



**A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
FOLYÓIRATA**

**XXXVI. évfolyam
B U D A P E S T**

1985

4

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET FOLYÓIRATA

XXXVI. évfolyam 1985. 4. szám

BHG ORION TERTA

MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

XXXI. évfolyam 1985. 4. szám

MEV REMIX TKI

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

III. évfolyam 1985. 4. 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. Mátya 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
Fénytvádközlés
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 KONAKTA
BRG KŐPORC
EMO KFKI
El. szöv. M. Posta
FMV ML
GAMMA MM
HTSZ MFKI
HAGY TUNGSRAM

TARTALOM

DR. FRIGYES ISTVÁN:

Kiterjesztett spektrumú hírközlő rendszerek 145

CSORNAI LÁSZLÓ—BARNA GYULÁNÉ—VÁRADI ISTVÁN:

Diszkrét félvezető eszközök szűrővizsgálatai 154

SZALAY ISTVÁN:

Erősítőtervezés S-paraméterek segítségével programozható kal-
kulátorral 163

Szemle 170, 176, 185

DR. PÁSZTOR GYULA—BERKECZ JÁNOS—NAGYNÉ FICZA MÁRIA:

Terjedési ellenállás elven alapuló hőérzékelő szenzor struktúrája
és a hőérzékenység kérdése 171

GRZYBOWSKI JAN—KUCINSKI JERZY:

A szocialista országok együttműködése a mikroelektronika terü-
letén 177

DR. HANGOS ISTVÁN—CSERTEG ISTVÁNNÉ:

Nagybonyolultságú monolit integrált áramkörök készí-
tési technológiájában felhasznált különleges minőségű anyagokkal szem-
ben támasztott mennyiségi és minőségi igények várható válto-
zása az évezred végéig 179

REMIX:

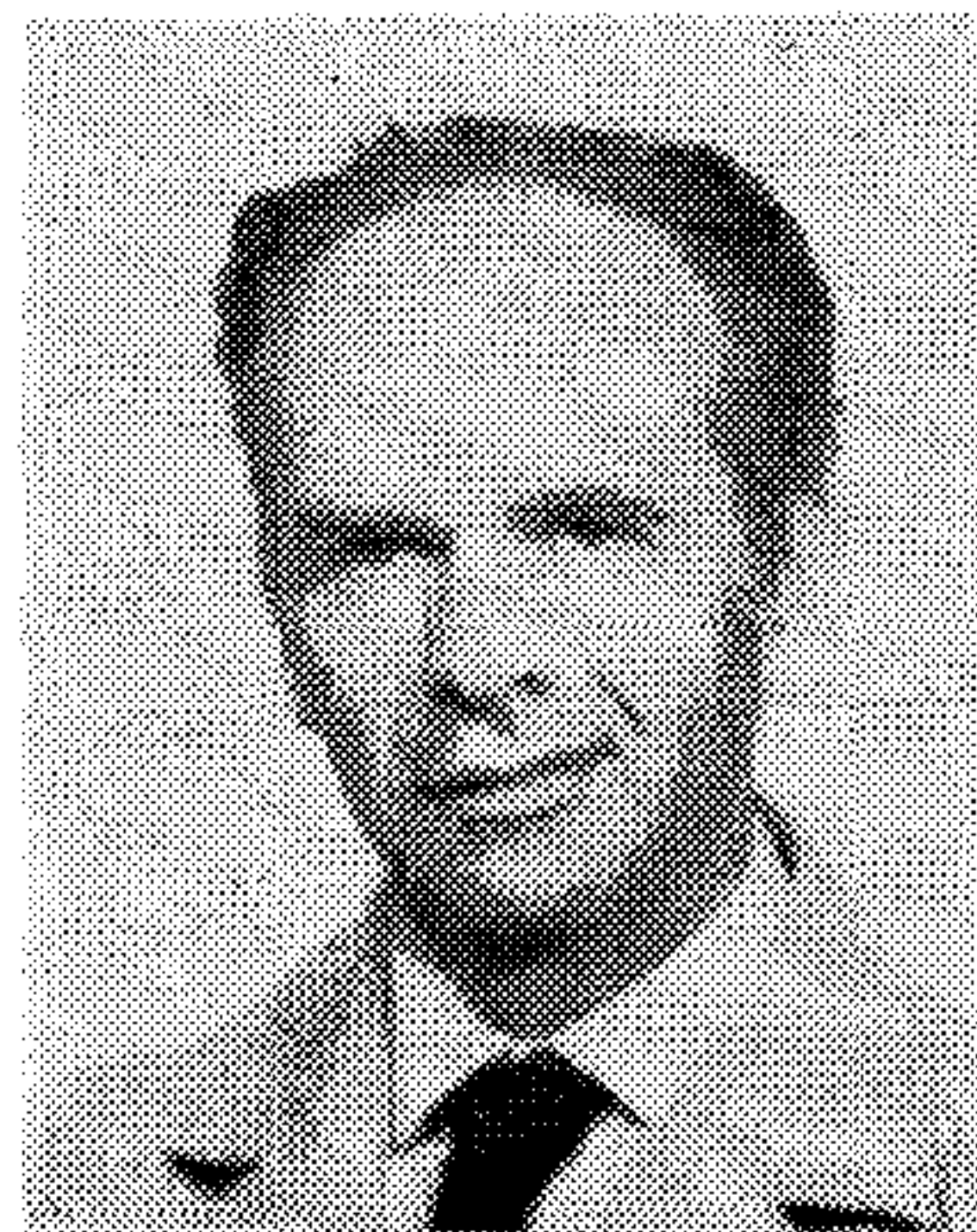
Vastagréteg ellenállások és ellenállás hálózatok ajánlott termék-
választéka 186

Tartalmi összefoglalások 191

Kiterjesztett spektrumú hírközlő rendszerek

DR. FRIGYES ISTVÁN

BME. Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék — Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a spektrumkiterjesztés definiálása után ismerteti a szokásos spektrumkiterjesztő módszereket. Megvizsgálja az interferencia hatását, a szóba jövő modulációs eljárásokat, valamint a felderítés és megfejtés lehetőségeit. A többszörös hozzáférésű csatorna fogalmának definíciója után áttekinti a kódosztás előnyeit és alkalmazási körét. Röviden rámutat a híradástechnikában és a lokátortechnikában alkalmazott spektrumkiterjesztés között fennálló komplementaritásra.

1. Bevezetés

A XX. század végére egyre jobban elterjedő rádiózásnak — éppen a mind szélesebb körű alkalmazás folytán — újabb korlátai jelentkeznek. Korábban a termikus zajt tekintettük a fő korlátozó tényezőnek. A hírközlő rendszereket általában úgy dolgozták ki, hogy e korlátozást a lehető legjobban viseljék el. Ma a zajjal egyenrangú korlátozó hatást fejtenek ki az idegen forrásokból eredő interferenciák. Alapvetően fontos tehát olyan rendszerek kidolgozása és alkalmazása, amelyek az interferenciák korlátozó hatásának képesek ellenállni. Interferenciát okozhatnak olyan összeköttetések, melyek földrajzilag és frekvenciában egyaránt közel vannak a hasznos összeköttetéshez. Azonban az interferáló rendszerek lehetnek szándékos zavarók is. Az előbbi eset minden rendszernél előfordulhat; az utóbbi elsősorban katonai rendszerekben.

Az interferencia-zavarok kiküszöbölésének triviális módja az adóteljesítmény növelése lehetne; triviális azonban az is, hogy ez nem járható út. A második, csaknem ugyanolyan triviális lehetőség: jogi szabályozás útján az egyes összeköttetések által elfoglalható sávot kicsire korlátozzuk. Ez ésszerű gazdálkodást tesz lehetővé; valóban ez is a legkiterjedtebben alkalmazott eljárás.

Fő hátránya az, hogy nem véd a törvényt be nem tartók — a szándékos zavarók — ellen. Ezért, de más okokból is, vizsgáltak más rendszereket is. Így jutottak a spektrum kiterjesztésének mint interferenciaelhárító módszernek meglepő eredményéhez.

E módszernél az adó lényegesen szélesebb spektrumot sugároz ki, mint amilyent az átvitt információ elfoglal — innen származik az eljárás neve. Ha a spektrum kiterjesztését célszerűen hajtjuk végre, az interferencia hatása jelentősen csökkenthető. A spektrum kiterjesztésének további előnyös következményei vannak; ezeket a különböző rendszerek rendre felhasználják. Ilyen tulajdonságok: a kiterjesztett spektrumú jel

DR. FRIGYES ISTVÁN

1954-ben végzett gyengeáramú villamosmérnök-ként a Műegyetemen. Egy évig az Egyesült Izzóban dolgozott, majd 1955-ben a BHG-ba lépett. A híradástechnikai iparág átszervezésekor az Orionba került, előbb fejlesztési csoportvezetőként, majd a mikrohullámú fejlesztési osztály vezetője lett. 1974-től a Távközlési Kutató Intézetben tudományos osztályvezetőként dolgozott. 1983-ban docenssé nevezték ki a Műszaki Egyetemre. Kutatási területe korábban a mikrohullámú áramkörök és antennák technikája volt,

majd az utóbbi, mintegy 15 évben digitális átviteli kérdésekkel foglalkozik. Érdeklődési köre elsősorban a rendszerek tervezési problémáira és szinkronizációs kérdésekre irányul. Szerzője, illetve társszerzője több mint 100 publikációnak, köztük mintegy 20 szabadalomnak és 4 szakkönyvnek. Cikkei magyar és nemzetközi folyóiratokban jelentek meg; számos alkalommal tartott előadást nemzetközi konferenciákon. A műszaki tudományok kandidátusa. Kiváló Dolgozó címmel, továbbá a Kiváló Feltaláló kitüntetés ezüst, majd arany fokozatával és Pollák—Virág-díjjal tüntették ki.

