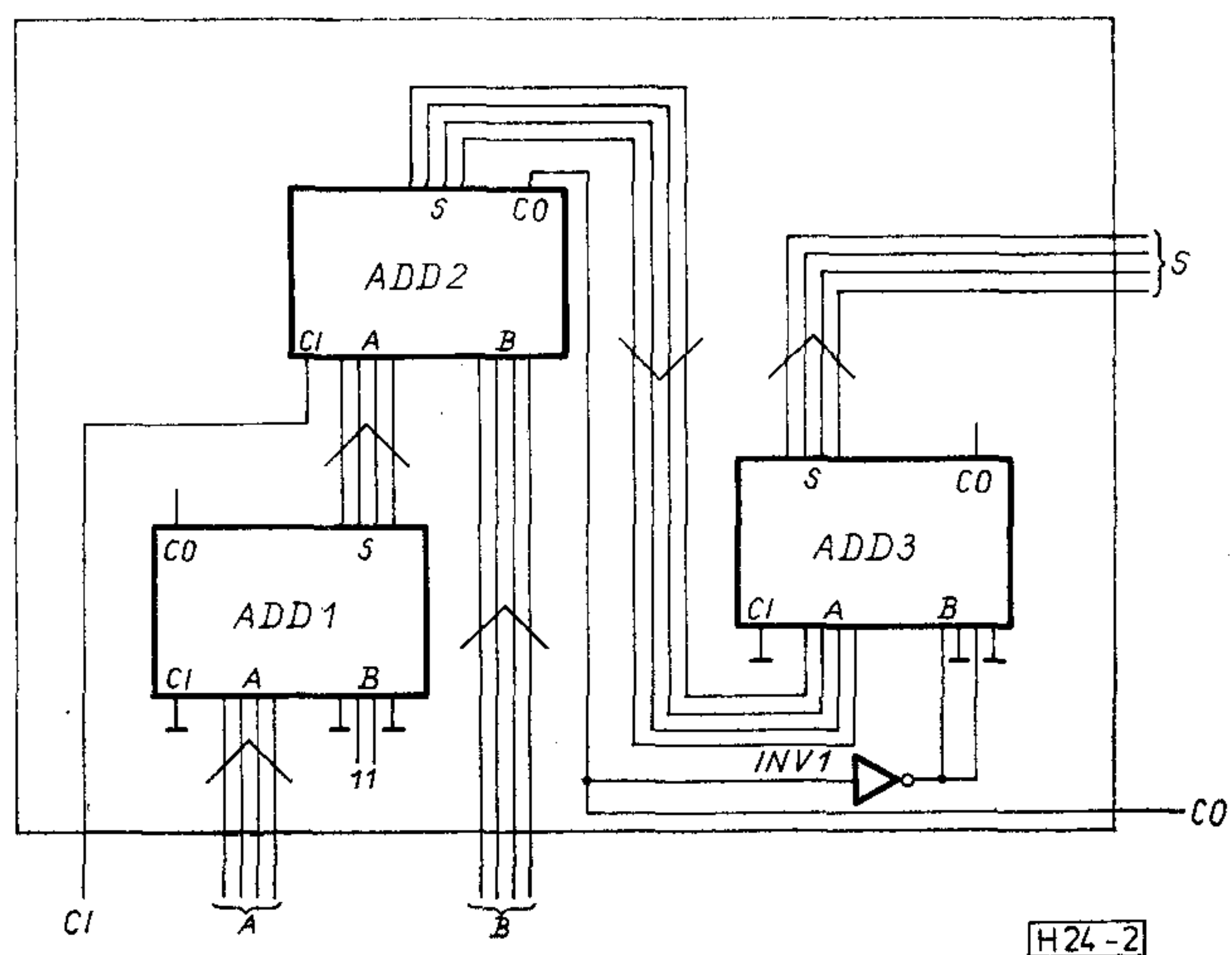
- jelnév;
- konstans;
- * karakter.

A paraméterlistán szereplő jelnév az adott típus paraméterlistájának megfelelő pozíciójában szereplő jelnév az adott struktúrabeli jelnévvel való összeköttetését határozza meg. Ha a paraméterlistán konstans érték szerepel, akkor az adott típus paraméterlistájának megfelelő pozíciójában szereplő jelnév a konstans értékre való csatlakoztatását jelenti.

Ha a paraméterlistán csillagkarakter szerepel, akkor az adott típus megfelelő pozíciójában szereplő jelnév csatlakozási pontját a kötési listán definiáljuk.

Adott realizáció be- vagy kimenetére úgy hivatkozhatunk, hogy a realizáció nevét @ karakterrel kötjük össze a szóban forgó jel azonosítójával.

A funkcionális specifikáció és a strukturális leírás együttes alkalmazására bemutatjuk egy egydekádós BCD kódú összeadó leírását. Az összeadót 4 bites bináris összeadókból építjük fel (2. ábra).



2. ábra. BCD kódú összeadó strukturális felépítése

A megoldásnál használjuk fel a négy bites bináris összeadó (SUM4) leírását.

Külső funkcionális specifikáció:

```
TYPE: BCDF (A,B,CI,S,CO; BCDFADD).
INPUTS: A,B 4 BITS, 1 DEC DIGIT; CI.
OUTPUTS: S 4 BITS, 1 DEC DIGIT; CO.
INPUT EVENTS: INCHG: ANY-INPUTS
CHANGE.
OPERATIONS:
```

```
SUM: STARTS__AT CHG
      TERMINATES__AT CHG+7Ø;
      RESULT: S=A+B+CI.
SUM: END.
CARRY: STARTS__AT CHG
        TERMINATES AT CHG+7Ø;
RESULT:
IF(A+B+CI)>9 THEN CO=1 BIN;
IF(A+B+CI)<=9 THEN CO=1 BIN.
CARRY END.
OPERATIONS END.
BCDF END.
```

A struktúra leírása:

```
MODEL: BCDF.
INPUTS: A,B 4 BITS, 1 DEC DIGIT; CI.
OUTPUTS: S 4 BITS, 1 DEC DIGIT; CO.
ELEMENTS:
SUM: ADD1 (A,6 DEC, Ø BIN, *,*),
      ADD2 (*,B,CI,*,*),
      ADD3 (*,*, Ø BIN,*,S);
INV: INV1 (*,*).
CONNECTIONS:
ADD2@S-ADD3@A,
ADD2@CO-INV1@A-CO,
INV1@Y-ADD3@B(1)-ADD3@B(3),
ADD3@B(0)-ADD3@B(2)-ØBIN.
BCDF END.
```

A specifikáció leírásának és ellenőrzésének számítógépes támogatása

A specifikáció megadása a leíró nyelv segítségével történik. A specifikáció leíró nyelve a CARS (Computer Aid for Recursive Synthesis). A nyelvhez rendelkezésre áll fordítóprogram SIEMENS és IBM számítógépekre.

A leírások szimulációjára szimulátorprogram, a szimulációs eredmények kiírására output program, a funkcionális és strukturális leírás eredményeinek összevetésére ekvivalenciaprogram áll rendelkezésre [6].

Bemenő jelsorozatok definiálása

A típus vagy struktúra bemenő jeleinek megváltozása idéz elő bemeneti eseményeket, azaz bemeneti változásokat.

A bemeneti jelek értékváltásait a következő formában lehet definiálni:

AT <időpont megadása>:<értékdefiníciók>;

<értékdefiníciók>:=<értékdefiníció>

|<értékdefiníciók>, <értékdefiníció>
<értékdefiníció>::=

=<azonosító>=X|<azonosító>=<érték>

azaz egy adott időpontban tetszőleges számú jel értéke X értékűvé vagy valamely számértékkel definiált értékűvé definiálható. A jel-érték összerende-

léseket egymástól vesszővel kell elválasztani. A megadás végét ; jel jelzi.

A működtető jelek sorozatának végét a leállítási időponttal adhatjuk meg a következőképpen:
STOP__MODEL__TIME=*<időpont megadása>*;

Az időpont megadása:

<időpont megadása>::=

=*<decimális szám>* *<időegység>*

<időegység>::= SEC | MSEC | USEC | NSEC | PSEC

A jel értékének megadása:

<érték>::= *<szám>* | *<szám>* *<radix>*

<radix>::= DEC | OCT | HEX | BIN

A leírások szimulációja, az eredmények kiteratása, a szimuláció eredményeinek összevetése

A leírások szimulációja időhelyes dinamikus szimulátorral történik. Az eredmények táblázatosan vagy idődiagram formájában jeleníthetők meg.

A táblázatos formánál kiírásra kerülnek azon időpontok, amikor valamilyen jelváltozás történik. Kiírásra kerül a jelváltozást okozó esemény neve, előfordulási száma (hányadszor következett be), valamint a megváltozott jel értéke.

Az idődiagramos forma ettől annyiban tér el, hogy a jelváltozást okozó esemény neve nem kerül kiírásra.

A típus és a struktúra szimulációjára kapott eredményeket gépi úton összevethetjük. Az összehasonlító program azokat az idő intervallumokat jelzi ki, amelyekben a szóban forgó jelek nem ekvivalensek.

Működtető jelsorozatok, tesztelés

A konstruktőr a tervezési folyamat minden szintjén, amikor elkészít egy összetartozó külső specifikációt és strukturális leírást, elkészíti a működtető jelsorozatot. A bemeneti jelszekvenciát úgy kell összeállítani, hogy a kapott eredményekből eldönthető legyen biztosan a helyes működés. Az így specifikált bemeneti jelszekvenciák egyben a funkció tesztelésére is szolgálnak a tervezés során.

A tervezési folyamat során az összetartozó külső

specifikációt és strukturális leírást a konstruktőr ugyanazzal a bemeneti jelszekvenciával működteti. A bemeneti jelszekvenciákra, mint funkcionális tesztsorozatra, kapott kimeneti jelszekvenciákat verifikálja. Helyes eredmények esetén elkészíti a következő szint leírását és bemenő jelszekvenciáit. Ezek a lépések addig folytatódnak míg megvalósított funkcionális részegységekig vagy katalóguselemekig jut a tervező.

Összefoglalás

A cikk áttekintette a digitális berendezések többszintű hierarchikus tervezésének támogatására szolgáló hardware leíró nyelvvel szemben támasztott követelményeket. Ismerteti a cikk a CARS tervező rendszer hardware leíró nyelvének elemeit és áttekinti a rendszer szolgáltatásait.

I R O D A L O M

- [1] *Csopaki Gy.*: Hardware description language for designing of digital equipment. Preprints. Proceeding of IMACS European Simulation Meeting on Simulation in Research and Development. Eger, Hungary, 27–30 August, 1984. pp. 151–161.
- [2] *Bohus M.*—*Csopaki Gy.*—*Filp A.*—*Hinsenkamp A.*—*Máté L.*: Computer Aid for Recursive Synthesis, Working Paper, Computer and Automation Institute, Hungarian Academy of Sciences, Apr. 1982.
- [3] *Bohus M.*—*Csopaki Gy.*—*Filp A.*: Számítógépek és részegységeik szimulációja. Kutatási jelentés az SZKI számára. Budapest, 1979.
- [4] *Bohus M.*—*Csopaki Gy.*—*Filp A.*—*Hinsenkamp A.*—*Máté L.*: Digitális berendezések szintézisének számítógépes támogatása. Híradástechnika. XXXII. évf. 1981. 1. szám. pp. 8–12.
- [5] *Máté L.*—*Bohus M.*—*Csopaki Gy.*—*Filp A.*—*Hinsenkamp A.*: System CARS and its Description Language. Lecture Notes in Computer Sciences. 152. Specification and Design of Software Systems. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 1983.
- [6] Digitális rendszerek többszintű, időhelyes szimulációjára szolgáló programrendszer felhasználói kézikönyve. Budapest, 1983.

(Folytatás a 103. oldalról.)

Áttekintő előadás hangzott el a kis szintű mikrohullámú sugárzás okozta atermális jellegű élettani elváltozásokról. E téma — az új tudományos eredményeken túl — azért is jelentős, mert e kísérleti eredmények alapján készül a mikrohullámú sugárzásra vonatkozó új hazai szabvány.

A mikrohullámú távérzékelés — vagyis egy megfigyelt terület jellemzőinek mérése passzív vagy aktív mérőrendszerekkel — sokoldalú alkalmazási lehetőséget kínál: talaj víztartalmának mérése, növényzettípusok feltérképezése, terménybecslés, vízfelszín figyelése stb. A szemináriumon beszámoltak egy hazai mikrohullámú aktív távérzékelési kísérletről: a lábbon álló gabona mikrohullámú csillapításának méréséről, s a mérési adatok lehetséges felhasználási lehetőségeiről (gabona érettségi állapotának meghatározása, terménybecslés, fej—kalász elkülönítésével a kombájnok vágóélmagasságának beállítása stb.).

Külön szekció foglalkozott a rádiólokátor-rendszerekhez kapcsolt, kiegészítő információt (pl. automatikus segélykérés, vészjelzés) továbbító rendszerek felépítésével és a megvalósított hazai berendezés ismertetésével.

Az Alkatrészek és technológia szekcióban jó áttekintést lehetett nyerni a hazai intézményekben folyó kutató-fejlesztő munkáról. Részletesen foglalkoztak a gránát egykristályok mérés technikájával, a vékony- és vastagréteg integrált áramkörök és nyomtatott áramköri elemek tervezési kérdéseivel, és a megvalósított technológia problémáival. A mikrohullámú félvezető eszközök tématerületén bemutatták a Si és GaAs alapú eszközök szelettechnológiája és tokozása terén elért eredményeket. Az előadásokat a fizikai-kémiai összefüggések felismerésére alapozott technológiafejlesztés, a korszerű tervezési módszerek alkalmazása és a nagyműszeres analízis-módszerek széles körű igénybevétele jellemezte.

Mikrohullámú vékonyréteg integrált áramkörök fémezésének befolyása a szalagtápvonalak veszteségére

VÉRTESEY MIKLÓS — KOLTAI MÁRTA — ZSOLDOS BÉLA

Távközlési Kutató Intézet
Mikroelektronikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

A TKI és a MEV együttműködésében Ta_2N -Ti-NiCr-Au fémrétegekből álló fémezési rendszert fejlesztettünk ki mikrohullámú vékonyréteg integrált áramkörök előállítására. Mikroszalag tápvonalak veszteségét befolyásoló hatások közül kísérleteinkben megvizsgáltuk az ellenállás és a vezető fémek közötti ún. köztes rétegek (a Ti és a NiCr) szerepét. A veszteség méréseinket gyűrűs rezonátorral végeztük. Megállapítottuk, hogy a két réteg vastagságának egy minimálisan szükséges értékre történő csökkentésével a szalagtápvonalak veszteségét 25–30%-kal sikerült csökkenteni. Így 8 GHz frekvencián 50 Ω hullámellenállású szalagtápvonalnál 0,05–0,055 dB/cm veszteséget valósítottunk meg.

Bevezetés

A Távközlési Kutató Intézet és a Mikroelektronikai Vállalat (korábban mint Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet) együttműködésében 1976 óta folynak technológiai és konstrukciós kísérletek mikrohullámú vékonyréteg hibrid integrált áramkörök hazai megvalósítására. Az együttműködés eredményeképpen számos, különböző funkciót ellátó (pl. erősítő, frekvenciaszorzó és -osztó, keverő, iránycsatoló, szűrő stb.) mikrohullámú áramkör készült el és került felhasználásra.

A mikrohullámú integrált áramkör előállítási technológia kiválasztásának, a technológia ellenőrzésének, a szalagtápvonalak minősítésének egyik legfontosabb szempontja, hogy mekkora a szalagtápvonalak vesztesége (csillapítása). Kutatási-fejlesztési programunkban is jelentős helyet foglaltak el azok a technológiai kutatások, melyek veszteség csökkentésére irányultak.

A kis mikrohullámú veszteség megvalósítása speciális követelményeket támaszt a hordozóval, valamint a fémezéssel és a fémréteg szerkezetével szemben. A vékonyréteg technikában alkalmazott vezető rétegek (a réz és az arany) rosszul tapadnak a kerámia hordozókhoz. Közéjük egy vagy több jól tapadó, vékony, köztes réteget kell kialakítani, melyek vezetőképessége jóval kisebb a réznél vagy az aragnál. Ezek a köztes rétegek vezetőképességüktől és vastagságuktól függően jelentősen megnövelhetik a veszteséget. Ez a veszteségnövelő hatás a frekvencia növelésével egyre fokozottabb, erősebb lesz. Fontos szempont a fémrétegek kialakításánál az is, hogy a (tényleges) vezető rétegnek — a kis veszteség elérése miatt — viszonylag vastagnak kell lennie, vastagságának meg kell haladnia a skin mélység 3–5-szörösét.

Beérkezett: 1984. IX. 5. (A).

VÉRTESEY MIKLÓS

1965-ben végzett az ELTE Természettudományi Karán, fizikus szakon, majd 1970-ben a Budapesti Műszaki Egyetemen félvezető eszköz gyártási szakmérnöki oklevelet szerzett. 1977-ben Anomális bórdiffúzió

Si-egykristályokban téma- körben egyetemi doktori szigorlatot tett. 1965 óta a Távközlési Kutató Intézet dolgozója. Fő munkaterülete a mikrohullámú Si-diódákkal, továbbá a mikrohullámú hibrid integrált áramkörökkel kapcsolatos kutatási-fejlesztési tevékenység.

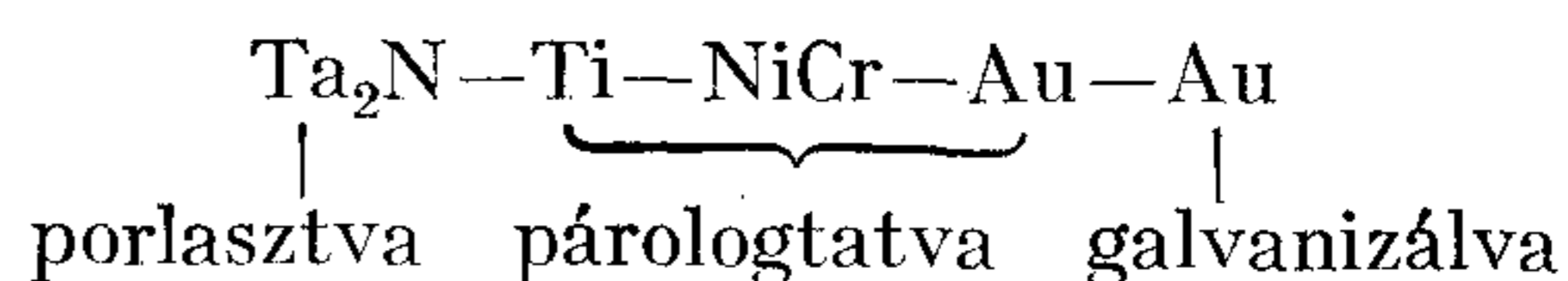
TKI—MEV fémezési rendszer [1—2]

Az áramkör előállítási technológiánk — az előzőekben vázolt szempontokat is figyelembe véve — alapjaiban a hagyományos vékonyréteg eljárást követi. Az elrendezés (topológiai) rajz elkészülte után fólia-, majd fotómaszk készül. A hordozó alapfémezését porlasztással és vákuum párologtatással, a vastag vezető réteget pedig ún. ablakgalvanizálással valósítjuk meg. Az áramkörök vezető- és ellenállás rajzolatának kialakítása fotolitográfiai módszerekkel történik.

Áramköri hordozónak nagy tisztaságú (>99,5%-os), névlegesen 0,635 mm vastagságú alumíniumoxid lapkákat használunk, pl. az AlSiMag 772 típust. A hordozó felületi érdessége (a középvonaltól mért átlagos eltérés alapján meghatározva) 0,20–0,25 μm (8–10 μ''). Ilyen felületi minőségű hordozó viszonylag olcsón beszerezhető, és néhány különleges követelményű áramkörtől eltekintve, kb. 20 GHz frekvenciáig általában megfelel az áramköri igényeknek.

Az Al_2O_3 hordozón kialakított fémrétegeket úgy kell megválasztani, hogy jól tapadjanak, biztosítani tudják a kis mikrohullámú veszteséget, az elektromos paraméterek stabilitását, az egyszerű és olcsó előállítási technológiát stb. Ezek a szempontok részben vagy egészben ellentmondó követelményeket jelentenek, megoldásuk csak kompromisszumok útján, több fémréteg alkalmazásával lehetséges.

A TKI—MEV együttműködés során kifejlesztett mikrohullámú vékonyréteg áramkörök fémezése a következő rétegekből tevődik össze:



Ezzel a fémezéssel jó minőségben, integrált formában előállíthatók a mikrohullámú áramkörök ellenállásai, biztosítani lehet az áramkörök nagymérvű stabilitását, az áramkörök jól ellenállnak a klímahatásoknak, nem igényelnek légmentes tokozást.

Hátránya, hogy négy fémréteget kell előállítani porlasztással és vákuum-párolgattal. A vastag arany vezetőréteg 10–15%-os önköltség-növekedést eredményez a rajzolat kialakításakor, ugyanakkor kb. 15–20%-kal megnöveli a veszteséget a réz vezetőhöz képest.

Fémezési rendszerünkben ellenállásréteggént reaktív porlasztással előállított, 60–80 nm vastag tantálnitrid réteget használunk, amely biztosítja a jó tapadást is a hordozó és a vezető rétegek között. A Ta₂N ellenállások stabilitása kiváló [3], értékbeállítása anodikus oxidációval — viszonylag egyszerűen — 0,1%-os pontossággal is elvégezhető.

A titán réteg a tantálnitrid felületén képződött oxidot oldja oly módon, hogy fémes jellege nem változik. Így elkerülhető a nagy átmeneti ellenállást, és egyúttal a nagy mikrohullámú veszteséget előidéző tantál-oxid réteg kialakulása.

A nikkell–króm réteg megakadályozza az arany és a titán egymásba diffúzióját (pl. már a szükséges technológiai hőkezelési lépések során), ami az áramkörök stabilitásának növeléséhez vezet.

Az alapfémezés vékony, lehetőleg jó vezetőképességű aranyréteg párolgattalásával fejeződik be, mely lehetővé teszi a galvanikus rétegvastagítást.

A réteggel jellemzőket az 1. ábrán foglaltuk össze. A porlasztott és párolgattal alaprétegeket a felületi ellenállással, a galván arany réteget pedig a vastagságértékekkel jellemeztük. Az alapfémréteg vastagságát az általunk használt Al₂O₃ hordozón nem tudtuk közvetlenül meghatározni a hordozó ~0,2 μm felületi érdessége miatt, mert a rétegvastagság értékek ezzel egyformák vagy ennél kisebbek voltak. A rétegvastagságokat így — hasonló porlasztási-párolgattal körülmények mellett — üveghordozón határoztuk meg. A fajlagos ellenállás kiszámítása az ily módon mért rétegvastagság és a felületi ellenállásértékek alapján történt.