- nehezen deríthető fel;
- nehezen fejthető meg;
- egyes esetekben automatikusan védelmet nyújt a fading hatása ellen;
- lehetővé teszi a hírközlő csatorna többszörös felhasználását.

A következőkben áttekintjük a spektrum kiterjesztő módszereket, azok (felsorolt) tulajdonságait és alkalmazásait.

A kiterjesztett spektrumú rendszerek irodalma rendkívül gazdag. Hely hiányában csak néhány összefoglaló könyvet [1], [2], néhány fontosabb cikkgyűjteményt [3], [4], [5], [6] és néhány hozzáférhető magyar nyelvű közleményt sorolunk fel [7], [8], [9]. Utóbbiakkal kapcsolatban és e szakasz befejezéseként megemlítjük, hogy az angol spread spectrum kifejezést szokták „szórt spektrumú”-ként is fordítani. E cikk szerzője (és rovatszerkesztője is) előnyben részesíti a címbeli „kiterjesztett spektrumú” kifejezést, két okból.

1. Az angol to spread ige fordítása kiterjeszt vagy szétszór lehet — de nem szór (utóbbinak a to scatter kifejezés felelne meg); a „kiterjesztett” kétségtől jobban hangzik, mint a „szétszórt”.
2. Magyar nyelven a kérdéskörrel — nagyon futólag — [7] foglalkozott tudomásunk szerint először, és a „kiterjesztett” kifejezést használta.

Beérkezett: 1984. VIII. 28. (□).

2. A spektrum-kiterjesztés definíciója — spektrum-kiterjesztő módszerek

B_i -vel jelölve az átviendő információ által elfoglalt (gyakorlati) sávot a spektrum-kiterjesztés

1. jelkezelő módszer, melynél

$$W \gg B_i;$$

ahol W a kezelt, már kiterjesztett spektrumú jel által elfoglalt sáv.

2. ehhez külön, az információtól független sáv-kiterjesztő jelet használ;
3. amely jel olyan, hogy az eredő kiterjesztett sávú jel zajszerű legyen.

Az átvitt információ elvileg lehet analóg vagy digitális alakú, bár az utóbbi gyakoribb. A sáv-kiterjesztő jel — a 3. tulajdonság teljesítésére — valamilyen álvéletlen jelfolyam.

A 2. tulajdonság kizárja a vizsgálat köréből az analóg átviteli rendszerek közül például a szélessávú frekvenciamodulációt, vagy a meredek impulzusokkal dolgozó impulzus-helyzetmodulációt, a digitális rendszerek közül pedig az $M \gg 1$ állapotú ortogonális jelkészletet alkalmazó átvitelt. Utóbbiaknál ugyanis bár $W \gg B_i$, e helyzet külön spektrumkiterjesztő jel nélkül áll elő. A 3. tulajdonság kizárja a magyarra „csipogó frekvenciának” fordítható úgynevezett „chirp frequency” rendszert, melyben a spektrumot valamilyen szabályos, járulékos frekvenciamodulációt okozó időfüggvény szerint terjesztik ki (fűrészfeszültséggel, szinuszos feszültséggel stb.).

A definíciónak megfelelő jelet úgy állíthatjuk elő, hogy az információt hordozó jelet megszorozzuk a spektrumot kiterjesztő álvéletlen sorozattal. Erre két lehetőség kínálkozik: az információs jelet ténylegesen megszorozzuk egy (gyors) álvéletlen sorozattal, vagy a vivőfrekvenciát véletlenszerűen (pontosabban: álvéletlenszerűen) széles tartományban változtatjuk. Az előbbi közvetlen álvéletlen sorozatmódszernek nevezik (angolul direct sequence vagy pseudo-noise módszer, melyet ennek megfelelően a DS vagy a PN betűkkel jelölnek), az utóbbit frekvenciaugratásos rendszernek (frequency hopping — FH).

2.1. A DS rendszer

A DS adó lényeges részeit az 1. ábrán láthatjuk. Az ω_0 frekvenciájú oszcillátor jelét az $s(t)$ információs jellel moduláljuk. $s(t)$ NRZ alakú digitális jelfolyam, mely — például — a vivő fázisát modulálja. A kódgenerátor álvéletlen kódot állít elő — ezt $c(t)$ -vel jelöljük $c(t)$ sebessége $s(t)$ sebességénél több nagyságrenddel nagyobb, pl. annak százszorosa, ezerszerese. Így az 1. ábra megvalósítja a definíció 1–3. pontját.

A spektrális viszonyokat a 2. ábrán tüntettük fel; $S_s(f)$, $S_c(f)$ és $S_x(f)$ rendre $s(t)$, $c(t)$ és $x(t)$ spektrális sűrűsége.

Néhány megjegyzést fűzünk az elmondottakhoz. A $c(t)$ álvéletlen kód a legegyszerűbb esetben visszacsatolt tolóregiszterrel előállított maximális hosszúságú sorozat; néha ennél bonyolultabb sorozat is lehet.

Az $s(t)$ jel és a $c(t)$ kód elvileg heterokronok is lehetnek. Mint később látni fogjuk, a gyakorlatban $s(t)$ bit-ideje (T) mindig egész számú többszöröse a $c(t)$ elemi-jel idejének (T_c), amelyet chip-időnek neveznek. Ugyancsak nincs elvi kötés a T/T_c viszony és a $c(t)$ kód hossza között. A valóságban gyakorlati okokból a kódszó hossza legtöbbször megegyezik T/T_c -vel (vagyis egy teljes álvéletlen sorozat éppen egy bitidő alatt fut le). Ez a kód szinkronizálását könnyíti meg.

Mivel a maximális hosszúságú álvéletlen sorozat $2^n - 1$ chipből áll, a spektrum kiterjesztés aránya ilyen esetben megadja a tolóregiszter n hosszát.

A 3. ábrán a DS vevő fontosabb egységeit tüntettük fel. Tegyük fel, hogy a vevőoldalon pontosan ismerjük a $c(t)$ spektrumkiterjesztő kódot. Akkor

$$\hat{c}(t) = c(t) \quad (1)$$

és a keverő „lokál” bemenetére adott jel

$$l(t) = c(t)e^{j\omega_0 t},$$

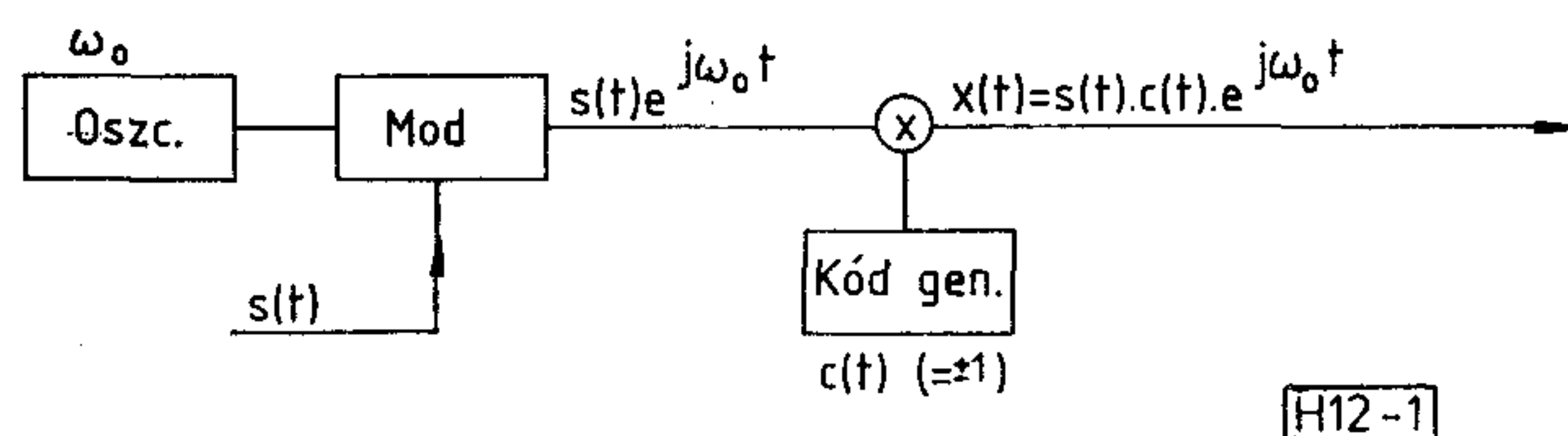
míg a „jel” bemenetre $x(t)$ jut. A keverő $1 \cdot x$ kisfrekvenciás összetevőjét állítja elő, így a középfrekvenciás jel

$$k(t) \triangleq x(t) \cdot l(t) = s(t) \cdot c(t) \cdot c(t)e^{j(\omega_0 - \omega_0)t} = s(t)e^{j\omega_0 t}$$

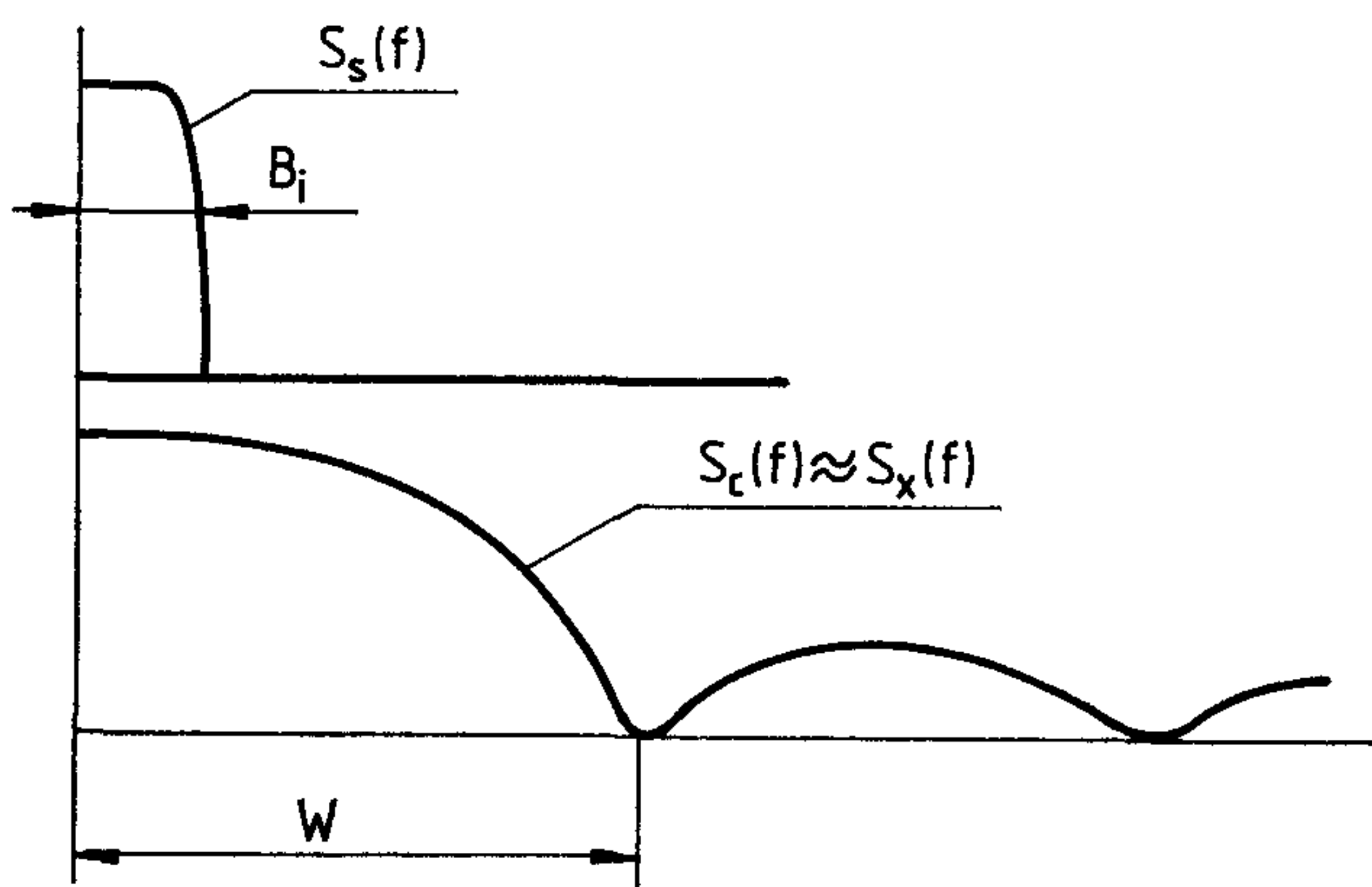
f_i -vel jelölve a középfrekvenciát és figyelembe véve, hogy $c^2 = (\pm 1)^2 = 1$.

Az (1) összefüggés nem teljesen triviális; az természetes, hogy a vevőben (éppen úgy, mint az adóban) rendelkezésre áll a $c(t)$ álvéletlen generátor, az azonban korántsem, hogy a kettő szinkronban működik. Valóban a vevőoldali kódgenerátor szinkronizálása az adóoldalihoz a kiterjesztett spektrumú rendszereknek talán legsúlyosabb problémája.

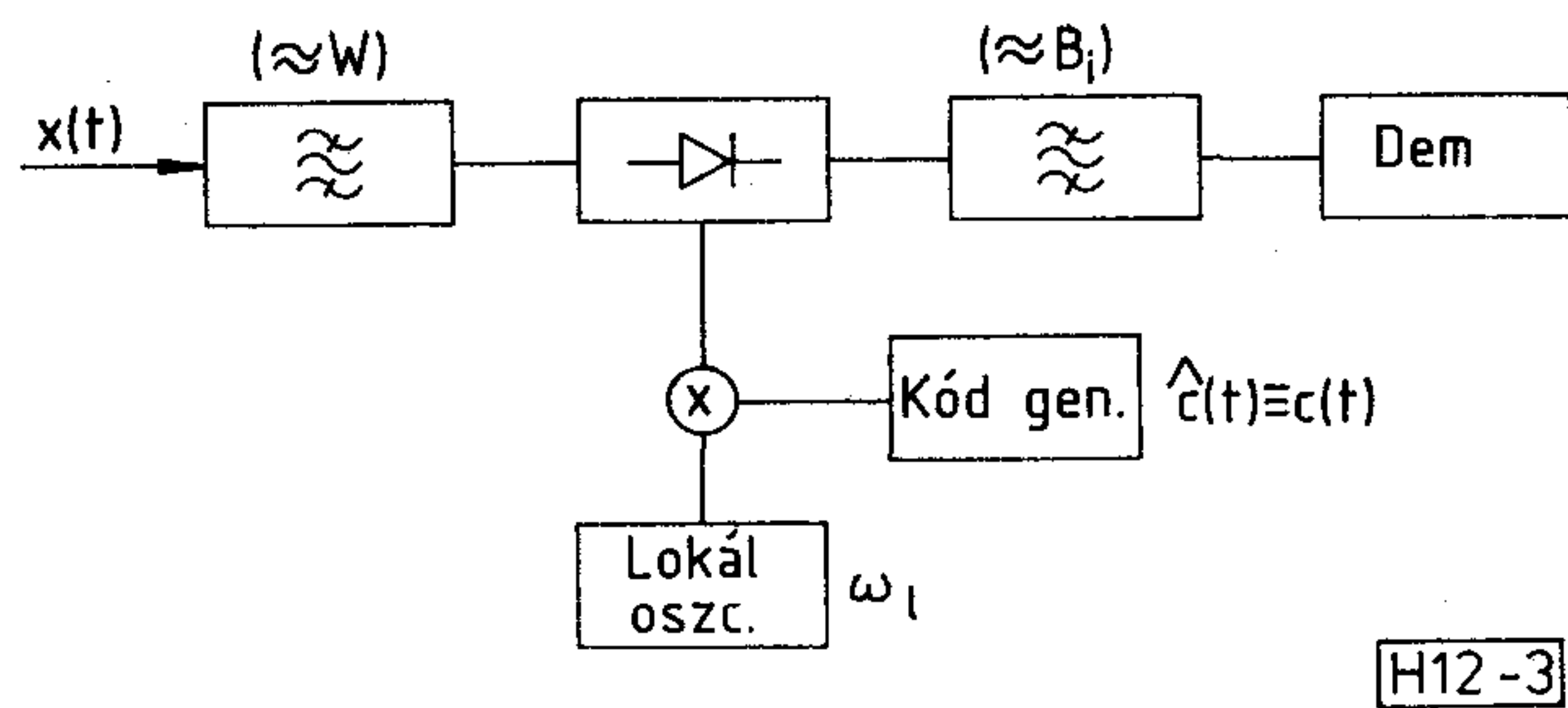
Az elmondottak illusztrálására az egyes jelalakokat a 4. ábrán tüntettük fel — az egyszerűség kedvéért mindössze hétszeres spektrum kiterjesztést alkalmazva. Ugyancsak feltüntettük a $c(t)$ -t előállító generátort is.