Szalagtápvonalak vesztesége

Kerámia alapú mikrohullámú vékonyréteg áramkörök esetén a szalagtápvonalak veszteségét elsősorban a vezetőben fellépő ohmikus veszteség (α_c)

Réteg	Ta ₂ N	Ti	NiCr	Au	Au
Előállítási mód	porlasztott	párolgattal	párolgattal	párolgattal	galvanizált
Rétegvastagság	—	—	—	300–400 [nm]	8–15 [μm]
Felületi ellenállás [Ω/□]	30–40	20–80	6–15	0,08–0,15	—
Fajlagos ellenállás [μΩ·cm]	220*	80*	150*	4–4,5*	2,7–3

Megjegyzés: * becsült adatok (üveghordozóra felvitt rétegvastagság-mérés alapján számolva)

1. ábra. Fémréteg jellemzők TKI–MEV fémezés esetén



KOLTAI MÁRTA

1968-ban a Budapesti Műszaki Egyetemen vegyészmérnöki, majd 1981-ben korróziós szakmérnöki diplomát szerzett. 1958 óta a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet, majd jogutódja, a Mikroelektronikai Vált-

alat dolgozója. Fő munkaterülete a hibrid integrált áramkörök előállítás-területén, a vékonyrétegekkel kapcsolatos kutatás, fejlesztés és gyártás. Több publikációja jelent meg a vékonyrétegek szerkezete és elektromos tulajdonságai közötti kapcsolatot vizsgáló témáról.

okoza, mely a vezető fajlagos ellenállásának a négyzetgyökével arányos

$$\alpha_c = 8,686 \cdot \frac{R_s}{Z_0 w} F \quad [\text{dB/cm}]$$

$$R_s = \sqrt{\rho \cdot \pi \cdot \mu \cdot f},$$

ahol R_s a mikrohullámú felületi ellenállás, ρ a fémréteg (homogén fémezést feltételezve) fajlagos ellenállása, μ a permeabilitás, f a frekvencia, Z_0 a szalagvezető hullámellenállása, w a szalagvonal szélessége, F pedig a szalagvezetőben kialakult árameloszlástól függő faktor, melynek értéke a gyakorlati esetekben 0,4–0,7 közé esik [4–7].

Esetünkben a fenti kifejezés közvetlenül nem alkalmazható, mert nem veszi figyelembe a vezető arany réteg alatti Ta₂N-Ti-NiCr rétegek veszteségnövelő hatását.

Szalagtápvonalakkal kialakított mikrohullámú integrált áramkörökben az energia elsősorban a dielektrikumban (azaz a hordozóban) és a dielektrikumhoz közeli (3–5 skin mélységű) fémrétegben terjed. Csillapítás szempontjából tehát nagy jelentőségű a felületközeli, nagy fajlagos ellenállású fémrétegeknek a

Réteggombináció jelzése	Ta ₂ N	Ti	NiCr	Au
	$R_s \Omega/\square$			
1	39	25	10	0,08
2	38	64	12	0,17
3	37	110	26	0,08
4	36	252	20	0,09
5	39	1096	19	0,08
6	40	870	47	0,12

2. ábra. A különböző fémréteg kombinációk felületi ellenállás értékei (a veszteség görbék a 3. ábrán található)



DR. ZSOLDOS BÉLA

1969-ben végzett az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának vegyész szakán. Doktori értekezését 1971-ben védte meg szilárd anyagok radio-kémiai módszerekkel történő vizsgálatának tárgyköréből. 1969 óta a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetnek, majd jogutódjának, a Mikroelektronikai Vállalatnak dol-

gozója. Munkaterületei a félvezető anyagok neutronaktivációs elemzéssel történő vizsgálata, nyomtatott huzalozású lemezek technológiája és vizsgálata, valamint vékonyréteg hibrid integrált áramkörökkel kapcsolatos kutatás és fejlesztés. Jelenleg a Mikroelektronikai Vállalat Hibridáramkör Szakágazatnak vékonyréteg technológiai főosztályán osztályvezető.

szerepe. A kis veszteség megvalósítása érdekében tehát arra kell törekedni, hogy ezeknél a rétegeknél csak a megadott funkciót ellátó, technológiai okokból feltétlenül szükséges, minimális vastagságot valósítsuk meg.

Veszteségértékek különböző köztes fémek esetén

Az általunk alkalmazott fémrétegrendszerrel megvizsgáltuk a Ti és a NiCr köztes rétegeknek a csillapítást befolyásoló hatását. Különböző négyzetes ellenállású Ti és NiCr rétegekkel állítottunk elő szalagtápvonalakat, a porlasztott Ta₂N, és a párologtatott Au réteg jellemzőit pedig állandó értéken tartottuk. Ugyancsak egyformán történt az arany galvanikus vastagítása is. A különbözőképpen előállított rétegek jellemzőit a 2. ábrán foglaltuk össze. A felületi ellenállásértékeket 4 tús mérés és szelektív kémiai maratás segítségével határoztuk meg.

A veszteségmérés gyűrűs rezonátorokkal történt. Megmértük a rezonátorok jósági tényezőjét, s ezek alapján kiszámítottuk a veszteségértékeket [7–8]. A rezonátorok hullámellenállása 50 Ohm, az első rezonancia frekvencia 2,5 GHz volt. A veszteségmérés hibája nem haladta meg az 5%-ot [8]. Mérési eredményeink a 3. ábrán láthatók. Az ábrán feltüntettük, homogén arany vezetőréteget feltételezve (tehát ellenállás és köztes fémrétegek nélkül), az elméletileg kiszámolt veszteséggörbét is [7]. (A 2. és 3. ábra jelölései egyeznek.)

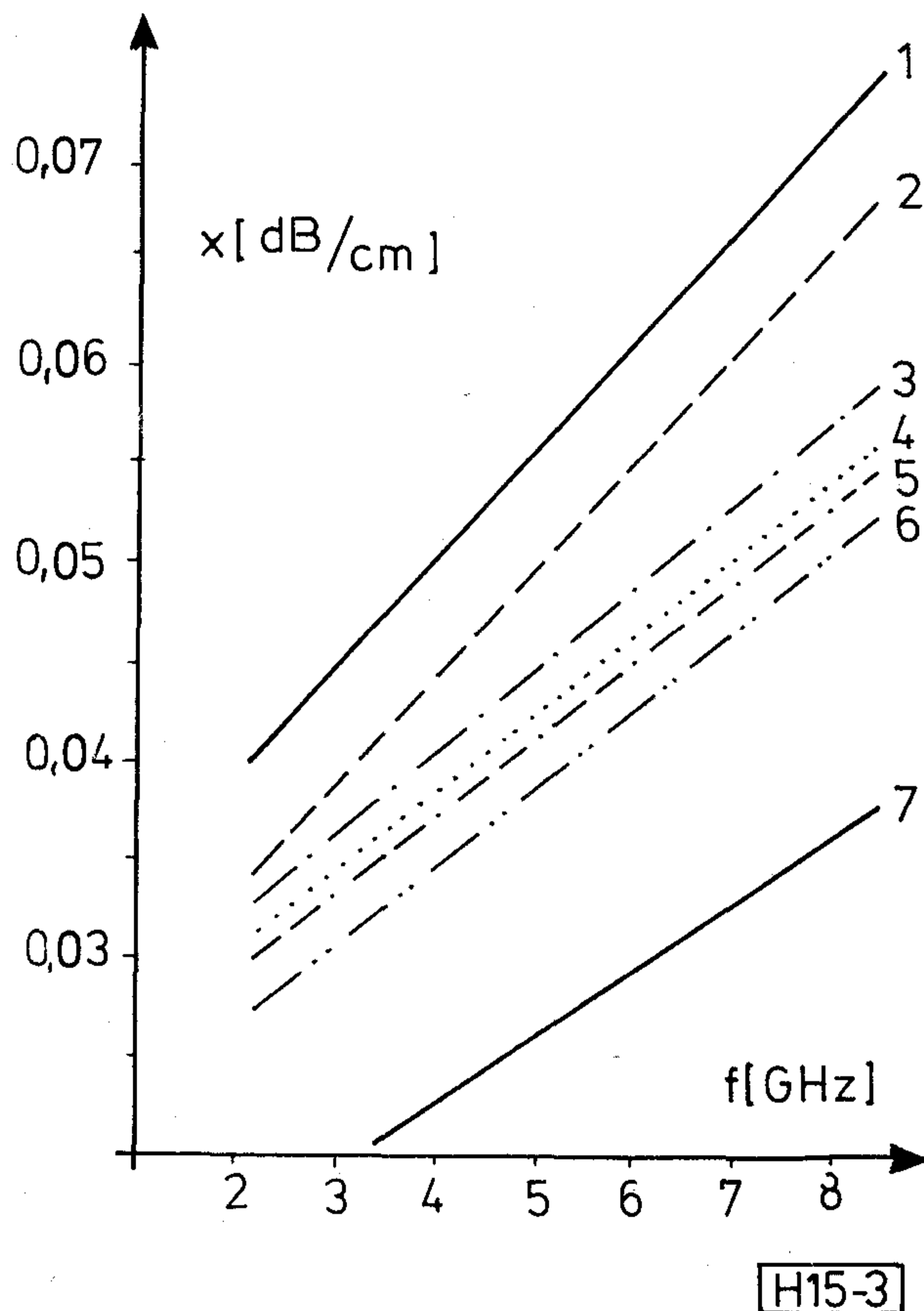
A kísérleti eredményeket értékelve megállapítható, hogy a mért veszteségek minden esetben nagyobbak (legalább 50%-kal) az elméleti értéknél. Ez a hordozó felületi érdességének hatásával, az arany alatti Ta₂N-Ti-NiCr rétegek jelenlétével, továbbá a különböző réteghibákkal magyarázható. Mivel a

galván arany rétegünk fajlagos ellenállása nagyobb a tömör anyagra jellemző értéknél (2,44 μΩ·cm), ez önmagában is 3–6%-os veszteségnövekedést jelent.

Vizsgálatainkban a veszteséget befolyásoló tényezők közül csak a Ti és a NiCr rétegek vastagságát változtattuk. Méréseinkből így a különböző tulajdonosságú rétegek kombinációk egymáshoz viszonyított veszteségértékeire lehet csak következtetni. A vastag aranyréteg nagyobb fajlagos ellenállása, a hordozó érdessége, a rajzolat kialakítási technológia, az esetlegesen fellépő réteghibák stb. hatását a különböző kísérleti sorozatokban egyformának tételeztük fel. Ez a feltétel — valószínűleg — nem mindig helytálló. Így a változtatott Ti és NiCr rétegek veszteséget befolyásoló hatása mellett egy kevésbé kézbe tartható tényezővel is számolni kellett. Ezt az eredmények értékelése során nem szabad teljesen figyelmen kívül hagyni.

A táblázatokból látható, hogy a Ti réteg esetén a négyzetes ellenállás értékét a kezdeti ~25 Ω/□ értékről ~1000 Ω/□-re, míg NiCr esetén ~10 Ω/□-ról ~50 Ω/□-re növeltük, ami rétegvastagságban hozzávetőlegesen egy, ill. fél nagyságrend csökkenést jelent. (A rétegek fajlagos ellenállása — főleg kis vastagságok esetén — erősen függ a rétegvastagság értékétől.)

A Ta₂N négyzetes ellenállását kísérletünkben nem változtattuk. Áramköreink tervezésénél ugyanis a névlegesen 50 Ω/□ felületi ellenállástól (ami technológiai megvalósítás során 30–40 Ω/□ értéket



3. ábra. A különböző fémréteg kombinációjú (ld.: 2. ábra) szalagtápvonalak veszteségének frekvencia függése

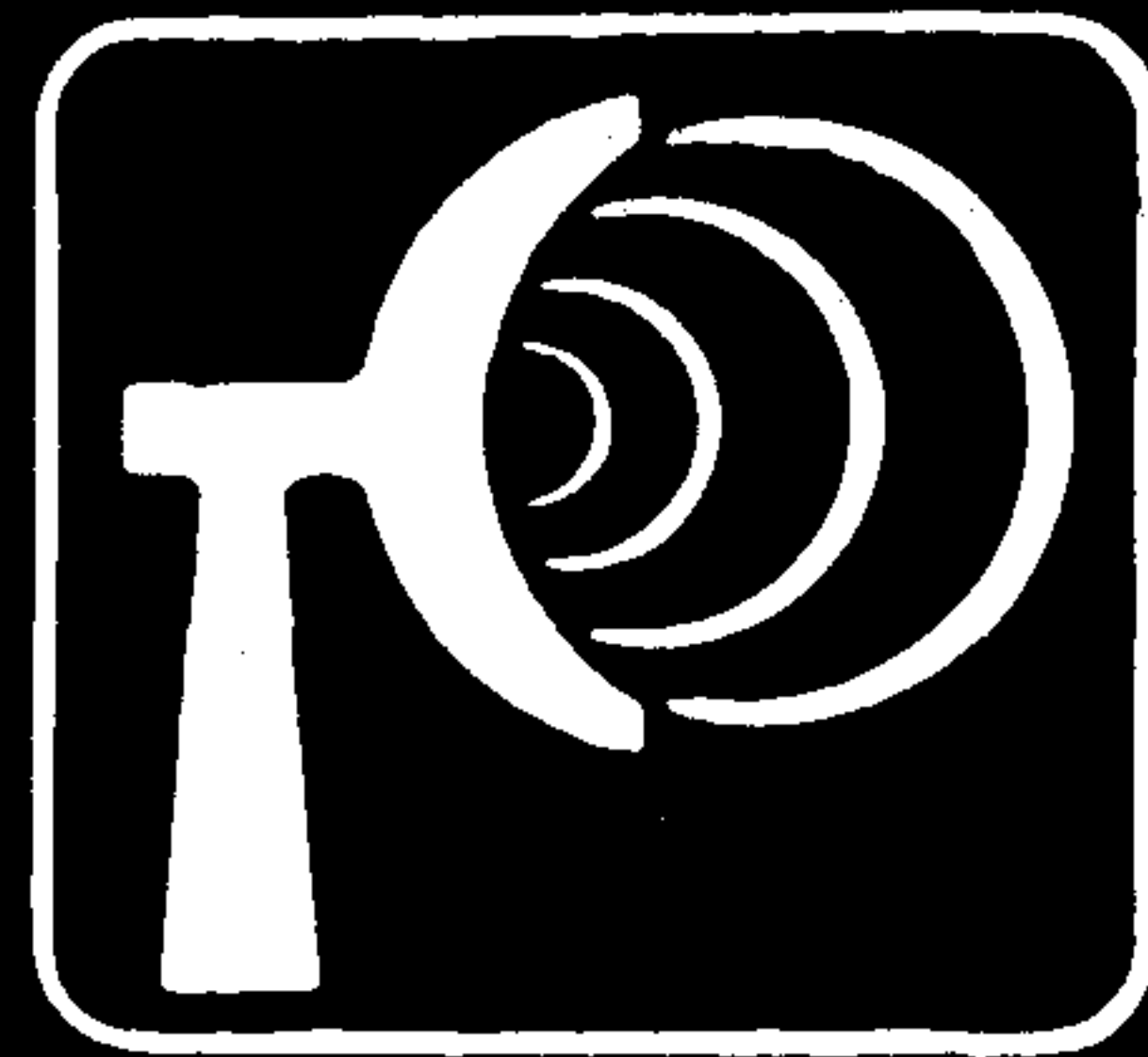
jelent) nem kívántunk eltérni, hogy biztosítani lehessen az ellenállások értékállítását. A felületi ellenállás jelentősebb megváltoztatása ugyanis egyben az áramkörök maszkjainak megváltoztatását is maga után vonná.

A 3. ábrán látható, hogy a Ti és NiCr rétegvastagságának csökkentésével (négyzetes ellenállásnak növelésével) 25–30% veszteségsökkentést sikerült megvalósítani, ami 8 GHz frekvencián 0,05–0,055 dB/cm értéket jelent. Ez megfelel, vagy valamivel jobb az irodalomban publikált értékeknél [7, 9–12].

A rétegvastagság értékek további csökkentésének a Ti és a NiCr rétegekkel szemben megkívánt funkció ellátása szab határt. A további vastagságsökkentés esetén — az előállítás reprodukálási problémái mellett — nem biztosítható a Ta-NiCr közötti fémes kontaktus, ill. nem akadályozható meg a Ti és az Au egymásba diffúziója.

I R O D A L O M

- [1] *Vértesy M., Ducza I., Koltai M., Izsák T., Farkas E.*: Alkatrészkonferencia. Székesfehérvár, 1977.
- [2] *Koltai M., Vértesy M., Zsoldos B.*: Mikrohullámú szeminárium. Budapest, 1980.
- [3] *L. Young, H. Sobol*: Advances in Microwaves. Acad. Press, New York, 1974.
- [4] *M. V. Schneider*: Bell STJ, 48, 1421–1444, May–June, 1969.
- [5] *R. A. Pucel, D. J. Masse, C. P. Hartwig*: IEEE Trans. Microwave Theory and Techn. MTT-16, No. 6, pp. 342–350, 1968.
- [6] *E. Belohoubek, E. Denlinger*: IEEE Trans. Microwave Theory and Techn. MTT-23, pp. 522–526, 1975.
- [7] *S. Hagelin, L.-D. Wernlund*: Properties of microstrip transmission lines, FOA 3 Rapport, C 3769-E2. Juni, 1974, Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm.
- [8] *Vértesy M.*: TKI Közleményei (megjelenés alatt).
- [9] *G. P. Ferraris*: Thin Solid Films. 24, 113–124, 1974.
- [10] *H. Meinel, B. Rembold, W. Wiesbeck*: Electrocomponent Science and Technology. 4, 143–146, 1977.
- [11] *S. Mahapatra, S. N. Prasad*: IEEE Trans. on Comp., Hybrids, M. Technol., CHMT-1, pp. 428–431, 1978.
- [12] *P. C. Malmin*: Electrocomponent Science and Technology. 4, pp. 79–83, 1977.



TELEKOM TELECOM

„Telekom” rádióelektronikai
és hírközlő eszközök,
híradástechnikai alkatrészeket és műszereket,
valamint műszaki szolgáltatásokat exportáló
és importáló külkereskedelmi társaság.

VITIO „TELEKOM”

Szófia – Bulgária

Washington u. 17.

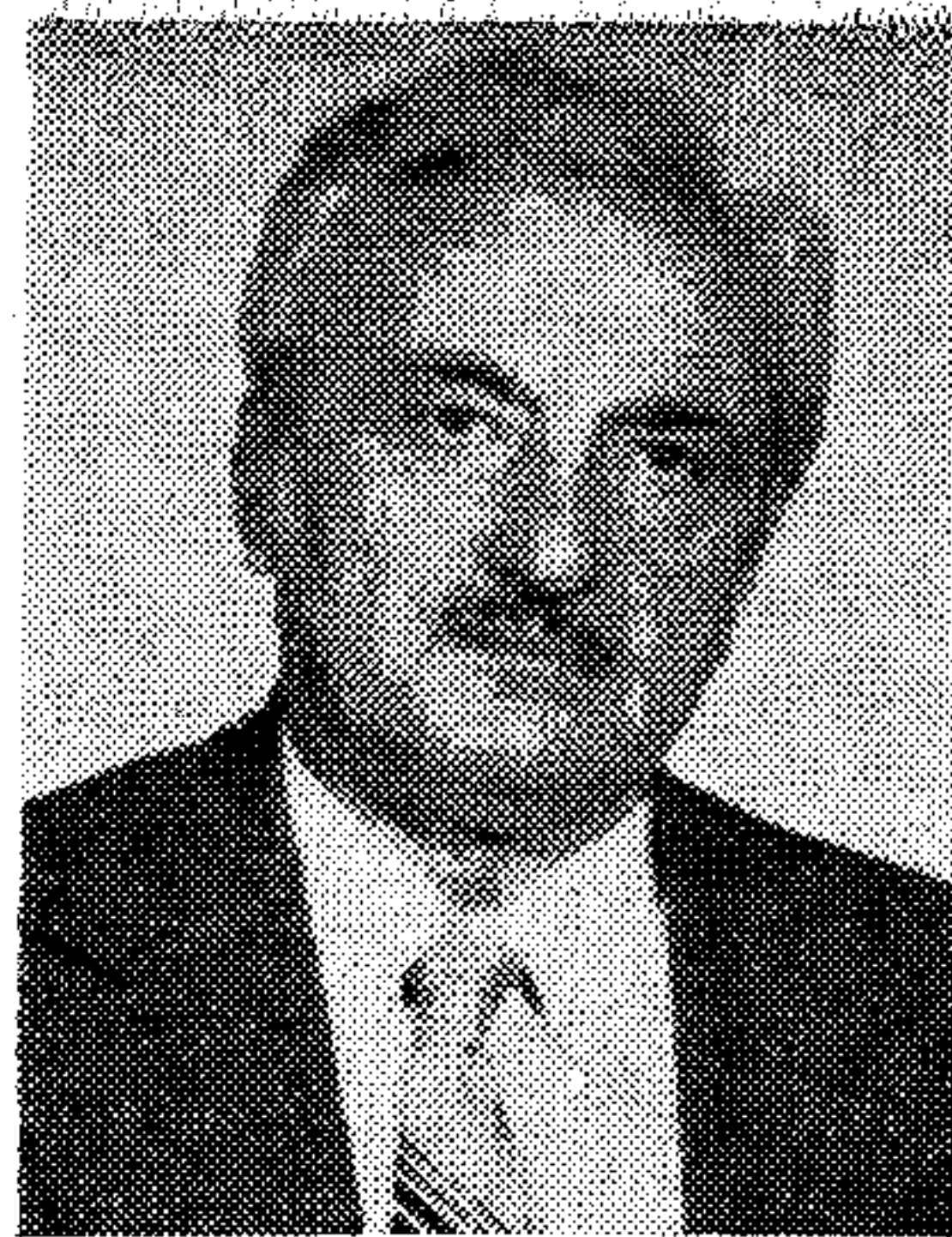
Telefon: 86-181

Telex: 022075, 022076



Nyomtatott huzalozású lemezek csatlakozóinak aranyozása

DR. STEINER IVÁN
Mikroelektronikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

A nyomtatott huzalozású lemezek csatlakozósávjait elektrolitikus úton leválasztott kopásálló kemény arany réteggel kell bevonni. A csatlakozósávok megbízhatóságának leglényegesebb tényezői a keménység, a pórusmentesség és a sima felület. Az aranyozás minőségét (pórusosság, Co-tartalom stb.) különböző paraméterek, mint a leválasztási hőmérséklet, idő, áramsűrűség és az adalékanyag-koncentráció függvényében vizsgálták. A kísérleteket savas, citrátos aranyfürdőben végezték. Megvizsgálták a fürdő Co^{2+} és Co^{3+} koncentrációját, valamint a leválasztott réteg kristályszerkezetét, tapadását és pórusosságát. Az eredményeket grafikonon, metallográfiai metszeteken, SEM felvételeken és atomabszorpciós spektroszkópia útján mutatják be. A vizsgálatok alapján megállapították az optimális leválasztási feltételeket.

1. Bevezetés

A nyomtatott huzalozású lemezek csatlakozósávjai a lemezeknek a rendszer többi részével való biztonságos összekötését szolgálják. A csatlakoztatás ebben az esetben közvetlenül, szintén aranyozott dugaszolósávokkal történik. A biztonságos érintkeztetés, azaz a lehető legkisebb érintkezési ellenállás megvalósításához elsősorban a csatlakozók felületének korrózióállósága és a számos ki- és bedugaszolásaival kapcsolatos megbízhatóság céljából a felület kopásállósága a legfontosabb követelmény.

A fenti követelmények kielégítésére a legmegfelelőbbnek a csatlakozósávok felületeinek kemény arannyal történő galvanikus aranybevonata felelt meg. Ezt a bevonatot a felületre elektrolitikusan leválasztott kb. 2–2,5 μm vastagságú kobalttal ötvözött aranyrétegből valósítják meg. Az aranyban a vörösréz alsó rétegbe való bediffundálása megakadályozásának a céljából a vörösréz hordozórétegre először 5–6 μm vastag elektrolitikus nikkelréteget választanak le.

Az arany árának rendkívüli növekedése egyre szükségesebbé tette az érintkezőkön az arany mennyiségének a lehető legnagyobb mértékű csökkentését. Ez többféleképpen történhet:

1. Az aranybevonat vastagságának, illetve az aranyozott felületnek a lecsökkentése (szelektív aranyozás).
2. Az arany mellett kevésbé nemes fémeket tartalmazó ötvözetek leválasztása.
3. Az arany helyettesítése más nemesfémekkel, vagy kevésbé nemes fémek ötvözeteivel.
4. Az arany helyettesítése az ötvözőfémmel. Ilyen pl. a palládium–nikkel, vagy ón–ólom bevonat.