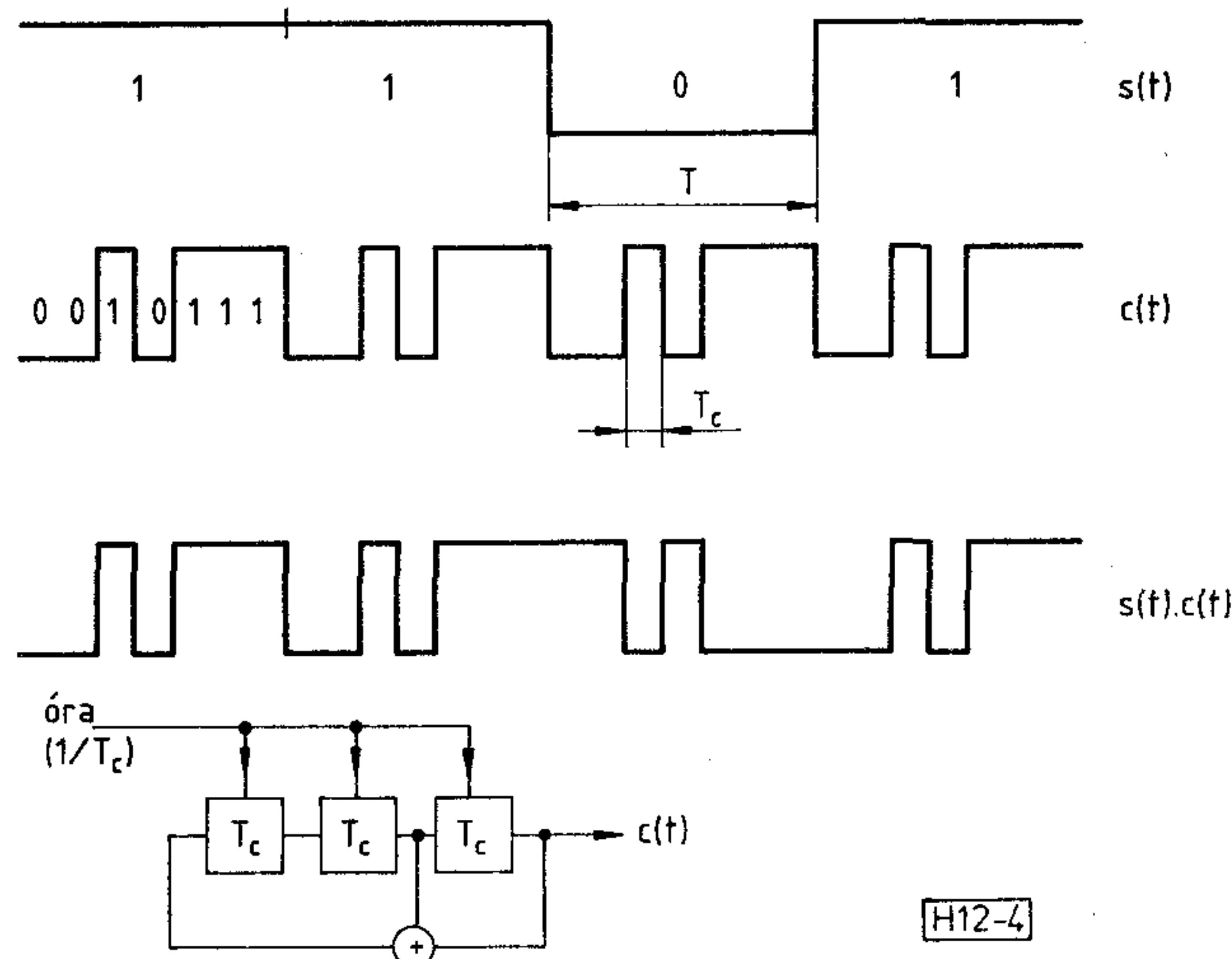
1. ábra. DS adó vázlata



2. ábra. A DS rendszerrel kapcsolatos spektrumok



3. ábra. DS vevő vázlata



4. ábra. DS rendszerrel kapcsolatos jelalakok és a $c(t)$ -t előállító generátor

2.2. Az FH rendszer

Az FH adóban a frekvenciát változtatjuk álvéletlenül. Ez célszerűen frekvenciaszintetizátorral valósítható meg, melyet — az előbbiekhez hasonlóan — álvéletlen generátorral programozunk. Maximális hosszúságú álvéletlen sorozatot alkalmazva $2^n - 1$ -féle frekvenciát állíthatunk elő. Az FH adó egy lehetséges kivitelét az 5. ábrán, a vevőt a 6. ábrán láthatjuk.

Az előzőkhöz hasonlóan

$$x(t) = s(t)e^{j[\omega(t) + \omega_l t]},$$

$$l(t) = e^{j\omega(t) \cdot t}$$

$$k(t) = s(t)e^{j\omega_l t}.$$

A 7. ábrán feltüntettük azt az $\omega(t)$ függvényt, melyet a 4. ábra álvéletlen generátora állít elő. A spektrum kiterjesztésének mértéke most

$$W/B_i = \delta f(2^n - 1)B_i,$$

ami T_c -től (csaknem) független. A T_c chip-idő e rendszerben szabadon választható paraméter; ha $T_c > T$ — vagyis a frekvencia több bit idejére állandó marad — úgynevezett lassan ugráló rendszerrel van dolgunk. Ha $T_c < T$ — vagyis a frekvencia egy információs bit idején belül is néhányszor vált — rendszerünk frekvenciája gyorsan ugrál. Mindkét rendszernek vannak előnyös és hátrányos tulajdonságai. A frekvenciák δf távolsága elvileg tetszőleges lehetne.

Célszerű értéke azonban T -től és T_c -től egyaránt függ. Lassú rendszerben — annak érdekében, hogy az egyes frekvenciák valóban diszjunktak és így egymástól megkülönböztethetők legyenek —

$$\delta f \geq B_i \approx 1/T; \quad (2)$$

gyors rendszerben pedig — hasonló okból —

$$\delta f \geq 1/T_c. \quad (3)$$

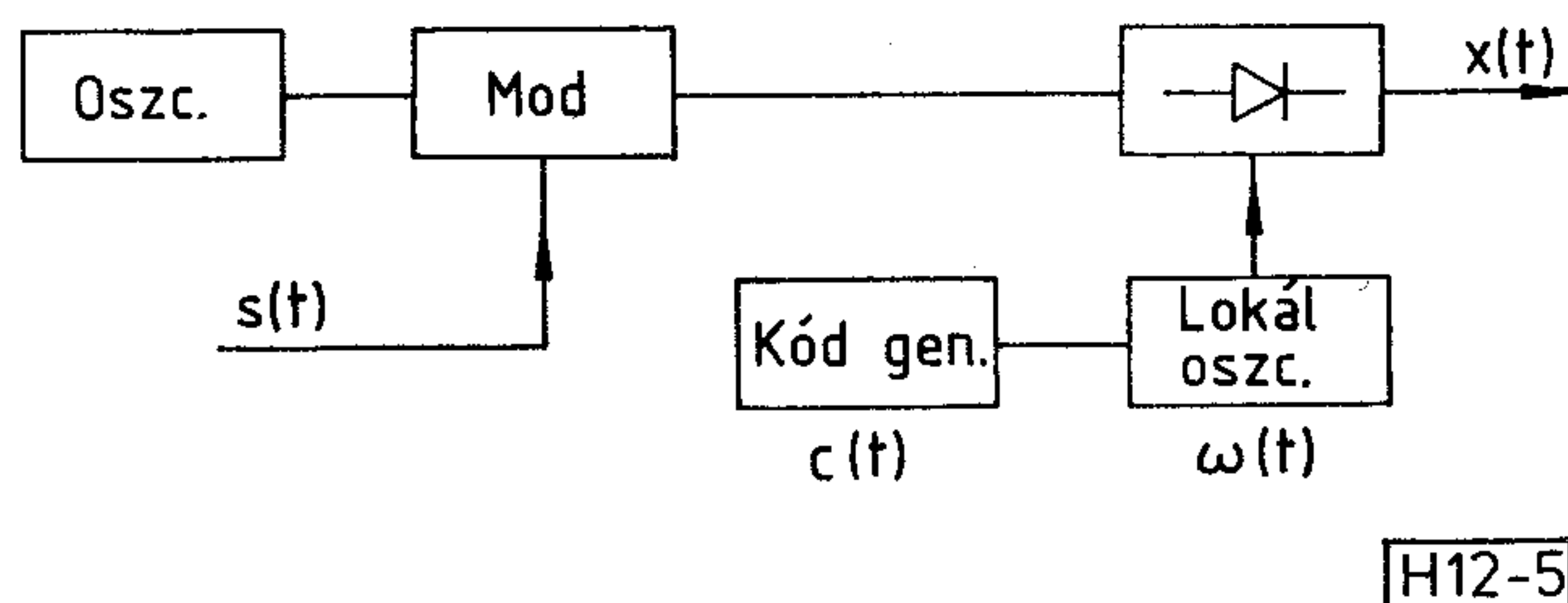
Másfelől kevés előnnyel járna a (2) és (3)-beli korlátnál jóval nagyobb választás. Így a gyakorlatban