Miután az arany által biztosított igen csekély érintkezési ellenállás, a kemény arany (kobalttal ötvözött) kiváló kopásállósága és az oxidálódással szembeni ellenállósága egyéb fémek, ill. ötvözetek alkalmazásával nehezen közelíthető meg, az Egyesült Államokban bevezetett gyakorlat alapján az arany megtakarítást elsősorban az aranyréteg vastagságának a csökkentésével, ill. szelektív aranyozással kívánják elérni. Az Egyesült Államokban az aranyréteg minimális vastagságát 0,7 μm -ben állapították meg, a nálunk előírt minimális 1,5 μm vastagsággal szemben. A jelenlegi hazai előírások és gyakorlatok szerint a csatlakozósávokra 2,0–2,5 μm vastag aranyréteget választanak le.

DR. STEINER IVÁN

Vegyészi diplomáját az Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerezte. Először az Egyesült Izzó Kutatólaboratóriumában, majd a Konverta Gyárban dolgozott, majd 20 évig a Híradástechnikai Anyagok Gyárában mint főkonstruktor, főtechnológus, majd mint főmérnök

híradástechnikai és elektronikai alkatrészek fejlesztését irányította. 1976 óta a HIKI-ben, ill. a MEV-ben dolgozik mint főosztályvezető. Művelt szakmai területe elsősorban a nyomtatott huzalozások és a mágneses anyagok.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Lúgos aranyfürdők

Az arany az ezüsthöz hasonlóan csak igen kis túlfeszültségű negatív potenciált igényel az ionos állapotból a fémes állapotba történő redukcióhoz, így a szabad ionokat tartalmazó oldatokból az alapfémen a mártáskor gyorsan, azonban nem tapadó bevonat képződik. Az ilyen elektrolitokból nagyszemcsés bevonatok válnak le [1].

Az aranyat először alkálikus cianid oldatokból választották le. Az állandó színű kemény aranyötvözeteknek az alkálikus cianid oldatból történő leválasztása azonban korlátozott, mivel a cianid-ionokkal komplexeket képező kobalt, nikkel, vagy egyéb ötvözőfémek folyamatos együttleválasztásához a szabad cianid pontos ellenőrzése szükséges [1].

F. Volk megállapította [2], hogy a szabad cianidot kis értéken kell tartani. Ettől kezdve az aranycianidok helyett (mely esetben szabad cianid volt szükséges) az aranyat $\text{KAu}(\text{CN})_2$ alakban adagolták. Ennek ellenére a szabad cianid felhalmozódása nehézségeket okozott és a fürdő állandó vegyi elemzése volt szükséges.

Jelentős technológiai előrehaladást jelentett Rinke és Duva [3] azon megállapítása, hogy a $\text{KAu}(\text{CN})_2$

Beérkezett: 1984. IX. 5. (A).

pH=3 értékig is stabil. Így megszüntethető volt a szabad cianid jelenléte és a kobalt, nikkel, vagy egyéb fémek az arannyal együtt folyamatosan voltak leválaszthatók és kemény bevonatokat valósítottak meg.

A savas aranyfürdők az 1960-as években gyorsan elterjedtek. Az úgyszólván kizárólag $\text{KAu}(\text{CN})_2$ alapú oldatok pH-ja 3,0–6,0-ig terjed, az ötvözet oldatok pH értéke pedig 3,0–5,0 között fekszik. A $\text{KAu}(\text{CN})_2$ mellett az oldatok vezető sókat, például szerves, vagy szerves savak sóit, különösképpen citrátokat, vagy foszfátokat is tartalmaznak. Ezenkívül az együttleválasztás céljára az ötvözőfém komplex- és kelát vegyületeit is tartalmazzák.

2.2. Savas elektrolitok

A savas aranyfürdők az alábbi csoportokra oszthatók [1]:

- Aranyötvözet oldatok.
- Tiszta aranyoldatok.
- Előaranyozó elektrolitok.

Ez utóbbiak aurocianid és auricianid oldatokra oszthatók.

Megállapították, hogy a savas aranyoldatokból a nikkel vagy a kobalt egyenletesebben választhatók le és ugyanakkor a bevonat keménysége és egyéb tulajdonságai is előnyösen változnak. Ezt a lehetőséget azonban a gyakorlatban csak jóval később használhatták ki, mivel ismeretes volt, hogy a vörösréz és az ezüstözött elektrolitok 5,5, illetve 6,5 pH alatt szétbomlanak és feltételezték, hogy az arany-cianidos oldatok hasonlóképpen viselkednek [1].

A savas aranyozó elektrolitok jelentősége és az elektrolitok fejlődése az 1950-es évek végén gyorsult meg a nyomtatott huzalozások elterjedésével. A nyomtatott huzalozású lemezek csatlakozósávjainak aranyozásához (ami a jelen tanulmány tárgyával is összefügg) hagyományos alkálikus elektrolitokat alkalmaztak, ami a következő hátrányokkal járt:

- A nagy hőmérsékletű és nagy pH értékű aranyfürdők megtámadták a vörösréz fólia és az alaprétegelés (fenolgyanta papír vagy epoxigyanta-üvegszövet) közötti ragasztóréteget.
- A bevonatok kopásállósága a tiszta aranybevonat viszonylagos lágysága következtében korlátozott volt.

Rinker [4] kis mennyiségű ezüst együttleválasztására vonatkozó eljárása keményebb és finom bevonatot eredményezett (kisebb leválasztási hőmérsékleten), azonban ez nem jelentett teljes megoldást.

Rinker [5] és Erhardt [6] egymástól függetlenül megállapította, hogy a $\text{KAu}(\text{CN})_2$ 3,0 pH-ig szétbomlás nélkül stabil marad. Atwater [7] pH=1,8 oldatot ajánlott, ez azonban túl kis érték volt a $\text{KAu}(\text{CN})_2$ -nek, mint utántöltő oldatnak a gyakorlati alkalmazásához.

2.1.1. Elektrolitok aranyötvözet bevonatok előállítására

Az első $\text{KAu}(\text{CN})_2$ alapú savas aranyelektrolitot Rinker és Johns [8] ismertette és szabadalmaztatta [9]. Ez az elektrolit a $\text{KAu}(\text{CN})_2$ -en kívül vizes oldat-

ban az ötvözőfém sóját is tartalmazza, szerves sav/só, általában citromsav/citrát keverékkel 3,5 pH-ra pufferolva. A pH pufferolásán kívül a citrát az ötvözőfémrel, például kobalttal vagy nikkellel komplexet is képez, melyből a fémionok szabályozható módon választhatók le.

Az irodalom számos komplexképzőt ismertet, melyek általában aminok, mint például tetraetilén-pentamin [10] és EDTA [11], [12]. Ezek összetételét az I. táblázat tartalmazza.

I. táblázat

Összetevő, illetve feltétel	Fürdőösszetétel (g/dm ³) és működési feltételek		
	Rinker—Duva [5]	Ostrow—Nobel [10]	Parker—Powers [11—12]
Au ($\text{KAu}(\text{CN})_2$ alakban)	8	4	12
Citromsav	40	120	105
Nátriumcitrát	40		
Tetraetilén- pentamin		20	
Foszforsav			12,6 cm ³
In [$\text{In}_2(\text{SO})_4$] ₃ alakban)	5		
Ni ($\text{Ni}_3\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_7$ alakban)		2,5	
Co (CoK_2 EDTA alakban)			1
pH	3—5	4,0	3—4,5
Hőmérséklet, °C	szobahőmér- séklet	40	35
Áramsűrűség, A/m ²	0,5—2·10 ²	2·10 ²	0,5—10 ²

A savas aranyozási eljárás általában az ötvözőfém (Co, Ni, In) kis mennyiségű együttleválásával jár, melyet só, komplex vagy kelát alakjában adagolnak a katódon történő leválás céljára. Lényeges a fém és a szabad komplexképző viszonylagos koncentrációja. Például Co esetében bizonyos felesleges mennyiségű nem-komplex Co sónak kell jelen lenni az EDTA oldatokból történő együttleváláshoz, mivel a Co nem válik le a Co—EDTA komplexekből. Az EDTA kompondnál kisebb pH értékű Co komplexek elegendő iont bocsátanak ki az ellenőrizhető együttleváláshoz a komplex pH értékétől és a jelenlevő szabad komplexképző mennyiségétől függően [1].

Ezzel szemben komplexképző anyagot nem tartalmazó oldatokból a savas pH tartományban a fémionok igen gyorsan válnak ki. Például savas foszfátos $\text{KAu}(\text{CN})_2$ oldatokból igen csekély mennyiségű Co vagy Ni jelenlétében a fémionokat hatásosan pufferoló oldat jelenléte nélkül is jól ellenőrizhető együttleválás következik be.

Másrésről viszont bizonyos komplexképzők, mint a tetraetilén-pentamin, 5,0 pH fölött hatásosabbak. A szerves sav/só oldatok előnye az a tény jelenti, hogy ez a környezet mind a hidrogénion, mind a fémion aktivitására pufferként hat, így a folyamat ellenőrzése viszonylag egyszerű [1].

Ch. J. Raub és munkatársai [13] a szerves anyagokat tartalmazó Co- és Ni-tartalmú aranybevonatok tulajdonságait vizsgálták a hőmérséklet és az áram-sűrűség függvényében. Megállapították, hogy a Co-tartalom a hőmérséklet növelésével csökken és a Co-tartalom erősen függ a pH értékétől. A Co-koncentráció $0,02 \text{ A/m}^2$ áramsűrűség fölött erősen csökken és a növekvő Co-koncentráció az oldat hatásfokát nagymértékben csökkenti. Hasonlóképpen az oldatban a használat alatt képződött Co^{3+} cianid komplexből a Co nem épül be a rétegbe és így ennek Co-tartalma csökken. A közlemény nem tér ki a fenti jelenségeknek a bevonat keménységére gyakorolt hatására.

Y. Okinaka és C. Wolowodiuk a cianoaurát(III) képződést vizsgálta cianoaurát(I) tartalmú közömbös és savas aranyfürdőkben [14]. Megállapították, hogy a cianoaurát(III) képződés lecsökkenti az elektrolízis hatásfokát, mivel ennek arannyá történő redukálásához mólónként három farádra van szükség, míg egy mól Au(I) redukálásához csak egy farádra van szükség. Így az Au(III) képződést a minimálisra kell csökkenteni a rétegvastagság megőrzése céljából. A legegyszerűbb módszer, azaz az áramsűrűség vagy az idő megnövelése nem mindig alkalmazható, ezért a platina-anód helyett a kevésbé polarizálódó, például RuO_2 és TiO_2 keverékével bevont titán anód alkalmazását javasolják. A képződő Au^{3+} mennyisége hidrazin adagolásával is csökkenthető. Aktív szén kezelés is eltávolítja az Au^{3+} -ionokat, azonban ezzel együtt jelentős mennyiségű Au^{1+} is eltávolítódik.

Megjegyzik, hogy a keményaranyozó elektrolitok hatásfokát egyéb tényezők (Au^{1+} -és Co^{2+} -koncentráció, pH, hőmérséklet, keverés) is befolyásolják, ezért ezeknek a változóknak a pontos szabályozása is lényeges.

H. Leidheiser és munkatársai [15] a kobalt vegyi állapotát vizsgálták a kobalttal keményített aranyrétegekben. A rétegeket $10,0\text{--}100,0 \text{ A/m}^2$ áramsűrűséggel $32\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C}$ -on, $\text{pH}=4,3\text{--}4,9$ mellett $30\text{--}300$ perces idővel választották le, 57 Co -tal adalékolt citrátos és kevert citrátos-foszfátos elektrolitokból. Mössbauer emissziós spektroszkópiával elemi kobalt, $\beta\text{-CoOOH}$ és azonosíthatatlan termék (valószínűleg cianid) jelenlétét mutatták ki a rétegekben. A vizsgálatokat különböző öregítési idők ($1\text{--}24$ nap) után hajtották végre.

Az ötvözött aranyrétegek pulzáló leválasztását vizsgálta *C. J. Raub és A. Knödler* [16] és megállapították, hogy ezen a módon tömör és feszültségmentes rétegek állíthatók elő. A pulzáló leválasztás megnöveli a réteg Co tartalmát, viszont a szén, a nitrogén, a hidrogén és az oxigéntartalom jelentősen csökken.

W. F. Fluchmann és munkatársai [17] a pulzáló áramnak az arany-kobalt rétegek szerkezetére és tulajdonságaira gyakorolt hatását vizsgálták. Hagyományos, citráttal pufferolt és Co-tartalmú rétegeket választottak le folyamatos módon és különböző be- és kikapcsolási idővel ($10\text{--}20 \text{ ms}$ bekapcsolási és $200\text{--}300 \text{ ms}$ kikapcsolási idők, $10,0 \text{ A/m}^2$ áramsűrűséggel, $30 \text{ }^\circ\text{C}$ -on. Folyamatos leválasztás esetében $5\text{--}50 \text{ \AA}$ méretű és körülbelül $10^{19}/\text{cm}^3$ sűrűségben jelentkező pórusokat és zárványokat észleltek,

míg pulzáló leválasztás esetében nagyobb szemcséket és a pórusok és zárványok teljes hiányát észleltek. A pulzáló leválasztás esetében az érintkezési ellenállás és a fajlagos villamos ellenállás értéke csökkent, viszont a kopásállóság is csökkent.

A kopásállóság csak a többi tulajdonság (duktilitás, fajlagos villamos ellenállás, érintkezési ellenállás, kötési szilárdság) rovására növelhető.

Ezért kettős rétegek alkalmazását ajánlják például érintkezők részére, egy alsó, minimális pórusosságú pulzáló árammal és egy felső, folytonos árammal leválasztott, kopásálló rétegből álló rétegpárral.

A cianidos-citrátos aranyfürdők leválasztási viszonyait az optimális leválasztási paraméterek meghatározásához a Sandia laboratóriumban *J. W. Dini* és *H. R. Johnson* [18] vizsgálták. Felhasználták *Ehrhardt, Eisemann* és *Ginsberg* korábbi eljárásait, melyekben a keményaranyozó elektrolitok nyolc leválasztási változójának hatását vizsgálták. Plackett-Burman elemzéssel megállapították, hogy hat változó közül az aranytartalomon kívül elsősorban az áramsűrűség, a hőmérséklet és az adalékanyag (ötvözőfém) koncentráció a leglényegesebbek, és így az optimális leválasztási paraméterek viszonylag kevesebb számú kísérlettel határozhatók meg.

R. Sard és *G. Baker* [19] az érintkezőkkel kapcsolatos követelményeket foglalják össze. Kiemelik, hogy az érintkezőkben alkalmazott arany mennyiségének csökkentésével csak az arany árának rendkívüli növekedése után kezdtek foglalkozni. Így alakultak ki a szelektív aranyozó eljárások és a rétegvastagság csökkentésére irányuló erőfeszítések. Foglalkoznak a megbízhatóságot befolyásoló tényezőkkel (légnedvesség és légszennyezés hatásával). Ismertetik az alkalmazott alsó réteg (például nikkelt) előnyös és hátrányos hatásait, a keménység és a felületi érdesség jelentőségét. Összefoglalóan megállapítják, hogy az aranyréteg szükséges vastagságát elsősorban a pórusmentesség határozza meg, ebből a szempontból a keménység és a felületi érdesség csak másodlagos jelentőségűek. Túlságosan nagy (400 HVC_{25}) keménység már a réteg elridegését idézheti elő.

3. Kísérleti rész és eredmények

A vizsgálatok célja a vékonyabb ($1 \text{ }\mu\text{m}$ vastag), kobalttal ötvözött aranyrétegek leválasztás-paramétereinek, valamint a leválasztott aranyrétegek tulajdonságainak a megállapítása, és ennek alapján az ilyen rétegek megbízható alkalmazásának az eldöntése volt.

A vizsgálatok további célja a meghatározott leválasztási feltételek alapján az $1 \text{ }\mu\text{m}$ vastag kobalttal ötvözött aranyrétegeknek a csatlakozósávokon történő leválasztása és az iparban való bevezetése volt. Ez a közeljövőben ugyanis mintegy $10\text{--}20$ millió Ft megtakarítást eredményezhet.

A csatlakozósávok aranyozásával szemben támasztott követelmények az alábbiak:

Tisztaság:	99,8
Bevonat sűrűsége:	$16,7 \pm 1 \text{ g/dm}^2$
Pórusosság:	$1 \text{ }\mu\text{m}$ vastag réteg esetében 50 pórus/cm^2

2 μm vastag réteg esetében
15 pórus/ cm^2
3 μm vastag réteg esetében
4 pórus/ cm^2
Keménység: 120–190 kp/ mm^2 HVM
Kopásállóság: 500 be- és kidugaszás

A kísérleti feltételeket elsősorban *J. W. Dini* és *H. R. Johnson* már említett [18] Planckett-Burman elemzése, valamint a nyomtatott huzalozású lemezek csatlakozósávjai aranyozásának üzemi feltételeit figyelembe véve állapítottuk meg.

Elektrolitként Magyarországon a csatlakozósávok aranyozásához elterjedten alkalmazott SEL-REX gyártmányú AUTRONEX CC, Co adalékanyagú kálium-aranycyanidos citrátos elektrolitot alkalmaztunk. Az elektrolit összeállításához hazai gyártmányú alt. tisztaságú $\text{KAu}(\text{CN})_2$ -t, adalékanyagul pedig AUTRONEX CC „B” adalékot használtunk, amely literenként 3 g Co-t tartalmaz.

Ugyanezen aranytartalom mellett (8 g/l Au), különböző kobalttartalmú elektrolitokat készítettünk, 0,45, 0,90, 1,80, 2,25 és 2,70 g/l Co-tartalommal, a Co hatásának megvizsgálása céljából. Az aranyrétegeket az iparban általánosan használt FR-4 minőségű 35 μm vastag vörösréz fóliával borított rétegelt lemezekre választottuk le, az alaplemezeket a szokványos módon előkezeltük. Az anód platinaháló volt. A katód (vörösrézrel borított rétegelt lemez) felüte 3600 mm^2 , az anódé kb. 3300 mm^2 volt. A leválasztásokat 250 cm^3 -es, keverővel ellátott Hull-cellában hajtottuk végre. A 250 cm^3 -es Hull-cellában a cellára adott 1 A-es áramsűrűség esetében az áramsűrűség a katód felületén az anódhoz legközelebb eső pontot 0 cm-nek véve, a katód hosszúságában a II. táblázat szerint oszlik meg [20].

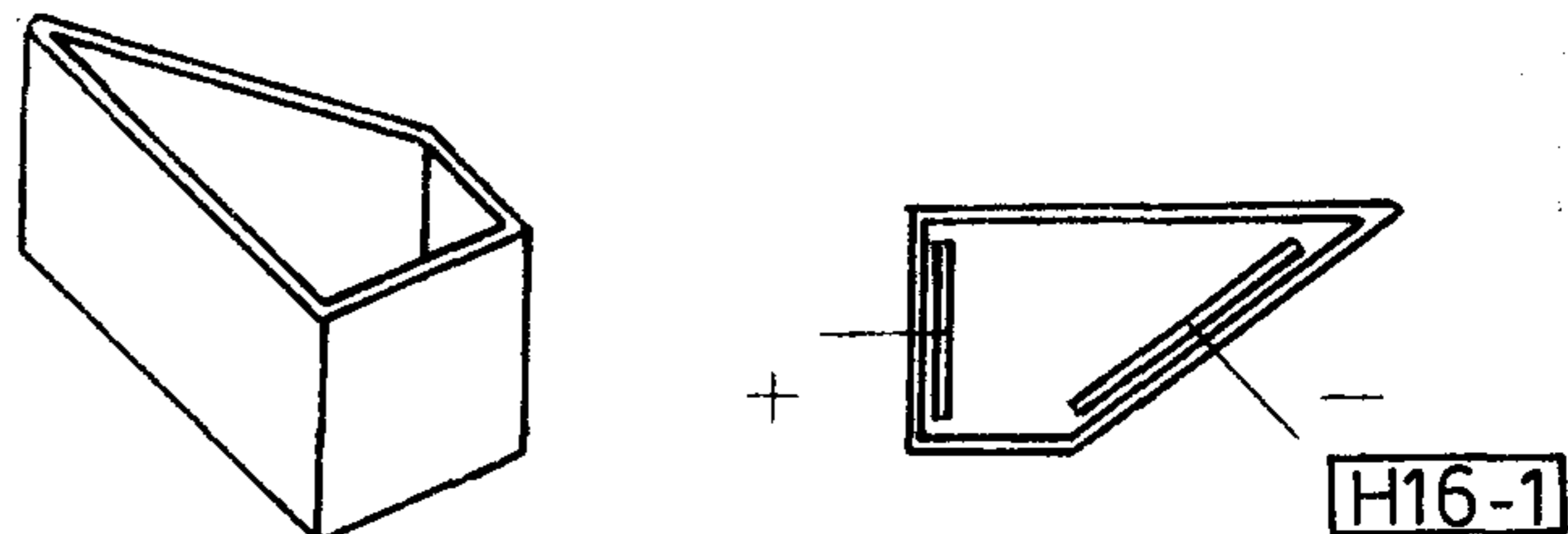
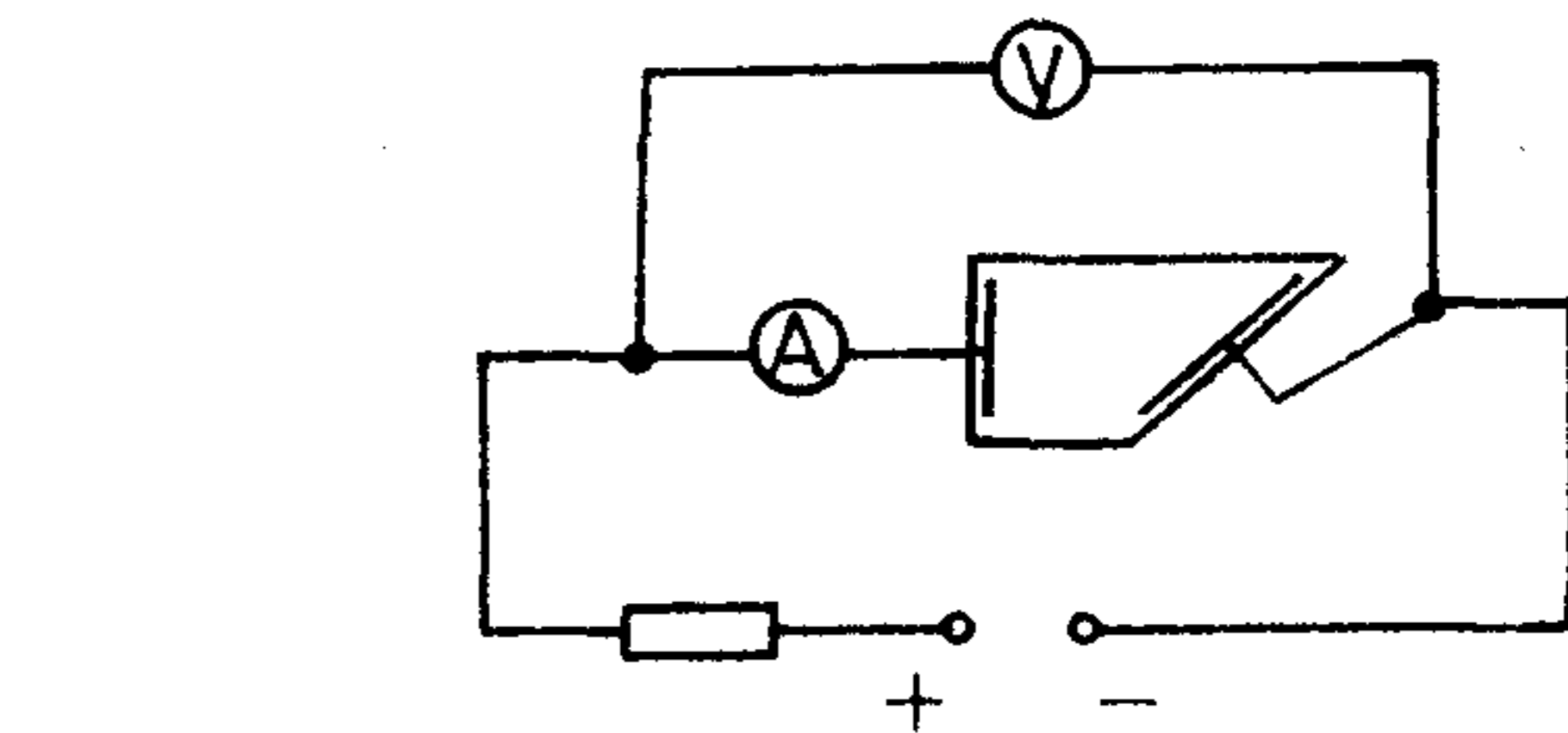
Áramsűrűségek a 250 cm^3 -es Hull-cellában 1 A-es áramerősség esetében a katód hosszúsága mentén

II. táblázat

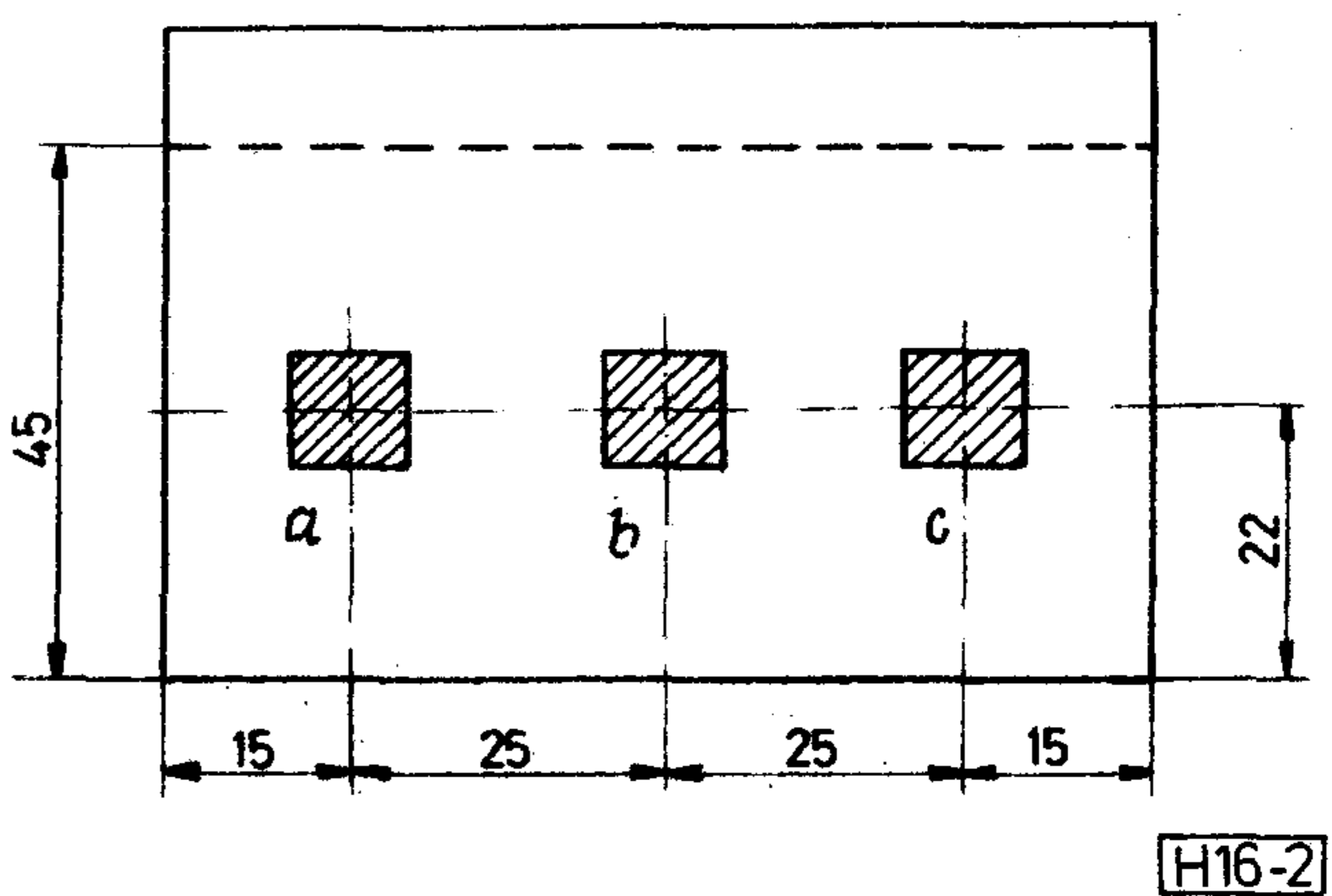
Távolság a 0-ponttól cm-ben	Áramsűrűség, A/ m^2
0	—
1	500
1,5	418
2	352
2,5	301
3	260
3,5	225
4	194
4,5	167
5	143
5,5	122
6	102
6,5	84
7	67
7,5	51
8	36

A leválasztásokat 25 °C, 35 °C, 45 °C és 55 °C-on végeztük, 1, 2, 3 és 4 perc ideig. Az elektrolit pH-ja minden esetben 4,9–5 volt, ezt citromsavas, káliumcitrátos pufferoldattal állítottuk be.

A cellafeszültség 2,0 V volt. A kísérleti elrendezést az 1. ábra mutatja, a mintavételezés helyeit a próbatesten pedig a 2. ábra. A Hull-cellában az „a”, „b” és „c” mintavételezési felületen az áramsűrűség



1. ábra. Kísérleti elrendezés



2. ábra. Mintavételezési helyek

84 A/ m^2 , 194 A/ m^2 , ill. 418 A/ m^2 volt. A fenti kísérleti feltételekkel (leválasztási idő, leválasztási hőmérséklet, fürdőösszetétel, áramsűrűség) 240 db próbatestet kaptunk, amelyeken a következő vizsgálatokat hajtottuk végre.

- Rétegvastagság-mérés (minden próbatesten).
- Szerkezetvizsgálatok (SEM felvételeken, kiválasztott próbatesten).
- Mikrokeménység-mérés (kiválasztott próbatesten).
- Pórusosságvizsgálat (kiválasztott próbatesten).
- Réteg tapadásának vizsgálata (kiválasztott próbatesten).

Mértük ezen kívül az elektrolitok teljes Co-tartalmát, valamint a használt fürdők Co^{2+} - és Co^{3+} -tartalmát. A kapott rendkívüli mennyiségű adat ismertetésére a közlemény keretén belül nem térhetünk ki, így csak az eredmények szempontjából döntő jelentőségű adatokat tárgyaljuk.

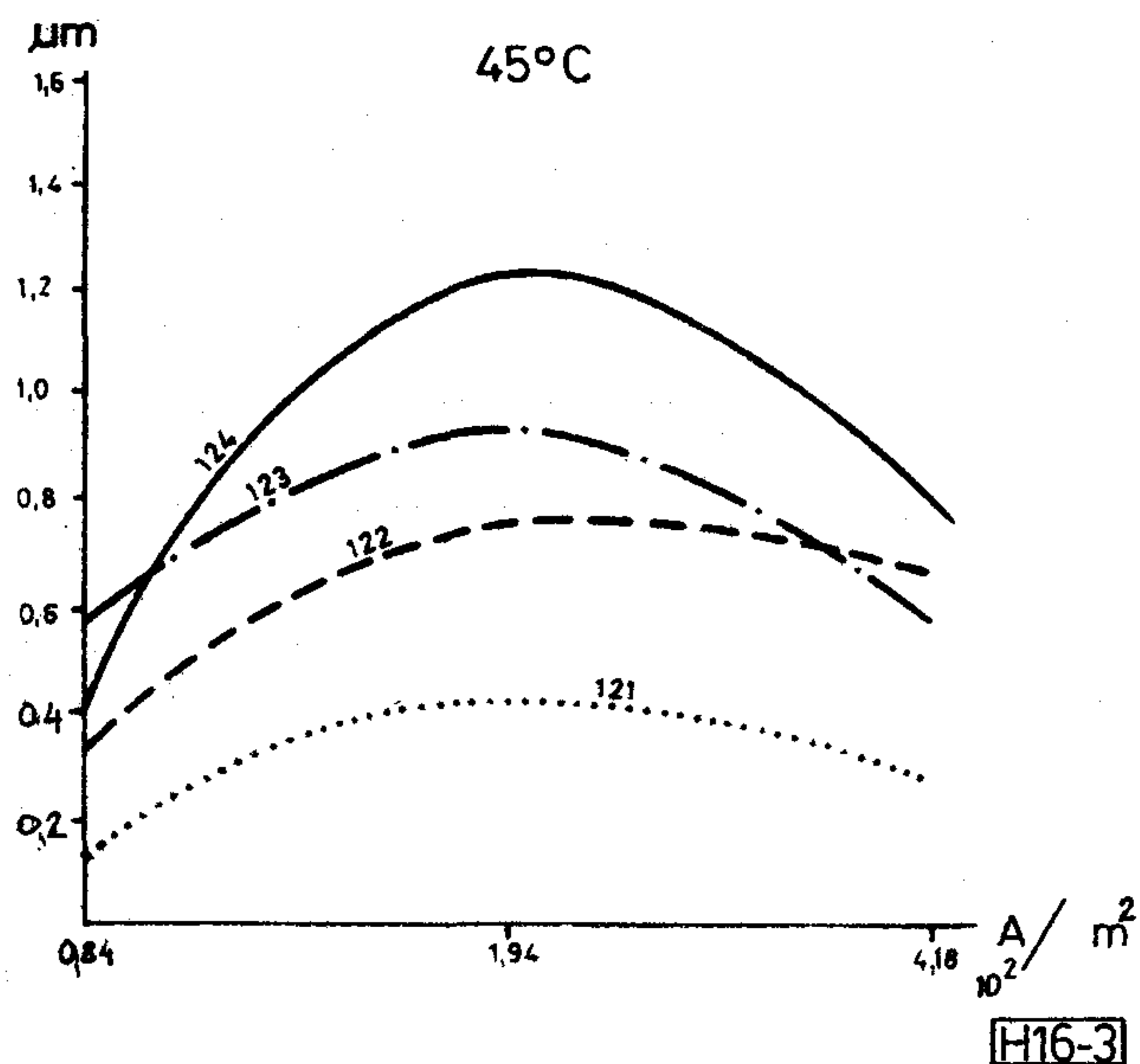
A rétegvastagság-méréseket Microderm MP 800 típusú β -sugárzás-visszaverő berendezéssel mértük. A kapott rétegvastagságokat 5 áramsűrűség függvényében különbözőképpen ábrázoltuk. Először egy meghatározott hőmérsékletre vonatkozó diagramra az 1, 2, 3 és 4 perces leválási rétegvastagságokat tün-

tettük fel. Jellemzők erre a 3. és a 4. ábra diagramjai, ahol ezeket összehasonlítva, a hőmérséklet, az adalékanyag-koncentráció hatása érzékelhető.

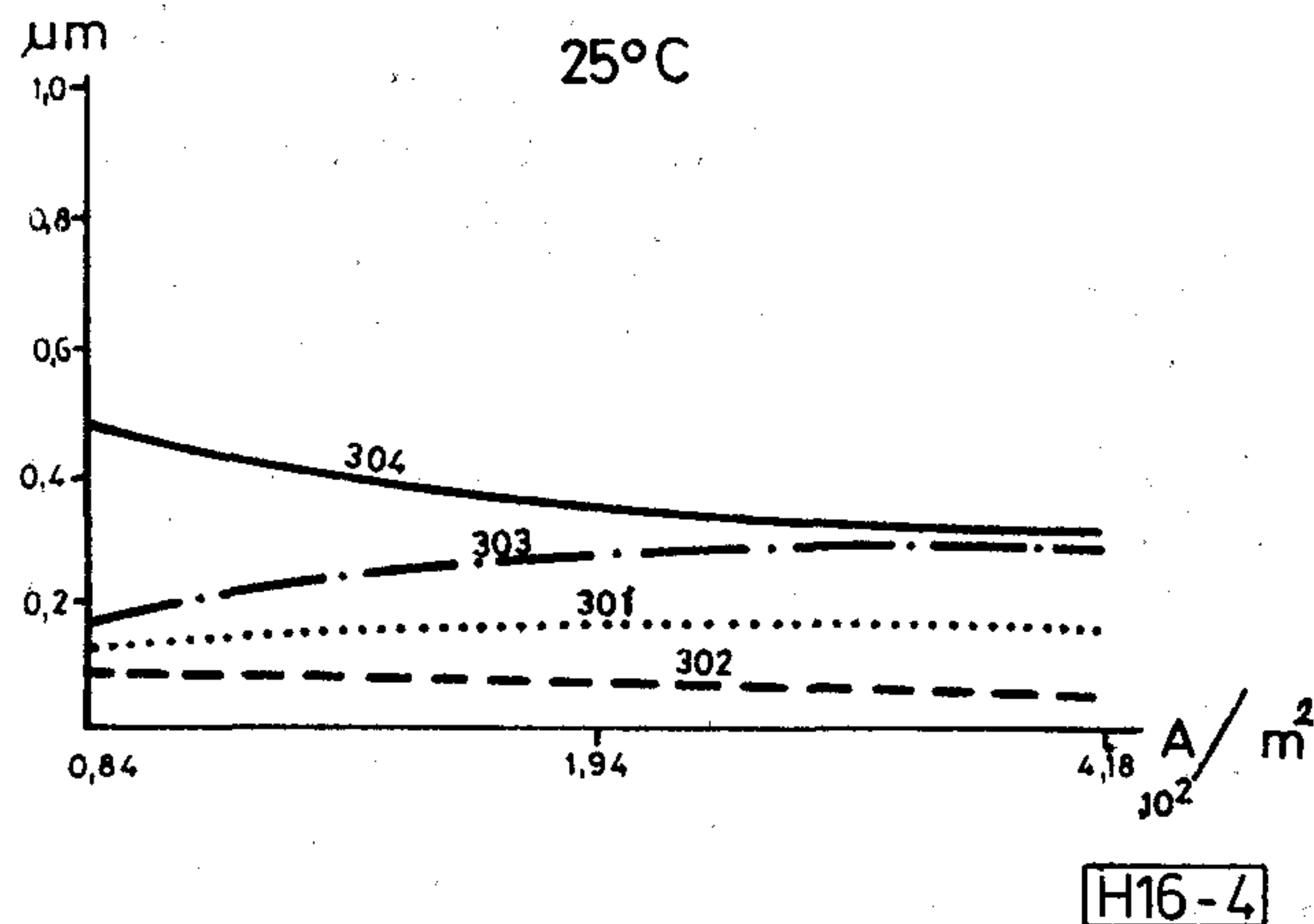
A rétegvastagságokat a következőkben az áram-sűrűség függvényében úgy ábrázoltuk, hogy egy meghatározott adalékanyag koncentrációjára vonatkozó diagramon a 25 °C, 35 °C, 45 °C és 55 °C-on levált rétegvastagságok vannak feltüntetve. Jellemzők erre az 5. és 6. ábrák, ahol az adalékanyag-koncentráció hatása észlelhető. Végül a rétegvastagságot az áram-sűrűség függvényében úgy ábrázoltuk, hogy egy meghatározott hőmérsékletre vonatkozó diagramon a különböző adalékanyag-koncentrációkon levált rétegvastagságok vannak feltüntetve. Jellemzők erre a 7. és 8. ábrák, melyek összehasonlítása jól mutatja az adalékanyag-koncentráció hatását az ugyanazon idő alatt és hőmérsékleten levált rétegvastagságra. A rétegvastagság-mérésekből egyértelműen megállapítható volt, hogy kb. 1 μm vastag réteget megbízhatóan 3–4 perc alatt lehet leválasztani, legkedvezőbb adalékanyag-koncentráció 1,8 g/l Co volt és a leválasztás kedvező hőmérséklete 35–45 °C. Ugyanakkor azt is megállapítottuk, hogy a kedvező áram-sűrűség kb. 180–220 A/m², kisebb áram-sűrűségek esetében, mint a diagramokból is megállapítható, a levált réteg természetesen vékonyabb, nagy áram-sűrűségek mellett pedig polarizálódás következtében a leválás korlátozott.

A rétegvastagság-méréseket az elektronmikroszkópos szerkezetvizsgálatok teljes mértékben alátámasztották.

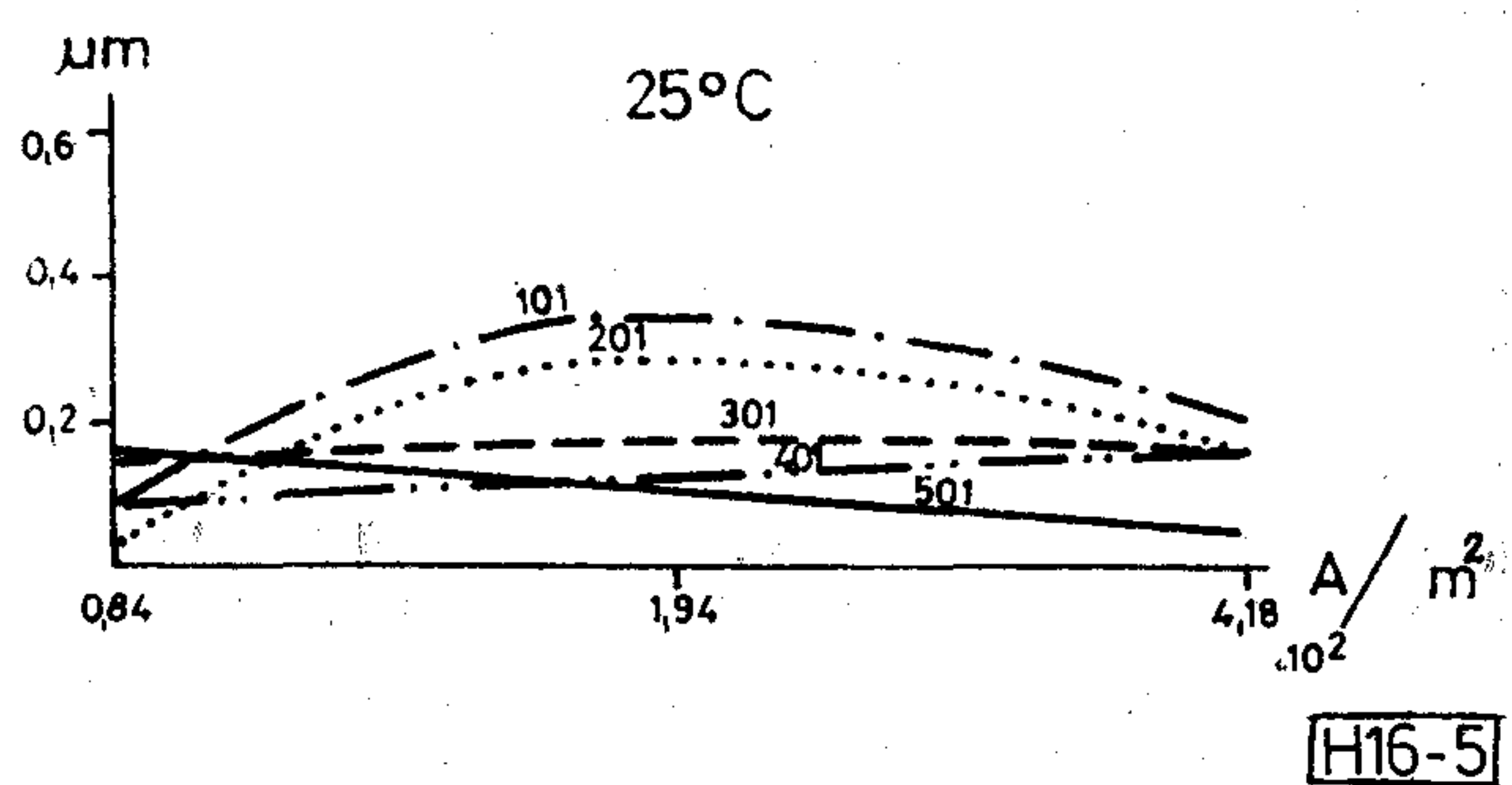
Kis (0,45 g/l Co) adalékanyag-koncentrációk esetében kisebb (25 °C-os) hőmérsékleten az áram-sűrűség növekedésével egyre erősebb dendrites szerkezet képződik (9. és 10. ábra). Ugyanez a jelenség mutatkozott 55 °C esetében is (11. ábra). Ugyanakkor 45 °C-on egyenletesebb leválás mutatkozott (12. ábra). A legkedvezőbb szerkezet a közepes (1,80 g/l) Co-tartalom mellett, közepes (~200 A/m²) áram-sűrűsége-



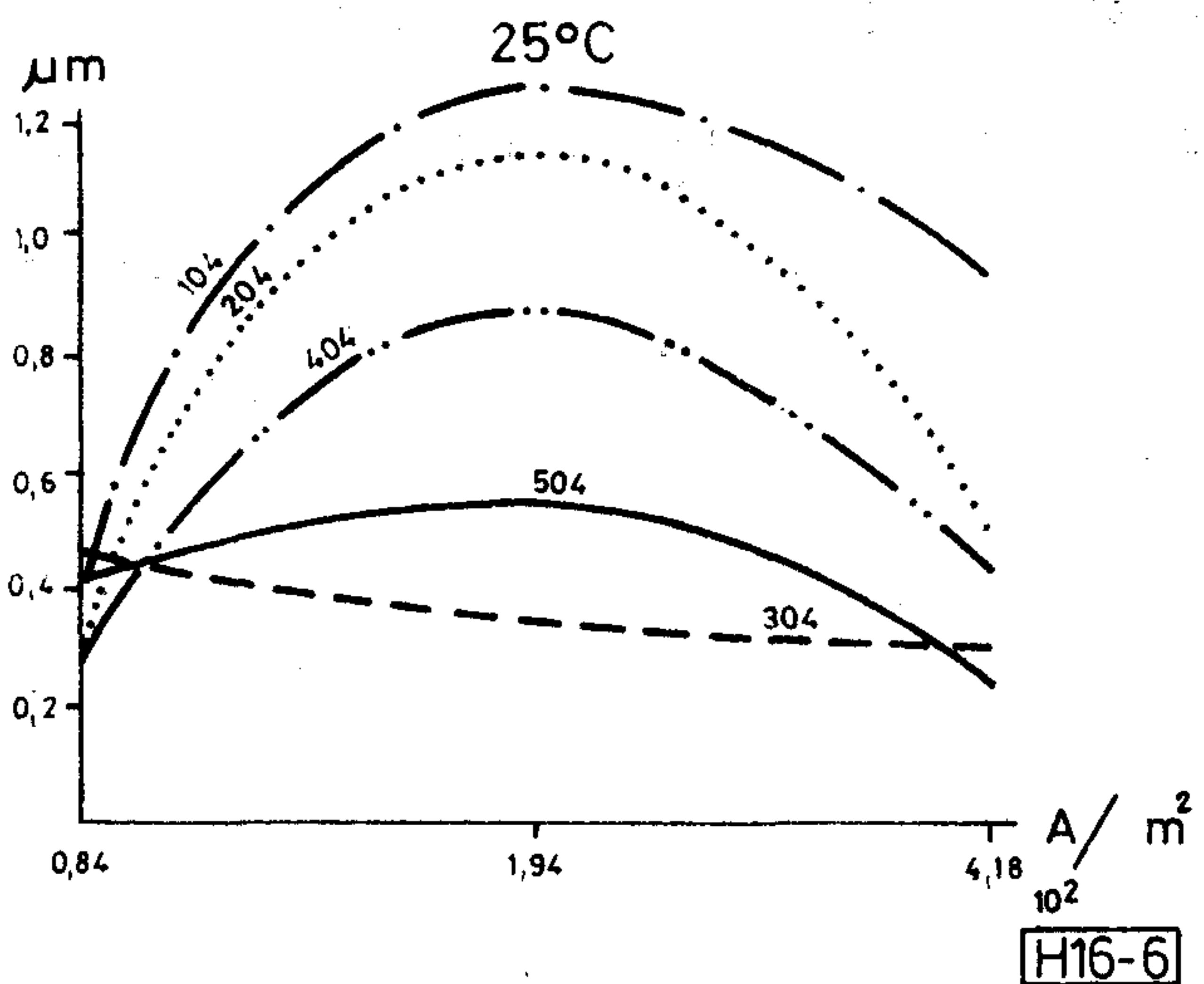
3. ábra. A rétegvastagság az áram-sűrűség függvényében 1,80 g/l adalékanyag esetén 45 °C-on. 121 = 1 perc; 122 = 2 perc; 123 = 3 perc; 124 = 4 perc alatt