$$\delta f \approx \text{Max.}[1/T, 1/T_c].$$

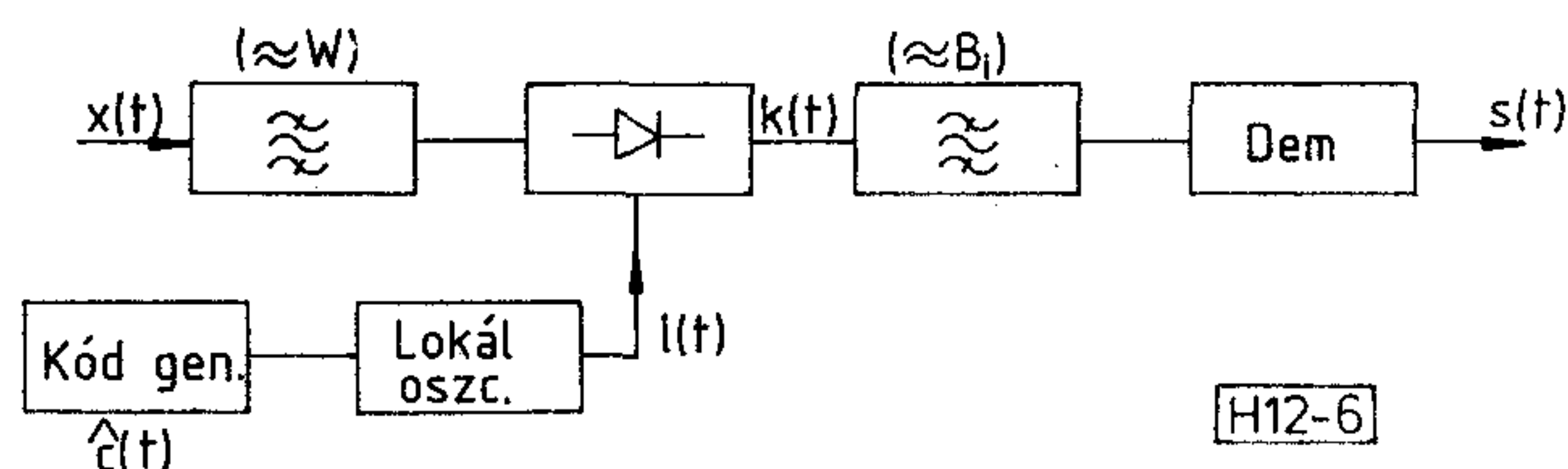
FH rendszerben kiterjesztett spektrumú jel spektrális sűrűség függvénye nem sokat mondana (mivel a frekvencia az időben változik, spektrumról csak elég hosszú időbeli integrálás után beszélhetnénk; ekkor a spektrum a sávhatárolt fehér zajéval egyezne meg). Többet mond és szokásosabb a jel ábrázolása egy kétdimenziós térben, melynek egyik koordinátája az idő, másik a frekvencia. Ilyen ábra hasonló a 7. ábrához, azzal az eltéréssel, hogy azt a cellát be-sraffozzuk, melyben az energia nullától különbözik. Ha például lassú FH rendszert képzelünk el, ahol $\delta f \approx B_i$, a 7a ábrához jutunk.

E pont befejezéseként futólag megemlítjük, hogy a rádiólokátorok technikájában is alkalmaznak álvéletlen kódolást: a lokátor-adó impulzusát álvéletlen jellel fázisban modulálják. Ott az a feladat, hogy nagy energiájú, rövid impulzust állítsanak elő, csúcs-teljesítményben limitált eszközzel. Ennek egyik módja: a T hosszúságú impulzust álvéletlen jellel modulálják, majd a jelet megfelelő dekódolással $\tau \ll T$ idejűre „komprimálják”. Érdekesség, hogy e feladat éppen a komplementere a kiterjesztett spektrumú hírközlés feladatának. A hírközlésben a T idő állandó, adott, és a kódolás az elfoglalt B_i sávot $W \gg B_i$ -re terjeszti ki, így WT igen nagy lesz. A dekódolás a spektrumot újra koncentrálja ($B_i T \approx 1$).

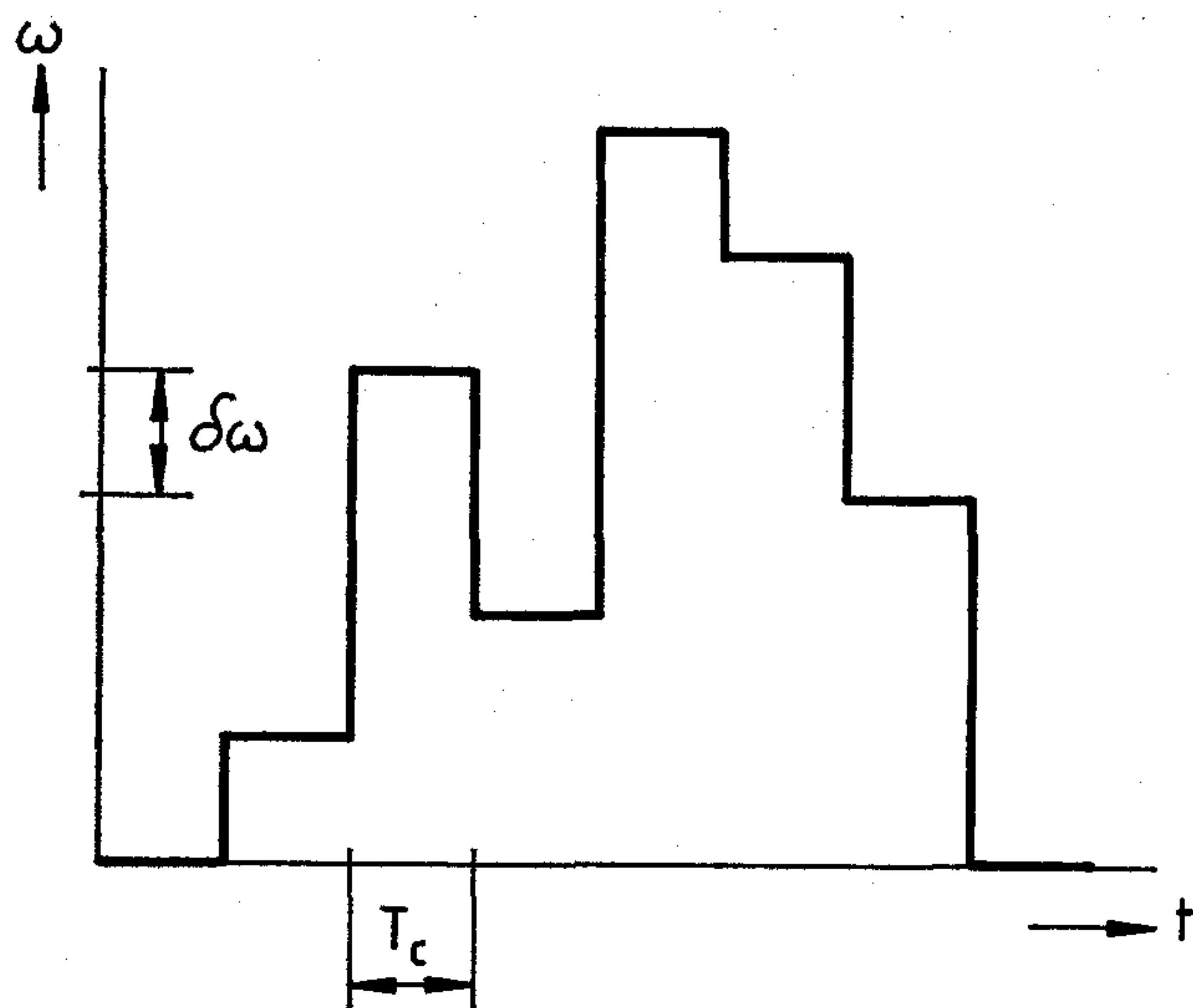
A lokátorteknikában az elfoglalt sáv, W állandó. A kódolás az időt lényegesen megnyújtja ($W \cdot T$ igen nagy), majd a dekódolás — az impulzus komprimálása — azt τ -ra csökkenti úgy, hogy $W\tau \approx 1$ legyen.