4. ábra. A rétegvastagság az áram-sűrűség függvényében 0,90 g/l Co-adalékanyag esetén 25 °C-on. 301 = 1 perc; 302 = 2 perc; 303 = 3 perc; 304 = 4 perc alatt



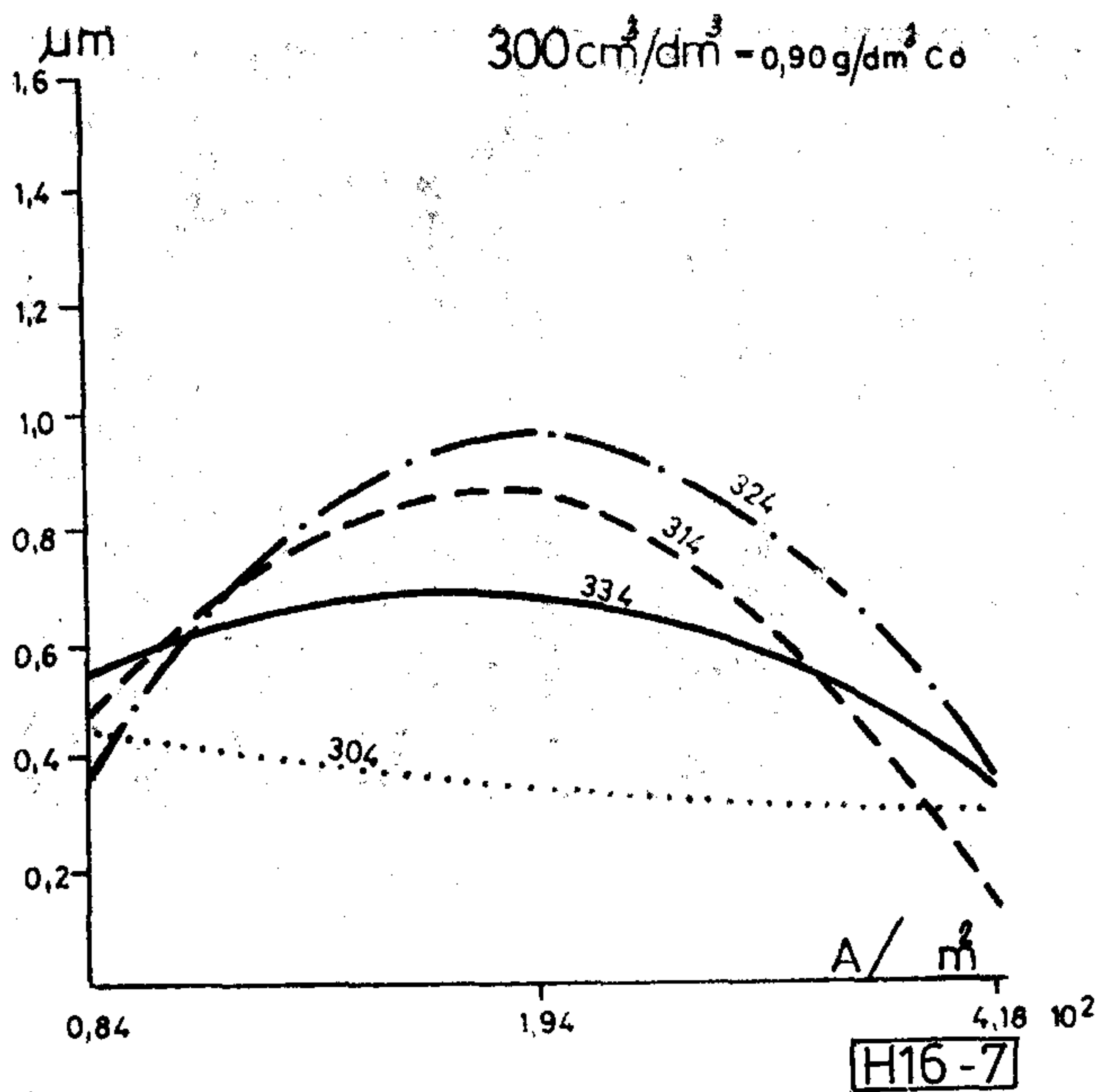
5. ábra. A rétegvastagság az áram-sűrűség függvényében 1 perc alatt 25 °C-on. 101 = 1,80 g/l; 201 = 0,45 g/l; 301 = 0,90 g/l; 401 = 2,45 g/l; 501 = 2,70 g/l Co-tartalom



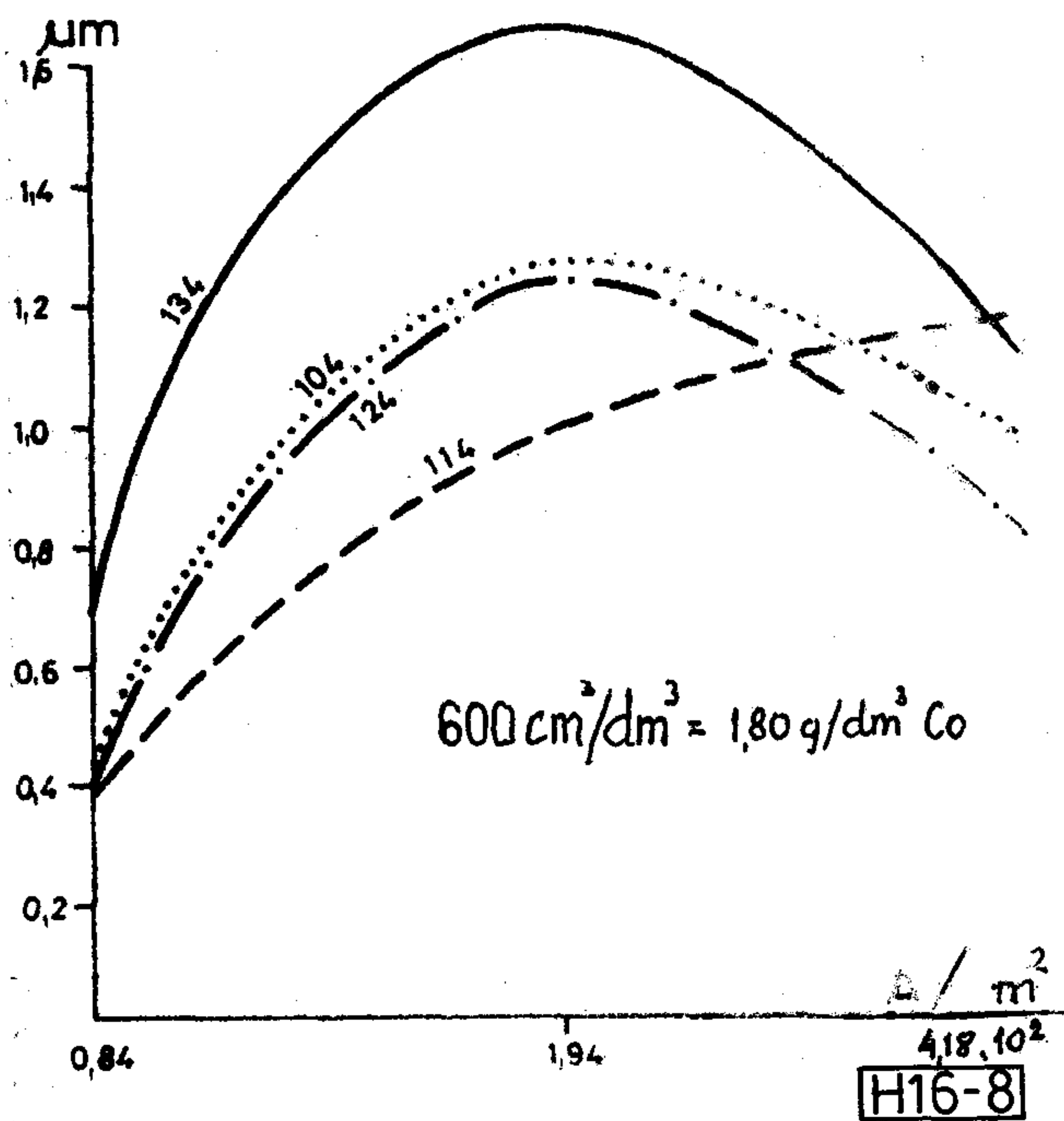
6. ábra. A rétegvastagság az áram-sűrűség függvényében 4 perc alatt 25 °C-on. 104 = 1,80 g/l; 204 = 0,45 g/l; 304 = 0,90 g/l; 404 = 2,45 g/l; 504 = 2,70 g/l Co-tartalom

gen 35 °C-on és 45 °C-on alakult ki. Ennek példáját mutatja a 13. ábra.

A nagyobb (2,25 g/l Co és 2,70 g/l Co) adalékanyag-koncentrációk esetében 200 A/m² feletti áram-sűrűségeken a hatásfok jelentősen csökkent. Ugyanakkor megállapítható volt, hogy a nagy adalékanyag-koncentráció gátolja a leválást (14. ábra). Általában az



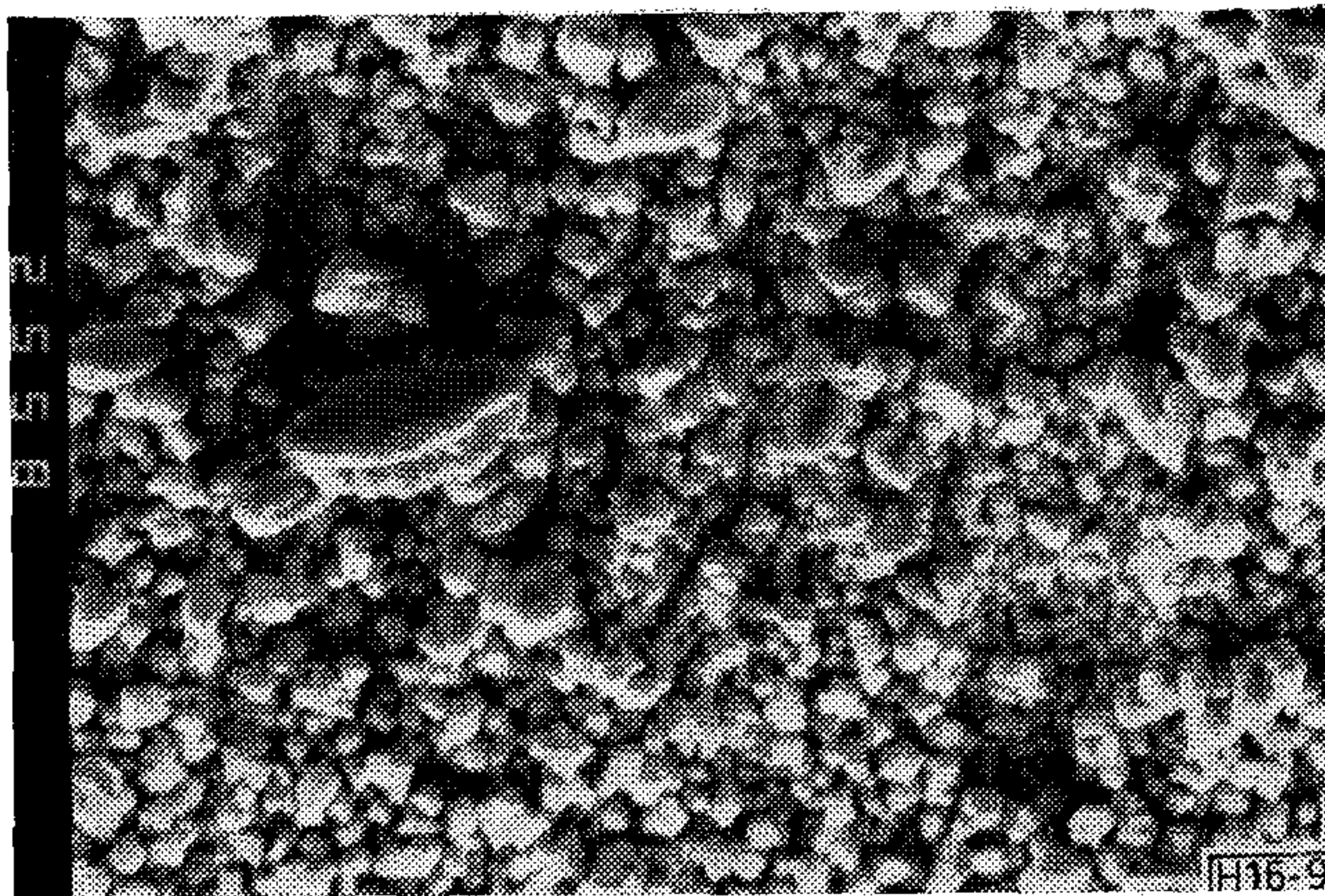
7. ábra. A rétegvastagság az áramsűrűség függvényében 4 perc alatt, 0,90 g/l Co-tartalom mellett. 304 = 25 °C; 314 = 35 °C; 324 = 45 °C; 334 = 55 °C



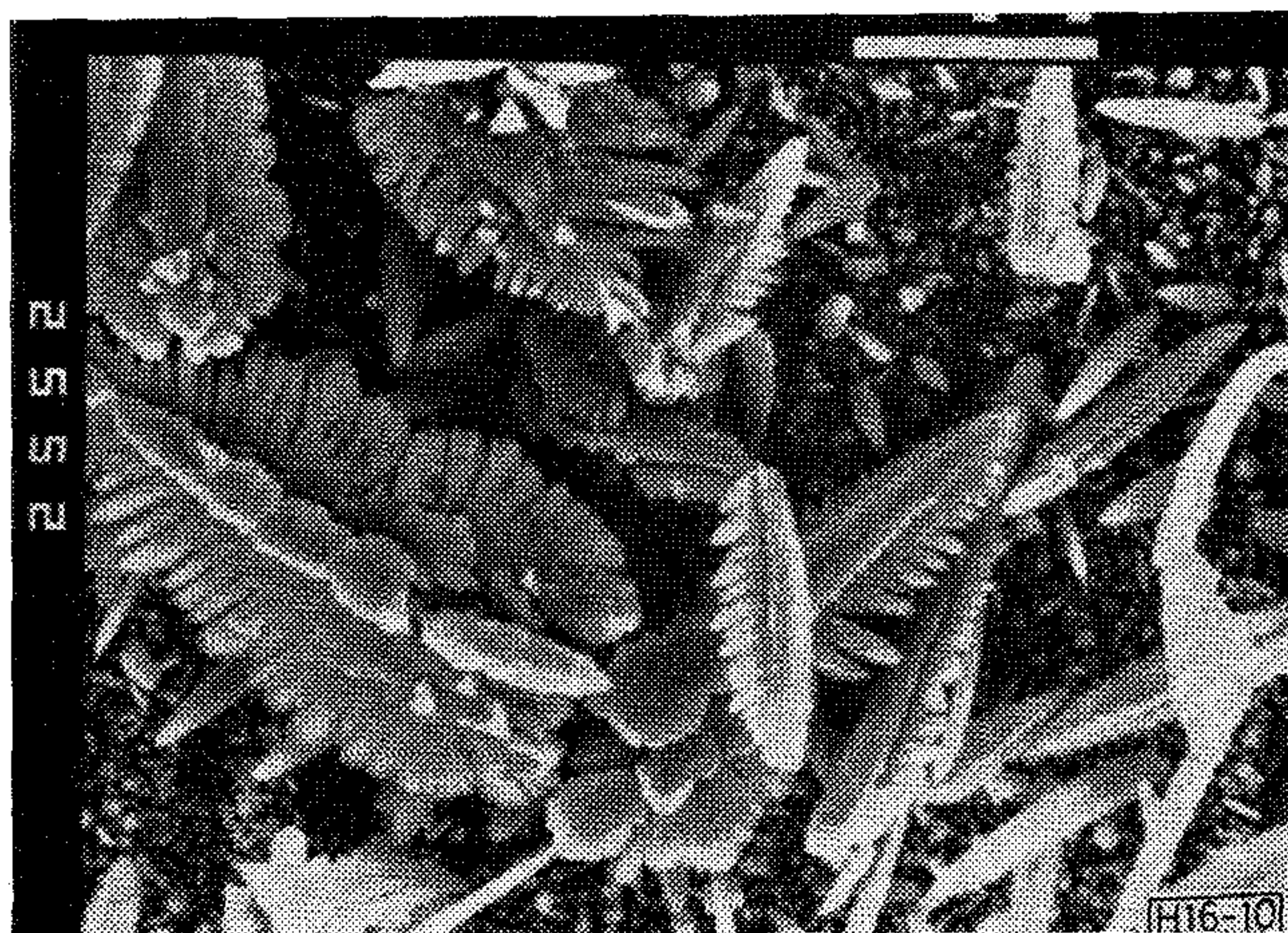
8. ábra. A rétegvastagság az áramsűrűség függvényében 4 perc alatt 1,80 g/l Co-tartalom mellett. 104 = 25 °C; 114 = 35 °C; 124 = 45 °C; 134 = 55 °C-on

áramsűrűség növekedésével a szemcseméret is csökkent.

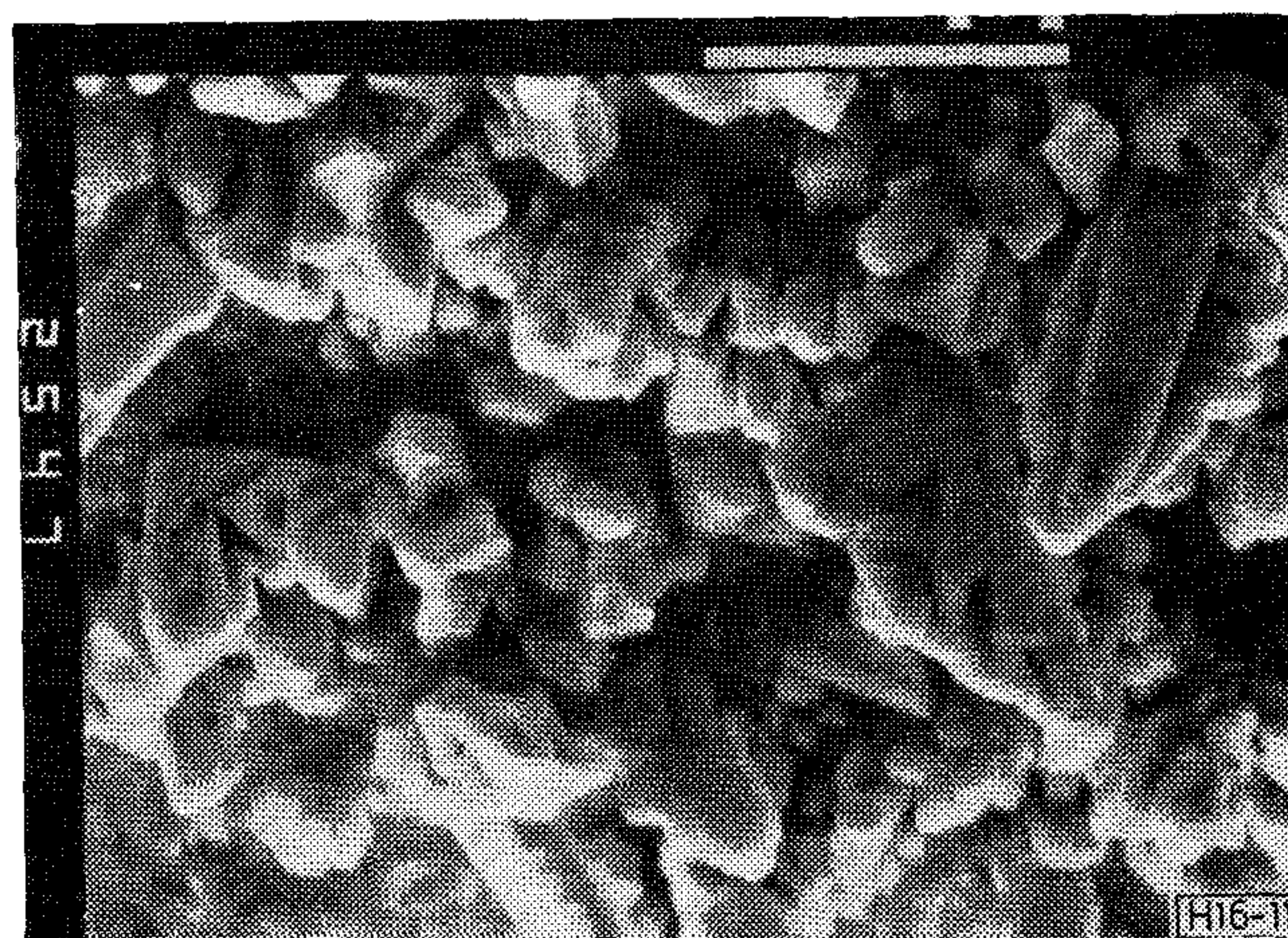
A levált rétegekről metallográfiai metszeteket is készítettünk. Erre mutat be példát a 15. ábra, ami az egyenletes és jól tapadó leválásra utal. Megvizsgáltuk a kobalttartalomnak a keménységre gyakorolt hatását is. A Co^{2+} -ionok az irodalom szerint a fürdő



9. ábra. Dendrites kristálynövekedés 0,45 g/l Co-tartalom esetében 25 °C-on 300–400 A/m^2 áramsűrűség mellett 4 perces leválasztáskor SEM 2000×