5. ábra. FH adó vázlata

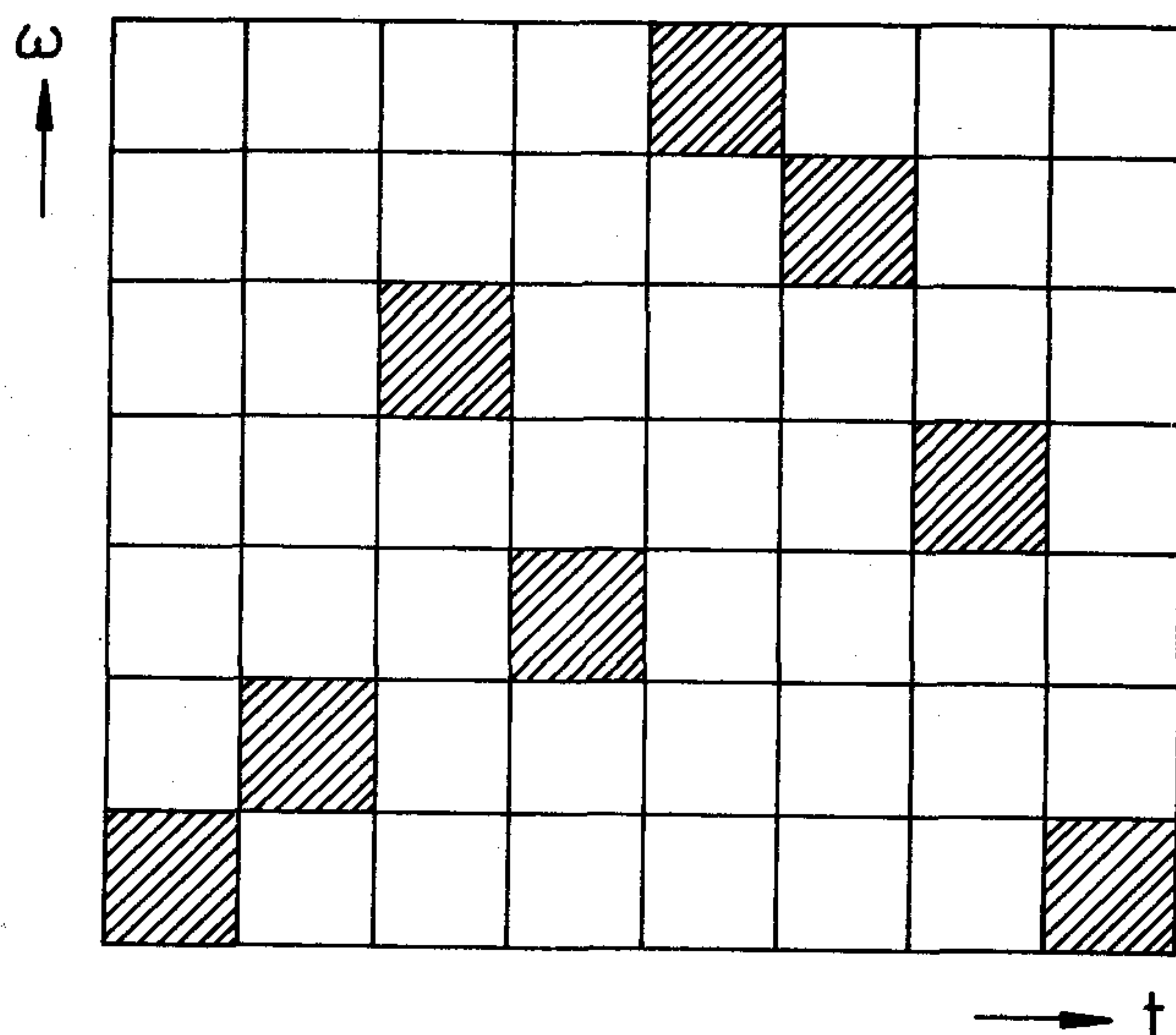


6. ábra. FH vevő vázlata



H12-7

7. ábra. A 4. ábra kódgenerátorával előállítható frekvencia-sorozat



H12-7a

7a ábra. A 7. ábrának megfelelő idő—frekvencia raszter — lassú FH rendszer

3. Interferáló jelek hatása

3.1. Keskenysávú zavarok

Vizsgáljuk a 8. ábra szerinti modellt: a kiterjesztett spektrumú jelet átvivő csatornán a hasznos jelhez m darab, egyenként keskenysávú zavar adódik. Akkor a vevő bemenetére

$$x_z(t) = x(t) + i_1(t) + \dots + i_m(t)$$

jel érkezik. DS rendszernél a középfrekvenciás jel + zavar kifejezése

$$k(t) = c^2 \cdot s + c(i_1 + \dots + i_m) = s + ci_1 + ci_2 + \dots + ci_m$$

Vagyis a jel vevőbeli feldolgozása a hasznos jelet újra koncentrálna, míg az interferenciák spektrumát

kiterjeszti. Mivel $c(t)$ zajszerű (1. a definíció 3. pontját), a vevő B_i sávszélességébe jutó zavaró teljesítmény B_i -vel arányos lesz; számszerűen

$$(S/I)_{ki} = (S/I)_{be} \frac{W}{B_i}; \frac{W}{B_i} \triangleq PG$$

$(S/I)_{be}$, ill. $(S/I)_{ki}$: a hasznos és zavaró teljesítmények aránya a bemeneten, ill. a kimeneten; PG : az úgynevezett feldolgozási nyereség. A frekvenciatérben vizsgálva a viszonyokat a 9. ábrához jutunk.

FH rendszerben a viszonyok számszerűen hasonlóan alakulnak, bár a helyzet fizikailag kissé más. A vevőbeli feldolgozás az interferenciák „hatásosságát” azokra az időtartamokra koncentrálja, melyekben valamelyik interferáló jel frekvenciája $x(t)$ -nek B_i nagyságú környezetébe esik. Miután ez az időnek csak B_i/W hányadában következik be, az átlagos zavaró teljesítmény hasonló arányban csökkent, vagyis ismét

$$PG = W/B_i.$$

Lassan ugráló rendszerben $W = N \cdot \delta f \approx NB_i$, ahol N a frekvenciák száma. Ilyenkor — de csak ilyenkor — a feldolgozási nyereség

$$PG = N.$$

3.2. Szélessávú zavarok

E kategóriába esik a vevő termikus zaja, de ugyanakkor a zajszerű (szándékos vagy véletlen) zavaróadók okozta interferencia, köztük a hasonló. kiterjesztett spektrumú adók interferenciája. Ha az interferencia $c(t)$ -vel nincs korrelálva, a 10. ábrához jutunk. Most is, mint az imént

$$(S/I)_{ki} = (S/I)_{be} \cdot PG,$$

ami a B_i sávra eső jel/interferencia vagy jel/zaj arány.

Másként alakul a helyzet, ha $i(t)$ és $c(t)$ egymással korrelálva vannak. E kérdés egy-két vonatkozására visszatérünk.

Érdekes az S/I viszonyt külön megvizsgálni a termikus zaj és a zajszerű szándékos zavarok esetében. A kiterjesztett spektrumú vevő bemenetén W sávszélességet kell biztosítani (1. a 3. ábrát). Így a jel/termikus zaj arány

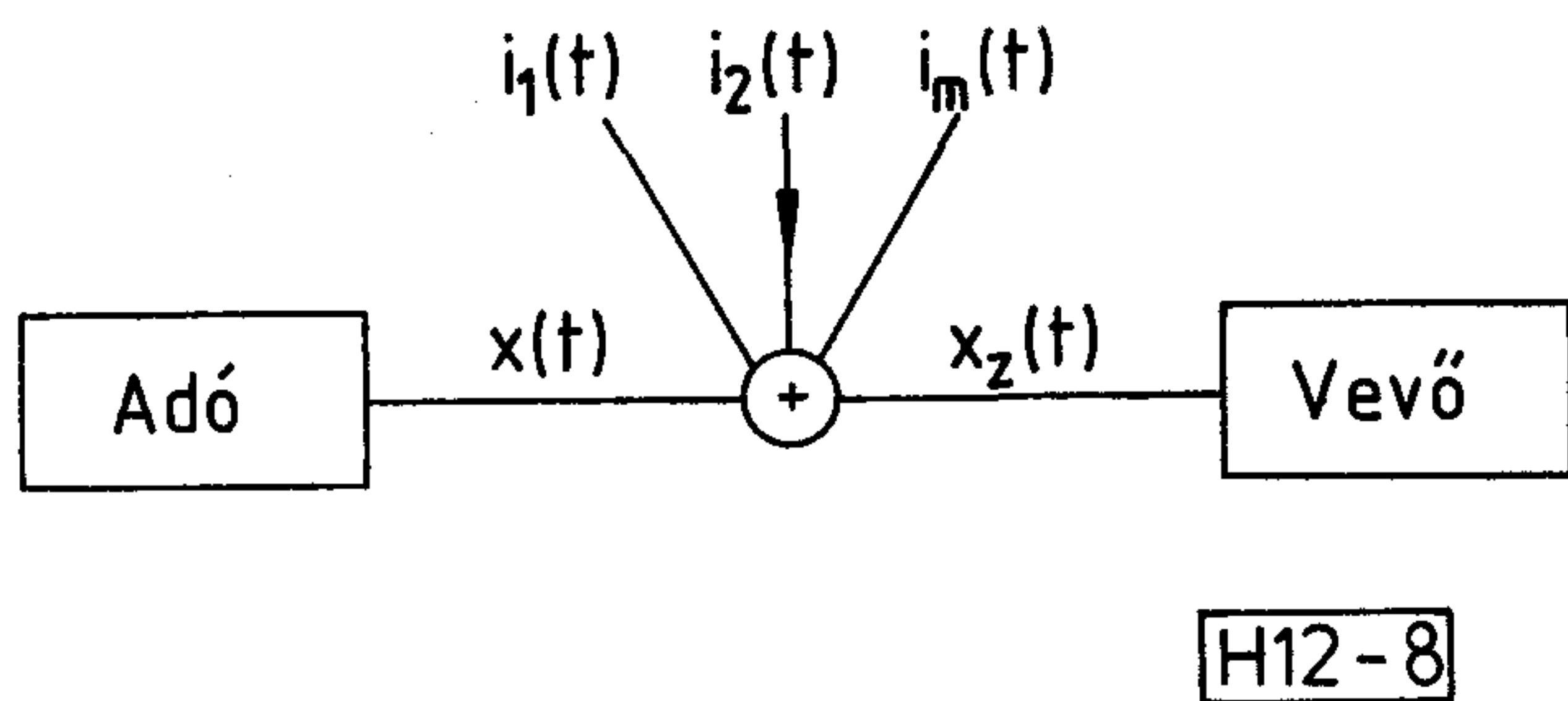
$$\left(\frac{S}{N}\right)_{be} = \frac{S}{N_0 W}$$

lesz, ahol N a zajteljesítmény, N_0 ennek (egyoldalas) spektrális sűrűségfüggvénye.