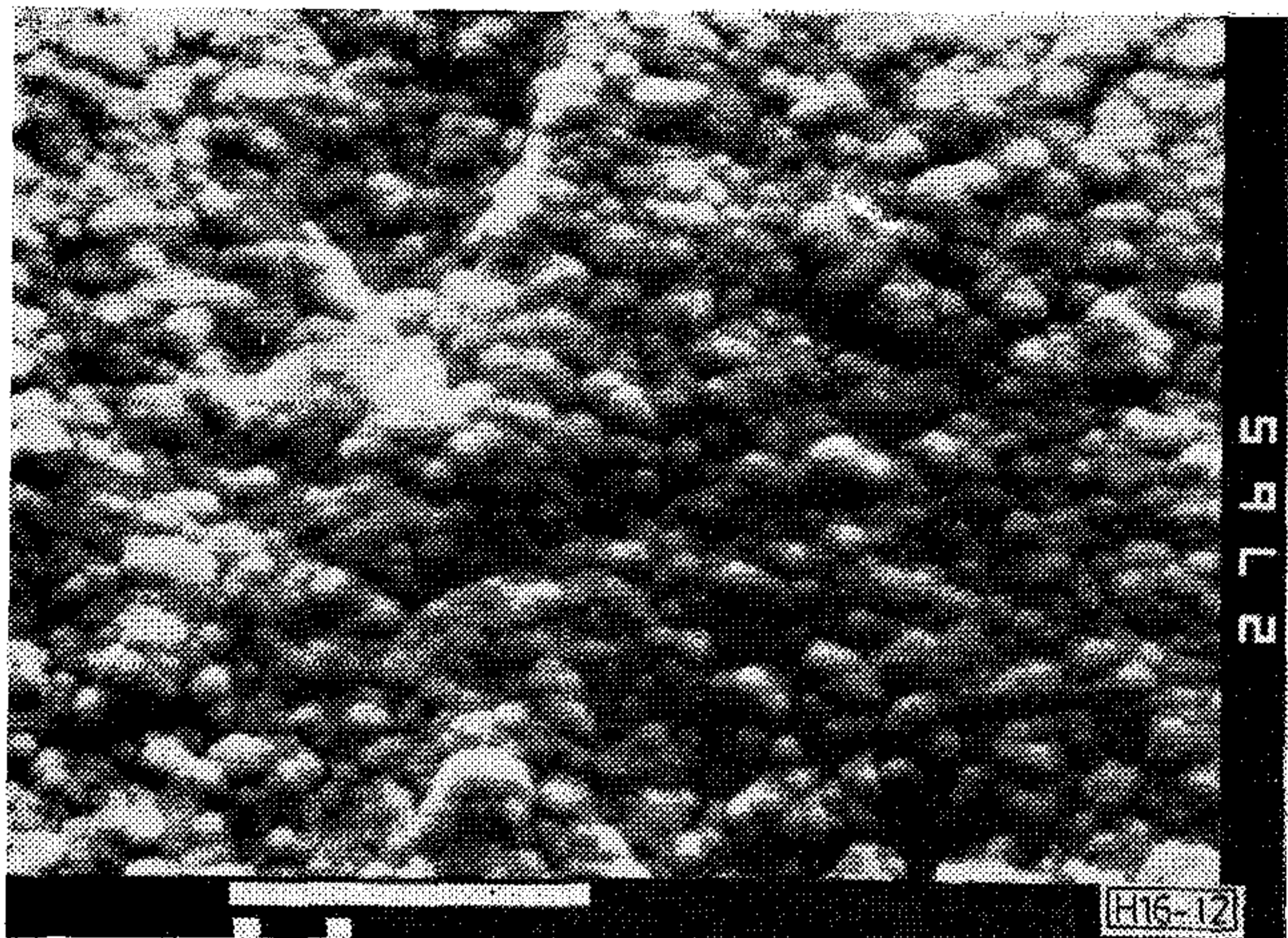


10. ábra. Dendrites szerkezet kialakulása 0,45 g/l Co-tartalom esetében 25 °C-on. 4 perces leválasztáskor 450 A/m^2 áramsűrűség mellett. SEM 2000×

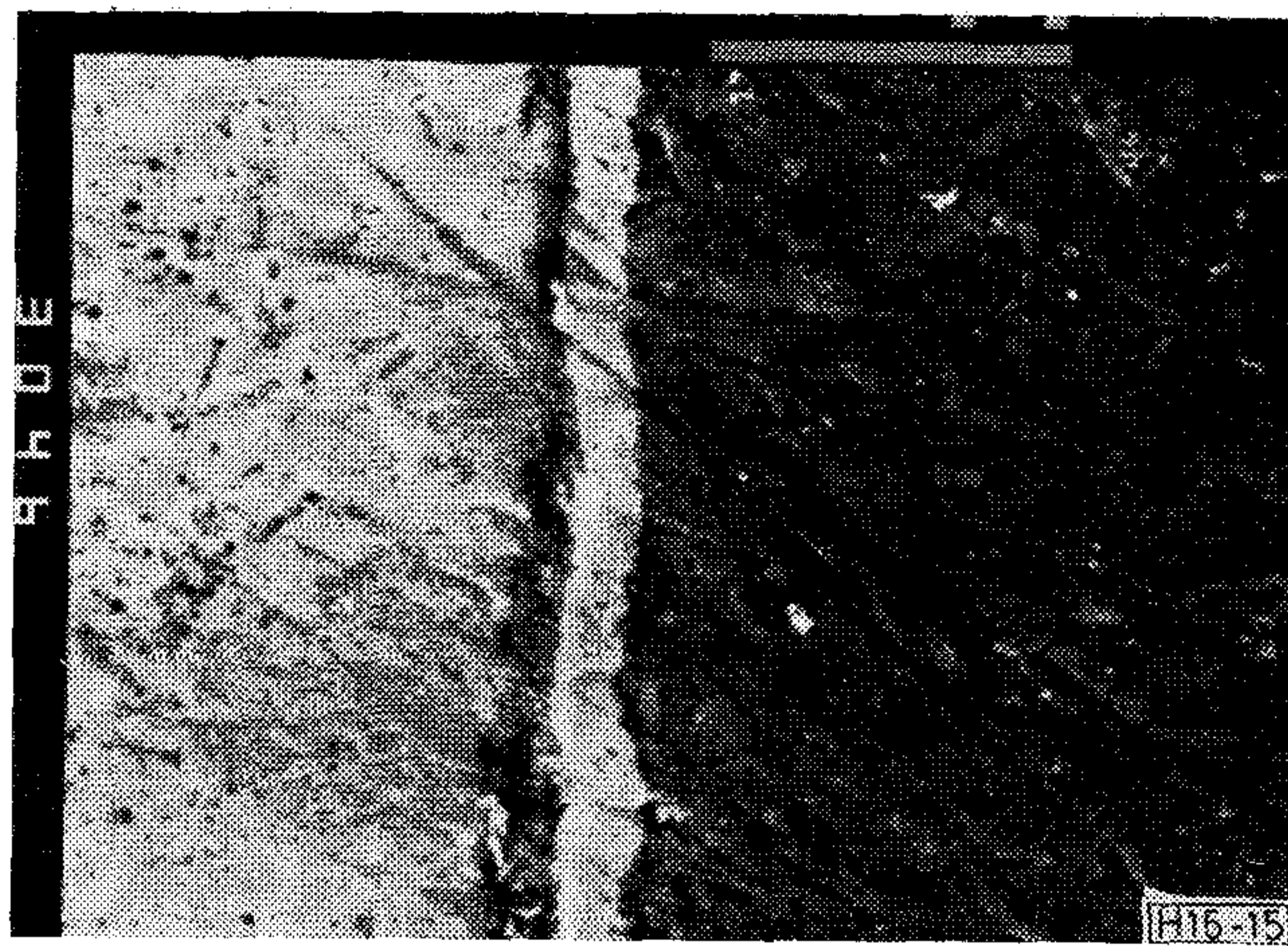


11. ábra. Dendrites kristálynövekedés 0,45 g/l Co-tartalom esetében 55 °C-on 4 perces leválasztáskor 900 A áramsűrűség mellett. SEM 3000×

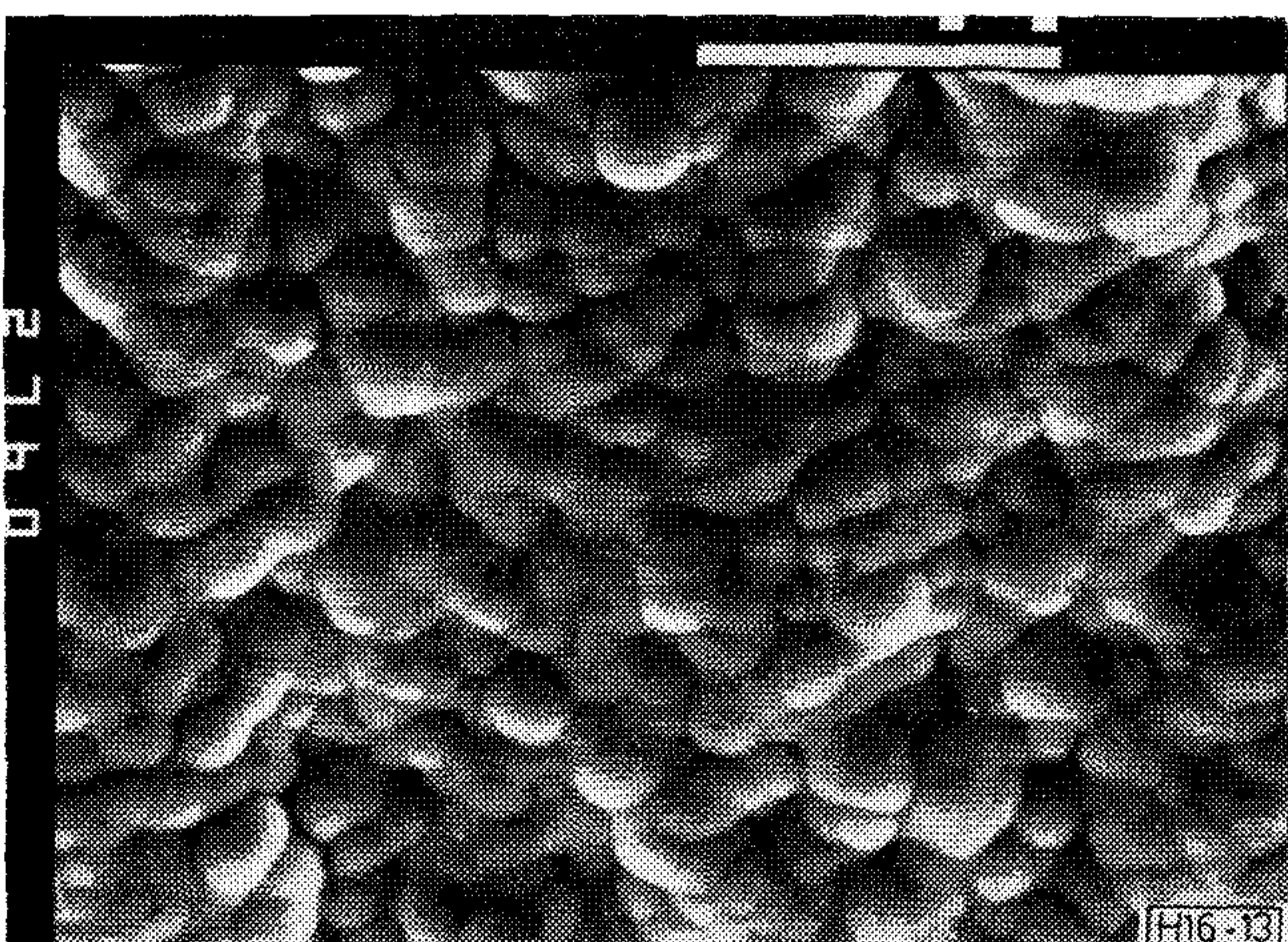
használata közben részben Co^{3+} -ionokká oxidálódnak, melyek már nem épülnek be a rétegbe, így hatástalanok. Atomabszorpciós mérésekkel megállapítottuk, hogy néhány órát üzemelt fürdőben a Co^{2+} -tartalomnak csupán 1–2%-a oxidálódik Co^{3+} -ionokká, és több száz órát üzemelt fürdőben is a Co^{2+} -nek csak kb. 10%-a alakult át Co^{3+} -ionokká.



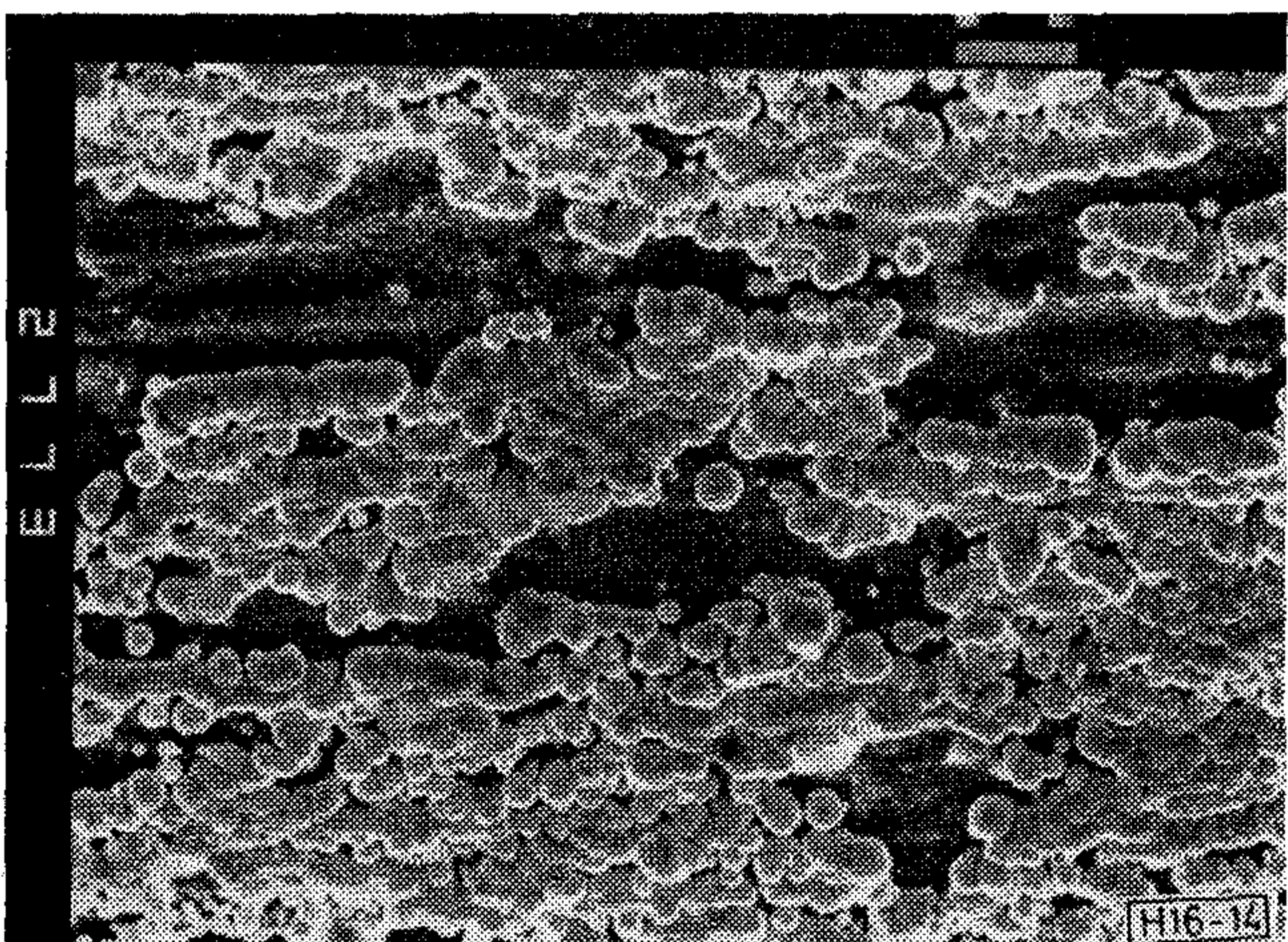
12. ábra. Rétegszerkezet 0,45 g/l Co-tartalom esetében 4 perc alatt 55 °C-on 400 A/m² áramsűrűség mellett. SEM 3000×



15. ábra. Réteg keresztmetszete 1,80 g/l Co-tartalom esetében 4 perc alatt 25 °C-on, 194 A/m² áramsűrűség mellett. SEM 3000×



13. ábra. Rétegszerkezet 1,80 g/l Co-tartalom esetében 4 perc alatt 25 °C-on, 194 A/m² áramsűrűség mellett. SEM 3000×



14. ábra. Rétegszerkezet 2,70 g/l Co-tartalom esetében 3 perc alatt 45 °C-on, 194 A/m² áramsűrűség mellett. SEM 1000×

A keménységmérések szerint a keménység csak az igen csekély (0,45 g/l) Co-tartalom mellett nem volt kielégítő, azaz ebben az esetben az érték 200 kp/mm² HVM alatt volt.

A rétegek pórusosságát elektrogramokon vizsgáltuk. A vizsgálatkor a réteget anódként nedves kadmiumsulfidos szűrőpapírt közbeiktatva alumíniumlemez katóddal szembe kapcsoljuk és 12 V áramforrással elektrolizálunk. A pórusok helyén a képződött rézszulfid barna foltokat képez.

A vizsgálatok alatt egyértelműen megmutatkozott, hogy a kb. 1 μm vastag, az 1,80 g/l Co-ot tartalmazó fürdőből 4 perc alatt, 35 °C-on 200 A/m² áramsűrűség mellett leválasztott réteg teljesen pórusmentes. Csekély és igen nagy adalékanyag-koncentráció, kis (100 A/m² alatti) és nagy (250 A/m² feletti) áramsűrűségeken pórusosodás jelentkezett. Ez egyébként egybevág a rétegvastagság-mérések értékeivel, amelyek szerint kis és nagy áramsűrűségek esetében a rétegvastagság csekély volt.

Az előző megállapításokat a tapadásvizsgálatok is alátámasztották. Ez a minőségi jellegű vizsgálat megfelelő ragasztószalag felhengerlését, majd leválasztását tartalmazza, amikor a rosszul tapadó réteg szemcséi a szalagra tapadnak. Az előzőekben említett feltételek mellett leválasztott rétegen leválás nem következett be. Erősebb leválás a nagy áramsűrűségekkal leválasztott rétegeken mutatkozott.

4. Összefoglalás

A vizsgálatok eredményei alapján egyértelműen megállapíthatjuk, hogy megfelelő leválasztási feltételek mellett tömör, pórusmentes és megfelelő keménységű, kb. 1 μm vastag aranyrétegek valósíthatók meg, melyek megfelelnek a nyomtatott huzalozású lemezek csatlakozósávjainak bevonására. A vizsgálatok alapján a leválasztási feltételek az alábbiak:

Co-tartalom	1,7–1,9 g/l
hőmérséklet	30–40 °C
áramsűrűség	150–220 A/m ²
idő	3–4 perc.

Az Au-tartalom (8 g/l), a pH 4,8–5) és a cellafeszültség (2,0 V) állandó értékek.

Az 1 μm vastag aranyrétegek alkalmazása jelentős költségmegtakarítást is eredményez.

I R O D A L O M

- [1] Reid, Frank H., Goldie, William: Gold Plating Technology. Electrochemical Publications Ltd. 1974.
- [2] Volk, E.: 2 812 299. sz. US szabadalom, 1957.
- [3] Rinker, E. C. és Duva, R.: 2 905 601. sz. US szabadalom, 1959.
- [4] Rinker, E. C.: 24 583. sz. US Re-issue, 1958.
- [5] Rinker, E. C. és Duva, R.: 3 104 211. sz. US szabadalom, 1963.
- [6] Ehrhardt, R. A.: Proc. Electroplat. Soc. 47. k. 1960. p. 78.
- [7] Atwater, A. H. és Julich, E. M.: 2 978 390. sz. US szabadalom, 1961.
- [8] Rinker, E. C. és Johns, E.: Iron Age, 181 k. 1958, 25. sz. p. 118.
- [9] Rinker, E. C. és Johns, E.: 2 905 601. sz. US szabadalom, 1961.
- [10] Ostrow, B. D. és Nobel, F. I.: 2 967 135. sz. US szabadalom, 1961.
- [11] Parker, E. A. és Powers, J.: 3 149 057. sz. US szabadalom, 1964.
- [12] Parker, E. A. és Powers, J.: 3 149 058. sz. US szabadalom, 1964.
- [13] Raub, C. J., Knödler, A. és Lendvay J.: The Properties of Gold Electrodeposits Containing Carbonaceous Material. Plating and Surface Finishing, 63. k. 1976, 1. sz. p. 35-40.
- [14] Okinaka, Y. és Wolowodiuk, C.: Cyanurate (III). Formation and its Effect on Current Efficiency in Gold Plating. J. of the Electrochem. Soc. 128. k. 1981, 2. sz. p. 288-294.
- [15] Leidheiser, Jr., H., Vértes, A., Varsányi, M. L. és Czako-Nagy, I.: The Chemical State of Cobalt in Cobalt-Hardened Gold Electrodeposits. J. of the Electrochem. Soc. 126. k. 1979, 3. sz. p. 391-394.
- [16] Raub, C. J. és Knödler, A.: Pulse Plated Gold. Plating and Surface Finishing, 65. k. 1978, 8. sz. p. 32-34.
- [17] Fluchmann, W. F., Reid, F. H., Maüsli, P. A. és Steinemann, S. G.: Effect of Pulsed Current Plating on Structure and Properties of Gold-Cobalt Electrodeposits. Plating and Surface Finishing. 67. k. 1980, 6. sz. p. 62-65.
- [18] Dini, J. W. és Johnson, H. R.: Use of Strategy of Experimentation in Gold Plating Studies. Plating and Surface Finishing. 68. k. 1981. 2. sz. p. 52-56.
- [19] Sard, R. és Baker, R. G.: Significance of contact finish requirements. Plating and Surface Finishing. 67. k. 1980. 4. sz. p. 42-46.
- [20] Bárfai Béla és Bártfai Miklós: Galvanizálók kézikönyve. 1971.

A francia TRT szemináriuma

A HTE szervezésében 1985. január 22-én és 23-án került megrendezésre a TRT (Telecommunications Radio-electriques et Telephoniques) francia távközlési vállalat gyártmányismertető szemináriuma.

A kétnapos rendezvény a vállalat szakmai ismertetésével kezdődött, röviden áttekintve a jelenleg piacra kerülő professzionális híradástechnikai berendezéseket s felsorolva azok eddigi alkalmazásait. Ezután került sor a különböző frekvenciasávokban működő, különböző információkapacitású analóg, illetve digitális mikro-hullámú (lásd a táblázatot), és alapsávi rendszerek, berendezések és áramkörök részletes ismertetésére, amjé ezt követte a témakörönkénti hozzászólás és vita.

A TRT rendszerek mindegyikére jellemző volt az a példamutató szemléletmód, hogy a műszaki fejlesztés kérdéseit az igen széles körű felhasználói igények figyelembevételével vizsgálták (pl. az ADPCM-elv, a transz-multiplexer stb.), így teremtve meg a fejlesztés-gyártás és a piac szoros kapcsolatát.

A szeminárium második napján a TRT cég az adatátviteli berendezéseit ismertette.

A szeminárium mindkét napjára jellemző volt az élénk szakmai érdeklődés, s ez biztatást jelent további ilyen találkozók szervezésére.

A TRT mikrohullámú berendezések felsorolása

Frekvencia GHz	Átvitt információ/RF		Berendezés típusjele	Megjegyzés
	analóg	digitális		
1,4-1,5 2,3-2,7 3,4-3,8 3,4-4,2	TV+4Hang 1260/1800TF vagy TV+4Hang	2Mb/s 8/34 Mb/s 70Mb/s 34Mb/s	DRL 1502 DRL 2300 FHC 3600 NFH 4010 NFH 4040	CCIR 382-2
		34Mb/s 2x34Mb/s	STN 4004 STN 4010	
6,4-7,1	900/1260TF TV+hang	34Mb/s	NFH 6501 NFH 6510	CCIR 384-2
		140Mb/s	STN 65 140	
7,1-7,7	300/900/1260 TF TV+4 hang	2/8/34Mb/s	NFH 7501 NFH 7510	CCIR 385-1
7,7-8,5	1260-1800 TF TV+4 hang	34Mb/s	NFH 8005 NFH 8020	CCIR 386-1
		2x34Mb/s	STN 8004 STN 8020	
	1260 TF TV+4 hang	34Mb/s	SRL 8002	
8-8,5	TV+4 hang		FHP 8000	
14,25-15,35		8/34Mb/s	XTN 15 000	CCIR 607-1
14,4-15,35		2/8Mg/s	FLD 15	

Beszámoló a Nemzetközi Távközlési Konferenciáról (ICC-84, Amszterdam, 1984. május 14–17.)

A Villamosmérnökök és Elektronikai Mérnökök Egyesülete (IEEE) évente két konferenciát rendez a polgári távközlés köréből. Ezúttal első ízben volt a mindig kora nyáron rendezett ICC konferencia Európában. Ennek megfelelően a szokásosnál valamivel több ország kutatói vettek részt és a szokásosnál jóval több előadás számolt be európai eredményekről. E konferenciáknak mindig van egy „jel-szavuk”, mely a tárgyalt témák egy nevezetes oldalára hívja fel a figyelmet. Ez alkalommal: „Links for the future: science, systems and services”.

Néhány statisztikai adat talán helyén való e beszámolóban.

A konferencián 1500–2000-en vettek részt. 350 előadás hangzott el egy plenáris és 48 szekció-ülésen (párhuzamosan egyszerre 8 szekcióval). A „nemzetközi” jelleg bemutatására felsoroljuk az előadások megoszlását országonként. USA 101, Japán 59, NSZK 29, Kanada 27, Franciaország 25, Anglia 22, Hollandia 20, Olaszország 16, Belgium és Svédország 9-9, Ausztrália és Izrael 3-3, Szaúd-Arábia, Taivan, Lengyelország és Ausztria 2-2, Hongkong, Dél-Korea, Indonézia, Magyarország, Spanyolország, Portugália, a Szovjetunió, Egyiptom és Új-Zéland 1-1 előadással szerepelt. Az előadók, résztvevők között a szakma sok „nagy neve” szerepelt — néhányat felsorolunk közülük: Aulin, Décina, Dekker, Dupuis, Fedi, Feher, Gersho, Kailath, Kühn, Massey, Proakis, Rummler, M. Schwartz, Stumpers, Sundberg, Tobagi, Unger, Vigants.

— Az előadások témái a távközlésnek gyakorlatilag minden ágát átfogták — a tudományos megalapozástól kezdve a társadalmi hatásokig és az eladható berendezések problémáig. Három kiemelt téma mind a hat félnapon szerepelt egy-egy szekcióval: a műholdas távközlés és műsorszórás, a jelfeldolgozás és a helyi adathálózatok (LAN) problémái — bár e beszámoló szerzőjének véleménye szerint egyeseket csak a „kiemelés” érdekében sorolták ezek egyikébe. A főbb témák — némelyest persze önkényes — csoportosítása:

- földi digitális mikrohullámú hírközléssel kapcsolatos kérdések: 7 szekció;
- műholdas hírközlés és műsorszórás: 6 szekció;
- távközlő hálózatok, távközlő szolgáltatások: 5 szekció;
- helyi adathálózatok (LAN): 5 szekció;
- a digitális hálózat üzemeltetése, fenntartása: 5 szekció;
- optikai hírközlés, fénykábelek: 4 szekció;

- software-rel kapcsolatos kérdések: 4 szekció;
- képkódolás és -feldolgozás: 3 szekció;
- kapcsolástechnika: 3 szekció;
- beszédkódolás és -feldolgozás: 2 szekció;
- távközlési végberendezések: 2 szekció;
- a távközlés tudományos alapjai: 1 szekció;
- mozgó hírközlő rendszerek: 1 szekció.

Amint fentebb írtuk: egy magyar előadás volt. Bercei, Frigyes, Várady-Szabó: Fejlesztési eredmények rurál rádiórendszerek terén.

A felsorolt igen sok téma természetesen túl széles körű, hogy valamilyen „általános irányzatokat” lehetne felvázolni. Néhány — természetesen elsősorban e beszámoló készítője számára — érdekesebb eredmény, különösebb logikai sorrend nélkül:

- Digitális rádióátvitelben a nagy sebességű rendszerek szinte kommersz cikknek tekinthetők; ezeken belül Észak-Amerikában és Japánban már a 64 állapotú modulációt alkalmazók is.
- Az optikai hírközlésben jelentős az egymódusú kábelek szerepe; ezek 0,5–1,6 Gbit/s sebességű jeleket visznek át; már üzemi gyártási tapasztalatok is vannak.
- Fontos problémává lépett elő a 9,6 kbit/s vagy ennél kisebb sebességű távközlési minőségű beszédkódolás.
- Az adaptív kiegyenlítés — eredeti területén, a hangfrekvenciás adatátvitelen túlmenően, elsősorban a földi és műholdas rádió-hírközlés igényeit követve — igen intenzív kutatások előterében áll. A referáló tudomása szerint meglehetősen új területként ezek a nemlineáris csatornák kiegyenlítését is magukba foglalják.
- Számos — fejlett és fejlődő — ország működő belföldi műhold-rendszerről számolhatott be.
- A távközlés társadalmi vonatkozásai ilyen műszaki és tudományos konferencián is figyelemreméltó helyet kapnak.

Általános konklúzióként megállapítható, hogy a konferencia színvonala, a korábbi ICC-k és Globecom-ok színvonalához hasonlóan, igen magas volt. Minden területen a legújabb kutatási, fejlesztési eredményekről számolt be. Így a konferencia kiadványa három kötetben, mintegy 1500 oldal terjedelemben a távközlés művelőinek valóban rendkívül széles horizontot nyit.

Frigyes István
BME Mikrohullámú Tanszék

Beszámoló egy ifjúsági tudományos konferenciáról

A KISZ Központi Bizottsága Értelmiségi Fiatalok Tanácsa kezdeményezésére, az Országos Középtávú Kutatási Fejlesztési Tervhez kapcsolódva a Távközlési Kutató Intézet KISZ-szervezete a Híradástechnikai Tudományos Egyesület és a Budapesti Műszaki Egyetem támogatásával 1984. április 16–17-én a Távközlési Kutató Intézetben megrendezte a

„Hírközlő rendszerek és berendezések kutatása, fejlesztése” című

II. Ifjúsági Tudományos Konferenciát.

A műszaki fejlesztés színvonalának gyors emelésében és a korszerű termékválaszték kialakításában rendkívül fontos feladat vár a jelenlegi fiatal szakemberekre. Ezért a konferencia célja az volt, hogy lehetőséget adjon a fiatal szakembereknek a tudományos pályán való elindulásra, a publikálási, előadói készség fejlesztésére.

A fenti célok eléréséhez nélkülözhetetlen a szakma vezető hazai szakembereinek segítségével. Ezért a rendezők felkérték néhány jelentős reprezentánst, hogy foglalják össze szakterületük jelenéről és jövőjéről alkotott elképzeléseiket, ezzel irányt mutatva a fiatalok számára a jövő kutatási feladatainak megoldásához.

Felkért előadást tartottak (az elmondás sorrendjében): *Dr. Kiss István*, a TKI vezérigazgatója; *Dr. Almássy György*, c. egyetemi tanár, a TKI Tudományos Tanácsa Titkárságának vezetője, a HTE főtitkára; *Dr. Gönczi János*, a KISZ Budapesti Bizottságának titkára; *Dr. Csibi Sándor*, az MTA levelező tagja, a BME HEI igazgatója; *Dr. Berceli Tibor*, c. egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora, a TKI tudományos főosztályvezetője; *Dr. Géher Károly*, egyetemi tanár, a BME HEI igazgatóhelyettese; *Dr. Gordos Géza*, egyetemi docens, a műszaki tudományok kandidátusa; *Dr. Kormány Teréz*, egyetemi docens, a műszaki tudományok kandidátusa; *Dr. Tófalvi Gyula*, a TKI tudományos igazgatója, c. egyetemi tanár; *Dr. Ambrózy András*, tanszékvezető egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora; *Bölcskei Imre*, a Posta osztályvezetője; *Dr. Ferenczy Pál*, egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora; *Dr. Papp László*, egyetemi docens, a műszaki tudományok kandidátusa; *Dr. Sallai Gyula*, a PKI igazgatója, a műszaki tudományok kandidátusa; *Dr. Tarnay Kálmán*, tanszékvezető egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora; *Dr. Zimmer György*, a KFKI tudományos főosztályvezetője; *Dr. Sándory Mihály*, kormánybiztos, a MEV vezérigazgatója; *Dávid Béla*, a HTSZ osztályvezetője.

A konferencia plenáris ülésén 19 felkért előadás, párhuzamos szekcióin további 67 előadás hangzott el a következő témakörökben:



- rádióhírközlő és mikrohullámú rendszerek tervezése, konstrukciója, gyártása és mérés-technikája;
- átvitel- és kapcsolástechnikai áramkörök és berendezések tervezése, fejlesztése;
- elektronikai alkatrészek és technológiák;
- berendezésorientált áramkörök számítógéppel segített tervezése és alkalmazási kérdései.

A konferencia Bíráló Bizottsága a szekcióelnökök véleménye alapján a fiatal előadók következő előadásait találta a legjobbnak: *Kiss Sándor*: „Pontosan azonos frekvenciájú, független rádiófrekvenciás csatornákon terjedő 34 Mbit/s-os jelek fázispontos szinkronizálása”, *Lukács Gabriella*: „Kis zajú mikrohullámú FET-es erősítők tervezése”, *Kalvach Gábor*: „Homomorfikus jelek dekonvolúciója a Brüel-Kjaer 2031 spektrumanalizátor FFT processzorának felhasználásával számított cepstrumok segítségével”, *Ardó Péter*: „PCM mikrohullámú rendszerek vizsgálata”, *Kolumbán Géza*: „Mintavételezett PLL hurokkal felépített frekvenciaszintetizátor tranziens jellemzői”, *Gila János*: „Félvezetődiódás mikrohullámú oszcillátorok szinkronizálási tranziensének vizsgálata”, *Búzásné Jambrich Klára*: „Foszforüveg és termikus oxid marási sebességének irányítása a technológia követelményeinek megfelelően”, *Temesi Tibor*: „Előfizetői vonalak és trunk áramkörök automatikus mérése a PRS berendezésben”, *Szilvási Mária*: „72 csatornás időmultiplex digitális szűrő realizálása és bemérése”, *Gervai Miklós és Forgács István*: „Gondolatok a kommunikáció néhány új fejlődési irányáról”, *Végh Gerzson*: „Ionérzékeny félvezető eszközök kifejlesztése”, *Pálos László*: „Előfizetői csatornaegység fejlesztése elektronikus távbeszélő központhoz”.

A konferencia rendezői ezúton mondanak köszönetet a támogató intézményeknek: a KISZ Központi Bizottsága Értelmiségi Fiatalok Tanácsának, a Híradástechnikai Tudományos Egyesületnek és a Budapesti Műszaki Egyetemenek. Külön köszönet illeti a felkért előadókat és a szekcióelnököket értékes hozzájárulásukért. Ugyancsak köszönet illeti a Távközlési Kutató Intézet vezetőségét és Tudományos Tanácsát, hogy erkölcsi és anyagi támogatásukkal lehetővé tették a konferencia megrendezését.



KONTAKTA

Telex: 22-4399

1725 Budapest, Pf. 16.

Telefon: 278-200

DS 868 KÖZVETETT CSATLAKOZTATÁSÚ NYOMTATOTT ÁRAMKÖRI CSATLAKOZÓ SOROZAT

(THOMSON-CSF/SOCAPEX licenc)

Az elektronikai alkatrészek és részegységek központi fejlesztési programjának (EKFP) keretében a **KONTAKTA** Alkatrészgyár új termékekkel bővítette az elektromechanikus alkatrészek választékát.

Ezek közül ezúttal a DS 868 típusú (DIN 41 612 szabvány szerinti) közvetett nyomtatott áramköri csatlakozó sorozatot mutatjuk be.

A műszaki paraméterek ismertetése mellett tájékoztatást adunk a csatlakozók megrendeléséhez szükséges típusszám képzésének rendszeréről, valamint a típusszámokhoz tartozó gyártási számokról.

A DS 868 típusjelű közvetett nyomtatott áramköri csatlakozó család gyártását a francia THOMSON—CSF/SOCAPEX cég licence alapján kezdte meg a **KONTAKTA** Alkatrészgyár.

E típusorozat a készülékgyártók körében világszerte elterjedt EURÓPA kártyarendszer alapsatlakozója, az elektronikus készülékek 100×160 és $160 \times 233,4$ mm méretű nyomtatott áramköri kártyáinak csatlakoztatására szolgál. Megfelel az IEC 603—2 (korábban: IEC 130—14) nemzetközi, valamint a közismert DIN 41612 külföldi szabványnak. A **KONTAKTA** Alkatrészgyár gyártási programjában jelenleg a típuscsoport előbb felsorolt szabványok szerinti „C” változatának 96 pólusú normál és inverz kivitele szerepel.

A 96 érintkező behelyezésére alkalmas szigetelőtesttel részleges érintkezőelrendezés folytán kisebb pólusszámú, pl. 32, 48 és 64 érintkezős változatok is kialakíthatók.

Mint ismeretes, a közvetett csatlakoztatási rendszer olyan konstrukciós megoldás, melynél a csatlakozópár egyik fele a nyomtatott áramköri kártyára, a másik fele a készülékkeretre van felszerelve.

A DS 868 típus esetében a normál kivitel kártyára építhető dugósávja tartalmazza az érintkezőcsapokat, a készülékkeretbe építhető hüvelysáv az érintkezőhüvelyeket.

Az inverz kivitelnél az érintkezőhüvelyeket tartalmazó csatlakozósáv szerelhető a nyomtatott áramköri kártyára, az érintkezőcsapokat tartalmazó csatlakozósáv építhető a készülékkeretbe.

A DS 868 típusú közvetett csatlakoztatású nyomtatott áramköri csatlakozók műszaki adatai:

Átmeneti ellenállás	max. 20 mohm
Szigetelési ellenállás	min. 1000 Gohm
Próbafeszültség	min. 1000 V _{eff} (1400 V _{csúcs})
Névleges áramerősség érintkezőpáronként	1,5 A
Csatlakoztatási erő érintkezőpáronként	max. 0,94 N
Bontási erő érintkezőpáronként	min. 0,20 N
Klímaállósági kulcsszám	55/125/56
Mechanikai élettartam	min. 200 csatl. ciklus
Vonatkozó szabványok	IEC 603—2 (IEC 130—14) DIN 41612

Kivitel

A DS 868 típusú nyomtatott áramköri csatlakozók szigetelőteste üvegszállal erősített poliészterből készül, aszimmetrikus felépítése meggátolja a helytelen (fordított) csatlakoztatást.

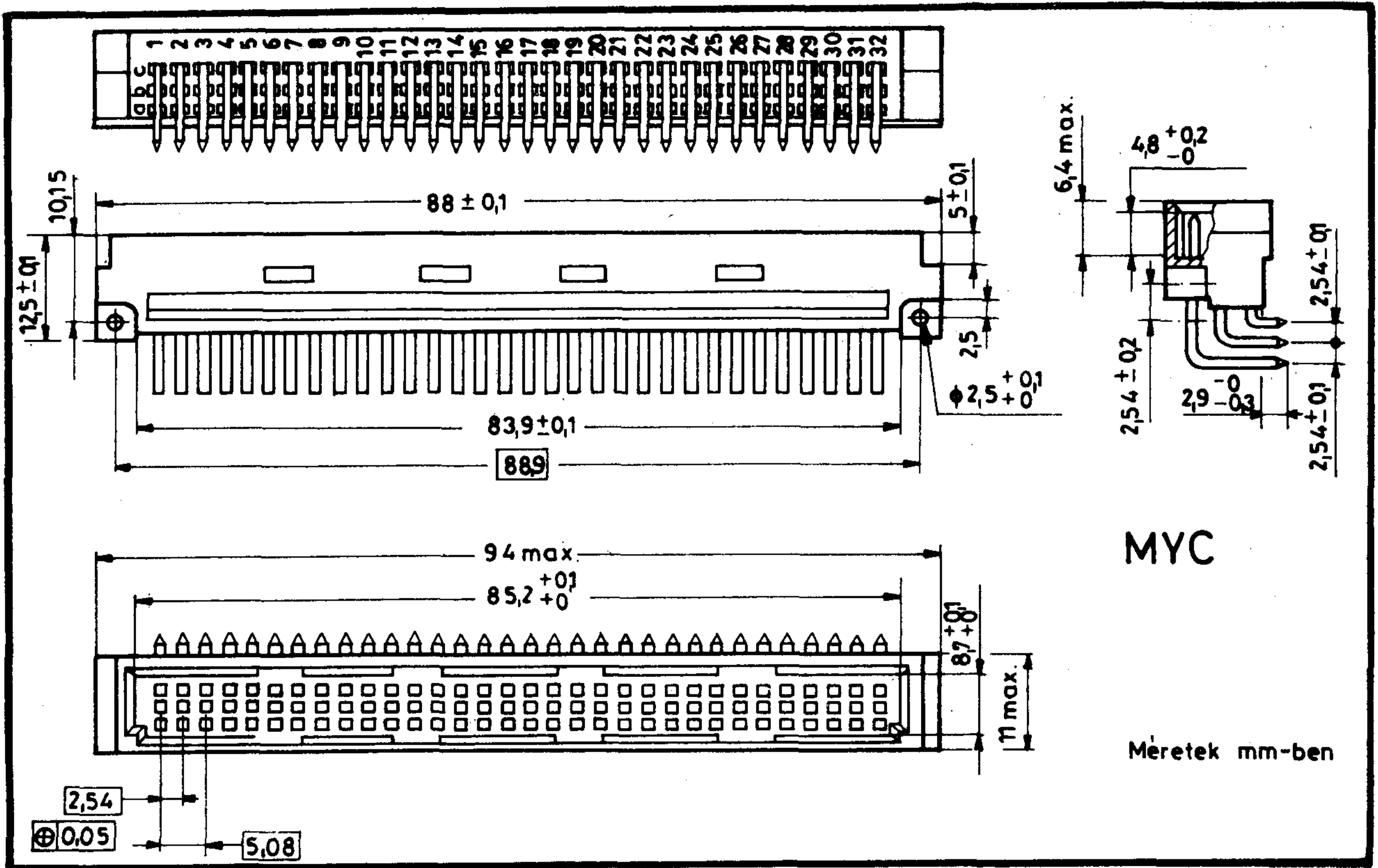
Az érintkezők anyaga rézötívözet, a felület kikészítése az érintkezés helyén szelektív aranyozással, az érintkező többi felületén szelektív ónozással történik.

Az alapítípusból kialakítható változatok áttekinthetők a csatlakozó sorozat típuszámképzési rendszere alapján.

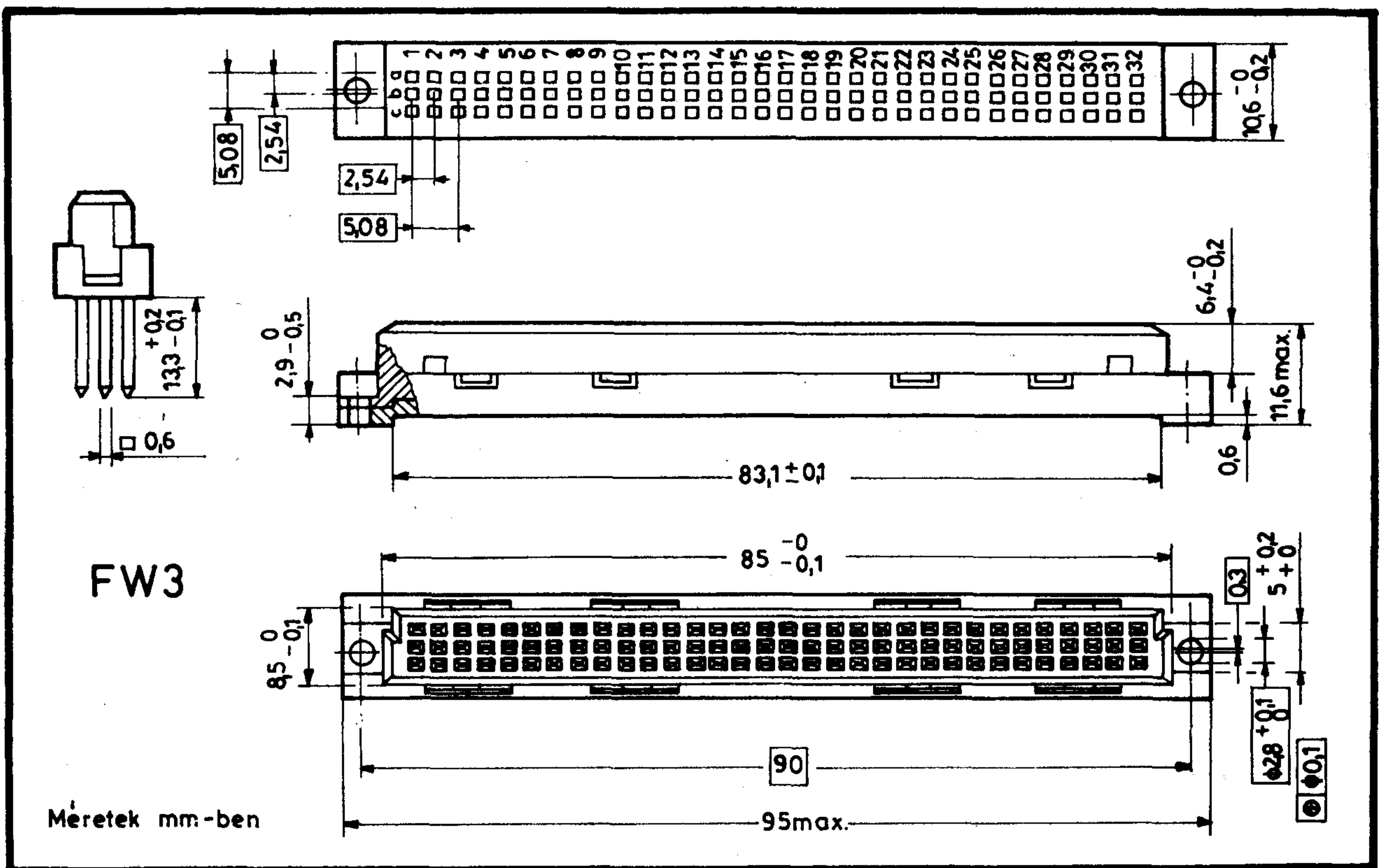
A derékszögben meghajlított FYC (hüvelyérintkezők) és MYC (dugóérintkezők) 1,6 mm névleges vastagságú nyomtatott áramköri lapba történő beforrasztásra készültek.

A kártya furatozása alkalmazkodjon a csatlakozó érintkezőinek számához, az érintkezőt nem tartalmazó fészeknél a furatkészítést figyelmen kívül lehet hagyni.