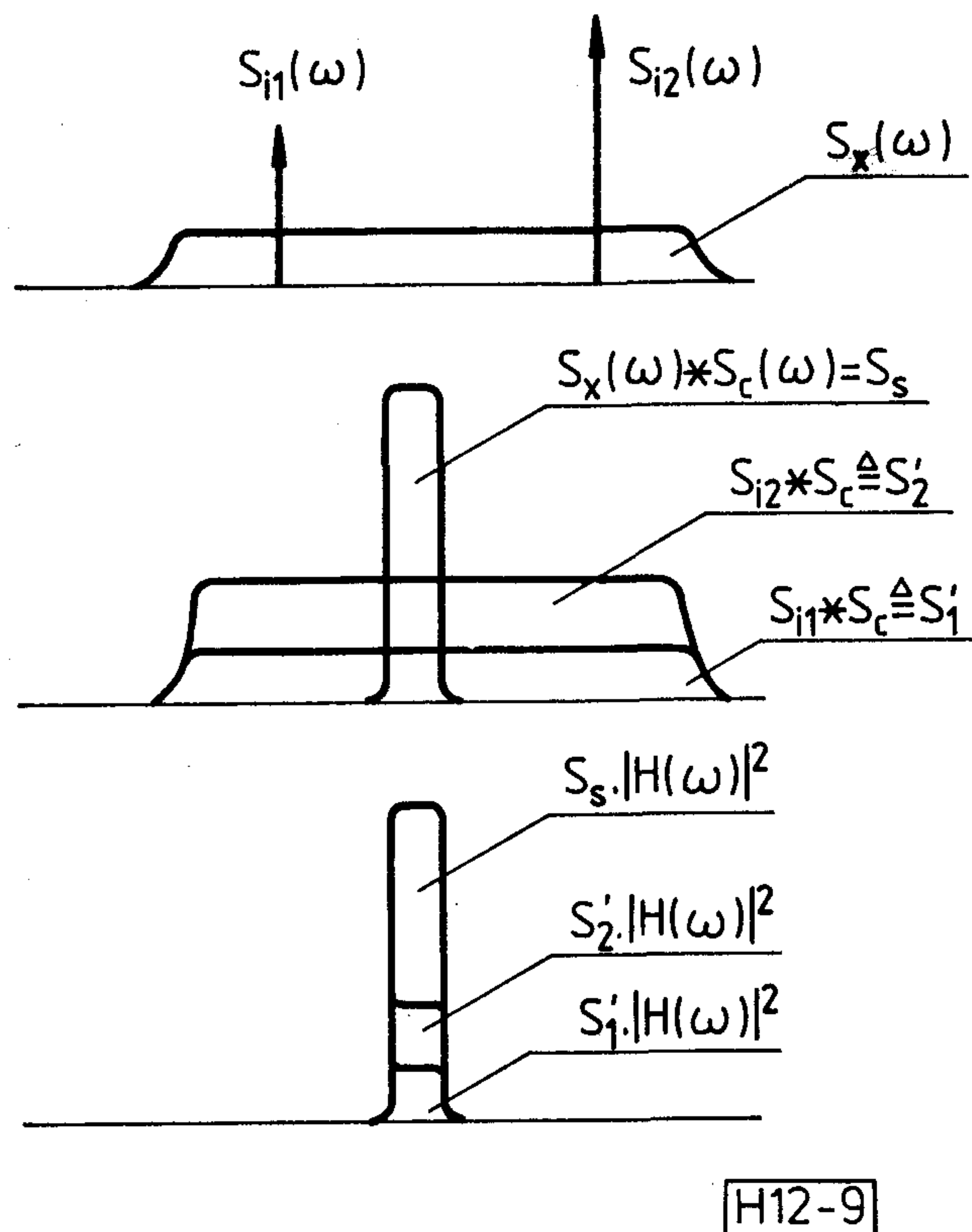
A spektrum újra koncentrálna N_0 értékét nem változtatja meg (mivel egy, a zajforrással nem korrelált jellel szorozzuk meg), így a kimenő jel/termikus zaj arány

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{ki} = \frac{S}{N_0 B} = \left(\frac{S}{N}\right)_{be} \cdot PG,$$

mint már láttuk. Azonban egy közönséges, spektrumkiterjesztést nem alkalmazó rendszer jel/zaj viszonya ugyancsak $S/N_0 B$ volna, így a spektrumkiterjesztés



8. ábra. Interferenciákkal terhelt rendszer modellje



9. ábra. Keskenysávú interferáló jelek hatása

a termikus zaj hatását sem nem javítja, sem nem rontja.

Ugyanezek az összefüggések érvényesek a széles sávú szándékos zavar esetére is, egy jelentős különbség mégis van; ez pedig az, hogy a szándékos zavaró adónak egy adott véges teljesítmény áll rendelkezésére — jelöljük ezt J -vel. Ha e teljesítményt az egész W sávra ki akarjuk terjeszteni, a teljesítménysűrűség

$$N_0 = \frac{J}{W},$$

a bemeneten látható jel/zavar arány pedig

$$S/I_{be} = \frac{S}{N_0 W} = \frac{S}{J},$$

amint azt vártuk. A kimenő jel/interferencia

$$(S/I)_{ki} = \frac{S}{N_0 B_i} = \frac{S}{J} \cdot \frac{W}{B_i} = S/J \cdot PG.$$

Ha a spektrumot nem terjesztettük volna ki, a zavaró teljesítményt sem kellene széles sávra kiterjeszteni. Ebben az esetben $(S/I)_{ki}$ értéke S/J -vel egyezne meg. Így látható, hogy a spektrum kiterjesztése majd újra koncentrációja

— a keskenysávú zavaró teljesítményt durván $1/PG$ arányban csökkenti;

— a termikus zaj szempontjából hatástalan; a szélessávú és az adott jellel nem korrelált zavaró teljesítményt ugyancsak $1/PG$ arányban csökkenti.

Az utóbbi két állítás látszólagos ellentmondásának feloldása, mint láttuk az, hogy a termikus zaj teljesítménye (elvileg) végtelen nagy, minthogy spektrális sűrűsége állandó. A zavaró adók teljesítménye azonban (akár szándékos, akár véletlen zavarásról van szó) mindenképpen véges. Így teljesítménysűrűségük annál kisebb, minél szélesebb sávra terjednek ki. Több egyidejű zavarforrás teljesítménysűrűségei természetesen összegződnek.

E szakasz befejezéséként megjegyezzük, hogy bár a zavaró teljesítmény mindegyik vizsgált zavarnál és mindegyik vizsgált rendszernél (DS , lassú FH , gyors FH) egyaránt a sávkiterjesztés arányában csökken, az összeköttetések minőségére gyakorolt hatás különböző lehet — amint a következő szakaszban futólag látni fogjuk.

4. Moduláció — hibaarány

Az 1. és az 5. ábrán csak vázlatosan rajzolt moduláció elvileg tetszőleges digitális modulációs eljárás lehet. A DS rendszerben semmi nem szól a (két vagy négy állapotú) fázismoduláció ellen, így legtöbbször azt célszerű alkalmazni. Részletkérdés, de azért megemlítyük, hogy az 1. ábrán feltüntetett két modulátor eggyé vonható össze, mivel a modulált jel szorzása az álvéletlen kóddal helyettesíthető a moduló és a spektrumkiterjesztő digitális jelek moduló 2 értelmű összeadásával; ekkor az $s(t) \oplus c(t)$ jellel moduláljuk az adó fázisát. Továbbá, amint a vevőben a kódszinkront megtaláltuk és a spektrumot újra koncentráltuk, a hagyományos koherens demoduláló módszereket is használhatjuk. Ilyenkor a vevő B_i sávjába jutó zavar alig különböztethető meg a termikus zajtól. A hibaarány szempontjából a megjelenő (látszólagos) jel/zaj viszony

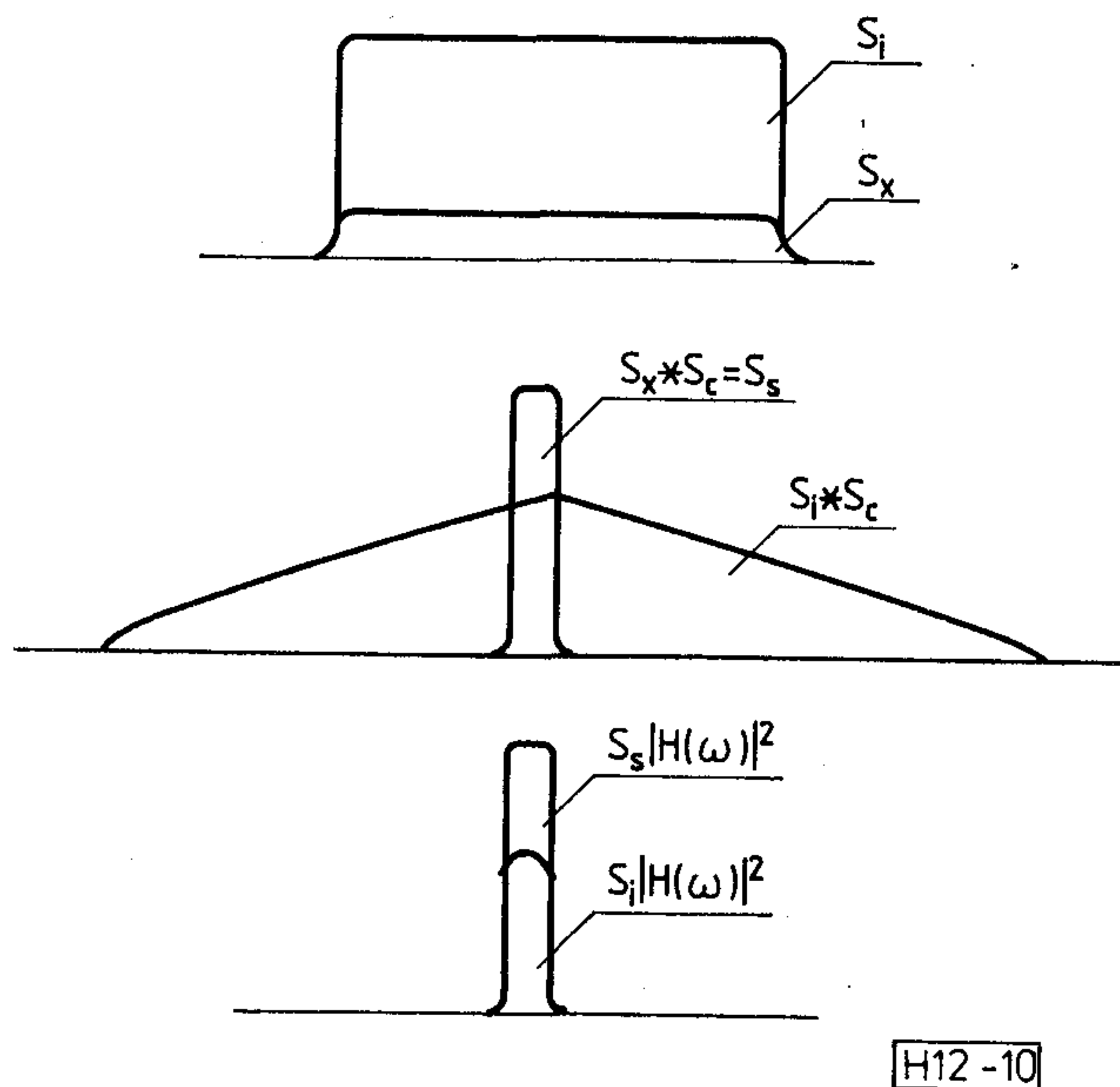
$$R_a = \frac{C}{N + \frac{I}{PG}},$$

ahol C a vivőteljesítmény, N a zaj, I pedig az interferáló teljesítmény.