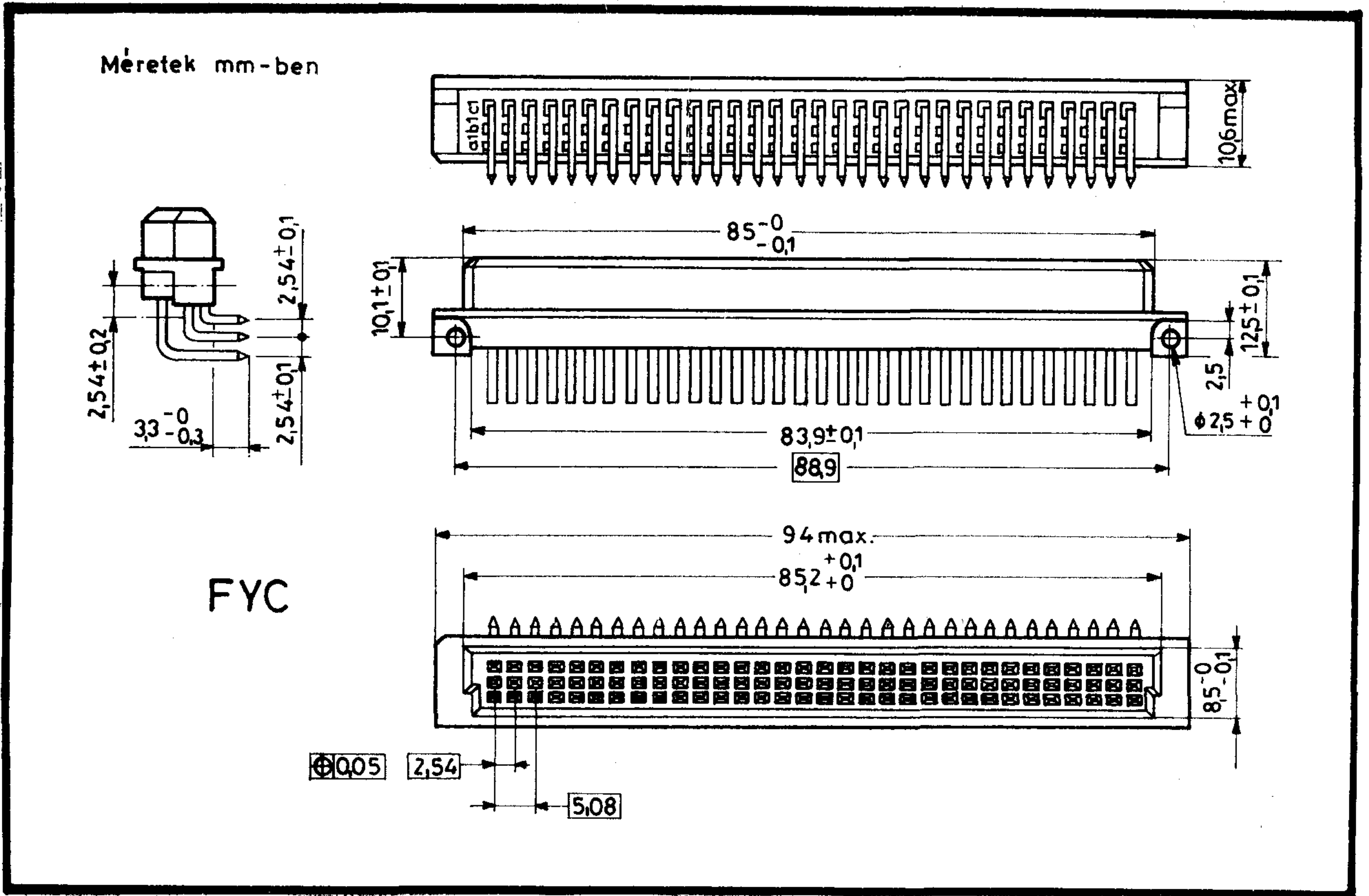
A DS 868 típusú csatlakozó geometriai méretei:



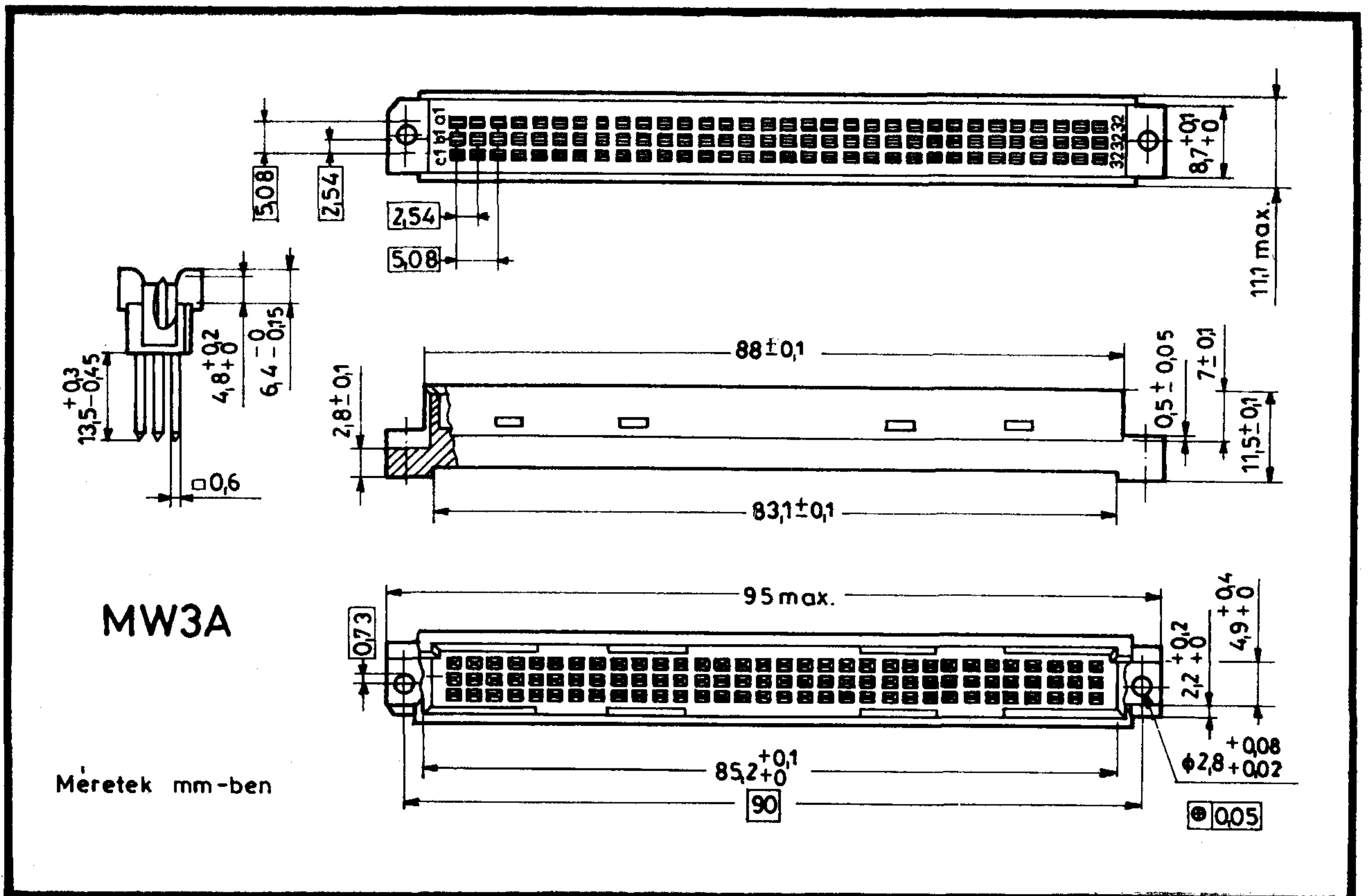
1. ábra. Normál változat dugósávja MYC érintkezőkkel



2. ábra. Normál változat hüvelysávja FW3 érintkezőkkel



3. ábra. Inverz változat hüvelysávja FYC érintkezőkkel



4. ábra. Inverz változat dugósávja MW3A érintkezőkkel

TÍPUSSZÁM-KÉPZÉSI RENDSZER

DS 868	E	C	96	ABC	F	W3	6	O	N
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)

A típusszám jelöléseink értelmezése:

- (1) Sorozat: DS 868
- (2) Csatlakozótípus:
E: Helyhez kötött csatlakozósáv
F: Nyomatott áramkört lapra szerelhető csatlakozósáv
- (3) Építési forma:
C: 3 soros, soronként 32 érintkező, 2,54 mm osztástávolság
- (4) Beépített érintkezők száma:
32, 48, 64, 96
- (5) Az érintkezőket tartalmazó sorok jelölése:
ABC: Ha minden sorban van érintkező.

Ha valamely sorba nincsenek érintkezők szerelve, akkor a mindenkori betűt nulla helyettesíti, például:

A0C: az A és C sorba van szerelve érintkező a B sorba nincs.

(6), (7) Érintkezőtípusok

F: HÜVELYÉRINTKEZŐK

YC: 90°-ban meghajlított kivezetés, nyomatott áramkört lapba forrasztáshoz.

W3: egyenes kivezetés, 3 miniatűr huzalrácsavarásos kötéshez.

M: DUGÓÉRINTKEZŐK

YC: 90°-ban meghajlított kivezetés, nyomatott áramkört lapba forrasztáshoz.

W3A: egyenes kivezetés, 3 miniatűr huzalrácsavarásos kötéshez.

(8) Érintkező felület:

6: Érintkező kivezetések ónozva, az érintkezési felület szelektíven aranyozva.

(9) Érintkezők közötti távolság:

0: 2,54 mm.

1: 5,08 mm, a páratlan helyekre kerülnek az érintkezők.

2: 5,08 mm, a páros helyekre kerülnek az érintkezők.

(10) Változatok:

N: Standard csatlakozó.

A típusszám képzésének lehetséges változatai.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
DS 868	E*	C*	96 64 48 32 48 32	ABC AOC ABC AOC ABC AOC	F*	W3*	6	0* 0* 2 2 1 1	N*
	F*	Alap /normál/ változat	96 64 48 32 48 32	ABC AOC ABC AOC ABC AOC	M*	YC*	6	0* 0* 2 2* 1 1	N*
	E	C	96 64 48 32 48 32	ABC AOC ABC AOC ABC AOC	M	W3A	6	0 0 2 2 1 1	N
	F	Fordított /inverz/ változat	96 64 48 32 48 32	ABC AOC ABC AOC ABC AOC	F	YC	6	0 0 2 2 1 1	N

Megjegyzés: * DIN 41612 szabvány szerinti termék

A DS 868 típusú közvetett csatlakoztatású nyomtatott áramköri csatlakozó gyártását korszerű alkatrész-technológia és szereléstechnológia alkalmazásával végezzük. Mindezek biztosítékot jelentenek arra vonatkozóan, hogy termékeink megfeleljenek a nemzetközi szabványokban rögzített követelményeknek. A csatlakozók csereszabatosak a DIN 41612 szabvány C változatára vonatkozó előírásainak eleget tevő, más gyártók által gyártott csatlakozótermékekkel.

DS 868 típusú csatlakozók tipusszáma és gyártási száma:

Felhívjuk kedves megrendelőink figyelmét, hogy a termék megrendelésénél közölni kell a csatlakozó típusszámát és a hozzá tartozó gyártási számot.

		Tipusszám	Gyártási szám
Alap / normál / változat	Dugósáv	DS 868 FC 96 ABC MYC 60 N	1.522.0005-2
		DS 868 FC 64 AOC MYC 60 N	1.522.0006-2
		DS 868 FC 48 ABC MYC 62 N	1.522.0010-2
		DS 868 FC 32 AOC MYC 62 N	1.522.0014-2
	Hüvelysáv	DS 868 EC 96 ABC FW3 60 N	1.522.0001-2
		DS 868 EC 64 AOC FW3 60 N	1.522.0002-2
		DS 868 EC 48 ABC FW3 62 N	1.522.0009-2
		DS 868 EC 32 AOC FW3 62 N	1.522.0013-2
Fordított / inverz / változat	Dugósáv	DS 868 EC 96 ABC MW3A 60 N	1.522.0007-2
		DS 868 EC 64 AOC MW3A 60 N	1.522.0008-2
		DS 868 EC 48 ABC MW3A 62 N	1.522.0011-2
		DS 868 EC 32 AOC MW3A 62 N	1.522.0016-2
	Hüvelysáv	DS 868 FC 96 ABC FYC 60 N	1.522.0003-2
		DS 868 FC 64 AOC FYC 60 N	1.522.0004-2
		DS 868 FC 48 ABC FYC 62 N	1.522.0012-2
		DS 868 FC 32 AOC FYC 62 N	1.522.0015-2

A táblázatban megadott típusoktól eltérő változatokra vonatkozó igény esetén személyes konzultációt javasolunk.

Bármely alkalmazástechnikai kérdésben a **KONTAKTA** műszaki fejlesztési főosztálya (279-200/227), katalógusigény esetén pedig a Kereskedelmi főosztály készséggel áll felhasználóink rendelkezésére.

Bodnár László



Budapest XX. Helsinki út 51-53. H-1201
Telefon: 279-200 * Telex: 22-4399

Берцели, Т.—Бабич, Л.—Гелей, В.—Гранаши, Й.—Юхас, К.—Колумбан, Т.:

Приемник СВЧ для приема телевизионного спутника

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 3.

Конструкция приемника СВЧ — разработанного для приема телевизионного спутника — простая, и содержит новые реализации цепи. При помощи антенны соответствующего размера приемник СВЧ употребляется для индивидуального или коллективного приема.

Божик, К.—Шваб, П.:

Обработка на ЭВМ данных измерения полупроводниковых сегментов

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 3.

В первой части статья рассматривает процессы разработки и производство интегральных схем с точки зрения измерений. Определяет значение измерения полупроводниковых сегментов в уменьшении их себестоимости и сокращения процесса разработки. Излагает систему измерения полупроводникового сегмента приведением одного примера использования упомянутой системы измерения.

Д-р Кендереш, М.:

Применение эффекта Джозефсона в диапазоне СВЧ

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 3.

Эффект Джозефсона известен в технике лишь всего 20 лет; за это время однако во всем мире ведется основательная исследовательская работа в целях его применения. Основные области применения: техника связи, вычислительная техника, однако применяется и в измерительной технике для специальных целей. В микроволновой технике можно его применять для создания генераторов, смесителей и усилителей. Переход Джозефсона применяется только редко для самовозбуждающихся генераторов, т. к. получаемая мощность очень незначительная. В данной статье более подробно рассматриваются другие области применения. При использовании в качестве детектора даются основные соотношения для расчета схемы и конкретные результаты измерений. При применении в качестве смесителя и усилителя даются только теоретические основы; отчет о результатах практического применения будет в отдельной статье.

Чопаки, Д.:

Описание на нескольких уровнях языка описания аппаратуры цифровых аппаратов

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 3.

Статья рассматривает требования, предъявляемые к языкам описания аппаратуры, служащие для описания на нескольких уровнях цифровой аппаратуры. Излагаемый язык описания аппаратуры разработан для системы CARS (Computer Aid for Recursive Synthesis). Важной особенностью языка является возможность применения проективных одинаковых элементов языка для спецификации функции и структуры на любых уровнях проектирования.

Вертеши, М.—Колтай, М.—Жолдош, Б.:

Влияние металлизации микроволновых тонкослойных интегральных схем на потерю полосковых линий

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 3.

В рамках сотрудничества между институтами ТКИ и МЭВ разработали систему металлизации из таких слоев $Ta_2N-Ti-NiCr-Au$ для создания микроволновых тонкослойных интегральных схем. Среди влияний, воздействующих на потерю микрополосковых линий, рассматривалась роль средних слоев (Ti и NiCr) между сопротивлением и проводимостью металлами. Измерения потери проводили кольцевым резонатором. Установили, что уменьшением толщины двух слоев на необходимую минимальную величину, потерю полосковых линий удалось уменьшить на 25—30%. Таким образом, при частоте 8 ГГц, в случае полосковой линии с волновым сопротивлением 50 Ом, осуществили потерю 0,05—0,055 дБ/см.

Д-р Штейнер, И.:

Позолочение контактов соединения пластин печатного монтажа

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 3.

Платы соединения пластин печатного монтажа покрывают слоем из износостойчивого твердого золота, полученного путем электролитического отделения. Самыми важными показателями надежности являются твердость, пористость и гладкая поверхность. Качество позолочения (пористость, содержание СО и др.) испытывали в зависимости от различных параметров, как например, температура отделения, продолжительность, плотность тока и концентрация примеси. Эксперименты были выполнены с применением золотой ванны содержанием кислоты и цитрата. Испытывали концентрацию CO^{2+} и CO^{3+} ванны, а также кристаллическую структуру отделенного слоя, его вязкость и пористость. Результаты изображают диаграммой, на металлографических разрезах и на съемках SEM и путем атомно-абсорбционной спектроскопии. На основе проведенных испытаний было определено условие оптимального отделения.

Dr. Bercei, T. 3 —Dr. Babits, L.—Geleji, V.—Gránásy, J.—Juhász, K.—Frau Kolumbán, T.:

Mikrowellenempfänger für Satellitenfernsehsendung

HÍRADÁSTECHNIKA (Budaqest) 1985. Nr. 3.

Der entwickelte Mikrowellenempfänger hat einen einfacher Aufbau und verwendet neue Schaltungslösungen. Mit einem Antenna von entsprechendem Ausmaß kann er entweder für Einzelempfang oder für Gemeinschaftsempfang gebraucht werden.

Bozsik, K.—Sváb, P.:

Komputerisierte Datenverarbeitung in der Messung der Halbleiterschleifen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 3.

In seinem ersten Teil untersucht dieser Artikel den Prozess der Entwicklung und der Produktion der integrierten Schaltungen aus dem Gesichtspunkt der Messung. Es wird beleuchtet die Bedeutung der Scheibenmessung in der Verminderung der Eigenkosten und in der Verkürzung des Entwicklungsprozesses. Hier wird ein Scheibenmessungssystem und seine Verwendung durch ein Beispiel besprochen.

Dr. Kenderessy, M.:

Die Verwendung des Josephson-Effekts im Mikrowellengebiet

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 3.

Der Josephson-Effekt ist in der Technik seit kaum 20 Jahren bekannt, seit damals ist ja eine sehr intensive Forschung für die Anwendung in aller Welt im Gange. Das Hauptgebiet der Anwendungen sind die Nachrichtentechnik und die Rechner-technik, aber es ist auch in der Messtechnik für spezielle Zwecke angewandt. In der Mikrowellentechnik kann man es als Schwingungserreger, Detektor und Verstärker benutzen. Der Josephson-Durchgang, als ein direkter Schwingungserreger ist selten benutzt, weil die so erzeugte Leistung sehr klein ist. Darum beschäftigt sich der Artikel ausführlicher nur mit den weiteren Verwendungen. Bei Verwendung als Detektor, sind die Gründe zur Rechnung und auch die konkreten Messergebnisse gegeben. Bei Verwendung als Mischer und Verstärker sind nur die theoretischen Gründe gegeben, über die praktischen Benützigungen wird ein anderer Artikel berichten.

Csopaki, Gy.:

Eine Hardwarebeschreibungssprache für die Beschreibung der digitalen Anlage

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 3.

In dem Artikel werden die Anforderungen der Hardwarebeschreibungssprachen für digitalen Anlagen übersehen. Die, in diesem Artikel demonstrierte Hardwarebeschreibungssprache wurde für das CARS (Computer Aid for Recursive Synthesis) System entwickelt. Ein wichtiges charakteristisches Kennzeichen der Sprache ist, das der Konstrukteur dieselbe Elemente der Sprache sowohl für die funktionalen als auch für die strukturalische Beschreibung verwenden kann.

Vértesy, M., Koltai, M., Zsoldos, B.:

Einfluss der Metallisierung der Mikrowellen integrierte dünnschicht Schaltkreisen auf dem Verlust der Bandleitung

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 3.

In der Zusammenarbeit zwischen TKI und MEV ist ausgearbeitet worden ein neue $Ta_2N-Ti-NiCr-Au$ Metall Beschichtungsmethode für die Herstellung der Mikrowellen integrierte dünnschicht Schaltkreisen. In unseren Versuchen haben wir geprüft aus den Beeinflussung den Verlust die Mikrobandleitung die Rolle den sogenannte Zwischenschichten (Ti und NiCr) zwischen Widerstand- und Leitendeschicht. Die Verlustmessungen sind mit Ringresonator gemacht. Wir haben festgesellt, dass mit minimal notwendiger Verminderung der zwei Schichten ist gelungen den Verlust der Mikrobandleitung 25—30% zu reduzieren. So haben wir bei 8 GHz Frequenz, 50 Ohm Wellenwiderstand bei der Bandleitung 0,05—0,055 db/cm Verlust verwicklicht.

Dr. Steiner, I.:

Vergoldung der Steckerleisten der gedruckten Schaltungen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 3.

Die Steckerleisten der gedruckten Schaltungen sind mit einem elektrolytisch abgeschiedenen, verschleissbeständigen Hartgoldschicht versehen. Die wichtigsten Faktoren der Zuverlässigkeit der Steckerleisten sind die Härte, der porenfreie Struktur und die glatte Oberfläche. Die Qualität der Goldschichten (Porosität, Co-Inhalt usw.) wurden in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern (Abscheidungstemperatur, Abscheidungszeit, Stromdichte und Konzentration der Zusätze) geprüft. Die Untersuchungen wurden in sauerem Citrat-Goldbad durchgeführt. Es wurden die Konzentrationen der Co^{2+} und Co^{3+} Ionen, sowie der Kristallstruktur, Haftfestigkeit und Porosität des abgeschiedenen Schichtes geprüft. Die Ergebnisse sind in Graphikons, in metallographischen Schnitte, in SEM Aufnahmen und mit Atomabsorptions-Spektroskopie demonstriert. Auf Grund der Ergebnisse wurden die optimalen Abscheidungsparameter bestimmt.

* * *

Berceli, T.—Babits, L.—Geleji, V.—Gránásy, J.—Juhász, K.—Mrs. Kolumbán, T.:

A microwave receiver for satellite television broadcasting

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 3.

For the reception of satellite television broadcasting, a simple construction microwave receiver has been developed utilizing new circuit principles. With an antenna of adequate size, the microwave receiver can be used for both individual and community receptions.

Bozsik, K.—Sváb, P.:

Computer Controlled Data Reduction in Testing of Semiconductor Slices

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 3.

In its first part this paper examines the process of developing and manufacturing of integrated circuits from the measurement's point of view. It shows the importance of the slice testing in lowering first costs and in shortening the process of the development. A slice testing system is introduced too, and its application through an example.

Dr. Kenderessy, M.:

Application of the Josephson-effect in the microwave frequency range

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 3.

An intense world-wide research is in progress for application fields of the Josephson effect ever since it has been discovered 20 years ago. Its main application is in the communication and computer field but it is equally put to use for special measurement purposes. In the microwave frequency range, it can be utilized for oscillators, detectors, mixers and amplifiers. The Josephson junction is normally

not used for the direct generation of oscillations because of the low power thus obtainable so only the other applications are dealt with in more detail. For detector purposes, the mathematical background and measurement results are presented while only the theoretical aspects are given for Josephson mixers and amplifiers. The practical applications for this field are to be presented in a forthcoming paper.

Csopaki, Gy.:

Hardware description language for specification of digital equipments

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 3.

In the paper the requirements of hardware description languages for specification of digital equipments are surveyed. In this article presented hardware description language was developed for CARS (Computer Aid for Recursive Synthesis) system. One of the most important features is that the designer can use the same language elements for the behavioural and for the structural description at any level of design process.

Vértesy, M.—Koltai, M.—Zsoldos, B.:

The Influence of Metallization System of Microwave Thin Film Integrated Circuits on the Loss of Microstripes

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 3.

We have developed a metallization system containing $\text{Ta}_2\text{N-Ti-NiCr-Au}$ metal layers for processing microwave thin film integrated circuits, in cooperation of TKI (Research Institute for Telecommunications) and MEV (Enterprise for Microelectronics). We have investigated among the influencing parameters, the role of the interlayers (Ti and NiCr) between the resistive and conductive layers. The loss measurements were made by ring resonator. We have concluded, that decreasing the thickness of the interlayers to an optimal value, the loss of microstripes also decreases by 25—30%. In such a way, we have produced a stripline of 50 c waveresistance with $\alpha = 0,05 - 0,055$ dB/cm loss, in the $f = 8$ GHz band.

Dr. Steiner, I.:

Hart-golding of the Connector Edges of Printed Circuit Boards

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 3.

The connector edges of the printed circuit boards must be coated with an electrodeposited wear-resistant hard-gold layer. For the reliability the connectors, the hardness, the porosity and the smooth surface are significant factors. The quality (porosity, Co-concentration etc.) of the gold plating was investigated in function of different parameters i.e. the deposition temperature, deposition time, current density and the concentration of additives. The experiments were made in a citrate acidic gold bath. Also the variation of the concentration of Co^{2+} and Co^{3+} of the bath, the crystal structure and the porosity of the deposited layer were investigated. The results are demonstrated in metallographic sections, SEM photographs and with atomabsorption spectroscopy. On the basis of the results, the optimal deposition conditions are determined.

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, 1442 Budapest VII., Garay u. 5. Telefon: 415-583, 215-440. Felelős kiadó: Faklen Pál igazgató. Terjeszti a Magyar Posta. Előfizethető bármely postahivatalnál, a kézbesítőknél a Posta hírlapüzleteiben és a Posta Központi Hírlapirodánál (KHI, Budapest, József nádor tér 1. 1900) közvetlenül vagy postautalványon, valamint átutalással a KHI 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: „KULTÚRA” Külkereskedelmi Vállalat, H—1839 Budapest, Postafiók 149.



HU ISSN 0018—2028

Egyetemi Nyomda — 85.3253 Budapest, 1985. Felelős vezető: Sümeghi Zoltán igazgató

Index: 25 375