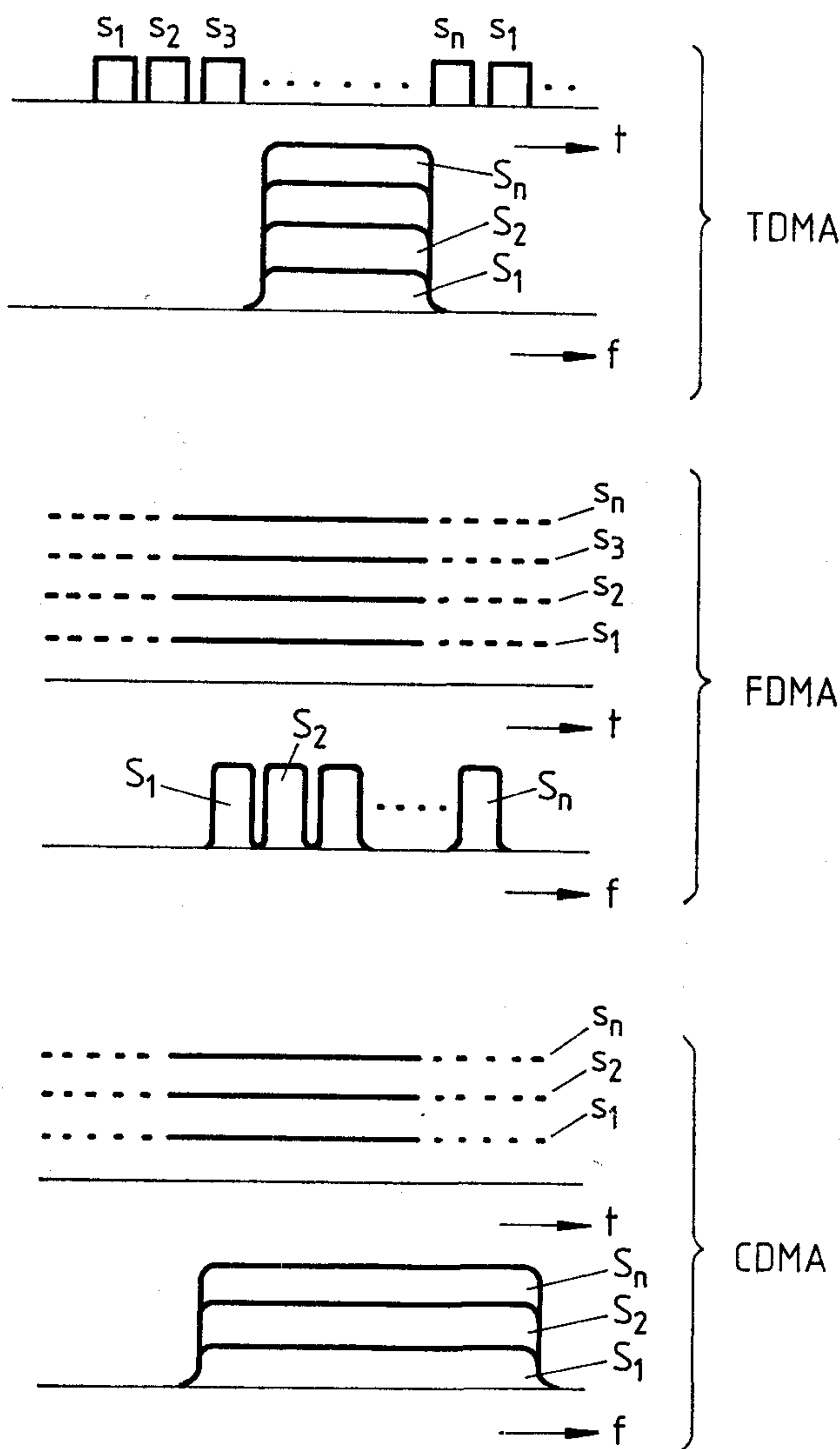
Ha előírjuk a PG feldolgozási nyereségét, továbbá azt, hogy az interferencia hatásának ellensúlyozására mennyivel kívánjuk a teljesítményt emelni, a megengedett interferencia/hasznos teljesítmény arányt kiszámíthatjuk:

$$\frac{I}{C} = \frac{PG}{R_s} (1 - 1/L), \quad (4)$$

ahol R_s az adott hibaarány eléréséhez szükséges jel/zaj viszony és L az interferencia hatására megengedett veszteség. (Ha például deltamodulációval



10. ábra. Szélessávú interferáló jelek hatása



H12-11

digitalizáljuk a beszédet, 10^{-3} hibaarány elfogadható lehet; ehhez $R_s = 10$ dB. $L = 1$ dB-t megengedve és 30 dB feldolgozási nyereséget alkalmazva — vagyis a deltamodulációhoz szükséges 16 kHz sávot 16 MHz-re növelve — $I/C = 13$ dB is elfogadható. Ha másfelől a rendszerrel szemben támasztott igények nagyobbak — pl. 10^{-6} hibaarányra törekszünk — $R_s = 14$ dB vehető; ha most is 13 dB I/C értéket kell megengednünk, $L = 3$ dB-t kell vennünk. Vagyis a vett hasznos jelet 16 dB-lel meghaladó zavar hatásának ellensúlyozására, még ebben az igen jó minőségű esetben is elég az adóteljesítményt 3 dB-lel emelni.

(4)-ből és a példákban látható, hogy ha elég nagy adóteljesítmény áll rendelkezésünkre, tetszőleges előírt hibaarányt megvalósíthatunk, amíg az interferencia/vett jel arány PG/R_s -nél nem lesz nagyobb. Másfelől, ha a hasznos teljesítmény adott, a hibaarány az interferencia növekedésével ugyanúgy nő, mintha a termikus zaj nőne meg.

Az *FH* rendszerre térve, ott a generátor és az átviteli csatorna tulajdonságai egyaránt megakadályozzák azt, hogy az újra koncentrált spektrumú jel önmagában koherens legyen — a chipidők határánál a vett jel fázisa kézen nem tartható ugrásokat fog tartalmazni. Ezért itt csak nem-koherens demoduláció és azon belül frekvenciamoduláció vagy differenciálisan koherens módon demodulált fázis-moduláció jöhet szóba.

A lassú és a gyors rendszer moduláció szempontjából eltér. Lassú *FH* rendszerben az 5. ábra modulátora konvencionális frekvenciamodulátor, a 6. ábra demodulátora pedig limiter-diszkriminátor lehet.

Ilyenkor a (modulációs) frekvencialöket valamivel kisebb a δF frekvenciaugrásnál, így változó vivőfrekvencia közönséges kétállapotú *FSK* modulációjával van dolgunk. Gyors *FH* rendszerben elvileg ugyanígy is eljárhatunk, de előnyösebbnek bizonyul, ha a moduláció és a kódolás műveletét összevonjuk és az egymás után következő frekvenciák sorozata tartalmazza az információt is. Így sok-állapotú frekvenciamodulációhoz jutunk. Gyors *FH* rendszerben lehet fázismodulációt is alkalmazni. A részletek tekintetében az irodalomra utalunk.

Interferenciának kitett *FH* rendszer viselkedése az imént látott *DS* rendszerétől lényegesen eltér. Megint a lassú rendszert vizsgálva először, ha a keskenysávú interferencia az adó teljesítményének mondjuk felét eléri vagy annál nagyobb, az összeköttetés megszakad azokban a chip-időrésekben, melyekben a vivő és az interferáló frekvenciák megegyeznek. Így a hibaarány

$$P_E = \frac{1}{2PG} = \frac{1}{2N}; I/C \geq -3 \text{ dB.} \quad (5)$$

PG értékét megint 30 dB-re választva, a hibaarány a teljesítmény ésszerű növelésével nem csökkenthető $5 \cdot 10^{-4}$ alá. Lassú *FH* rendszerekben a hibaarány egyedül hibajavító kódolás alkalmazásával csökkenthető tovább, mely az adott esetben igen bonyolult, csomósodott hibákról lévén szó. Másfelől, ha $P_E =$

11. ábra. Többszörös hozzáférésű rendszerek az időben és a frekvenciában

$=1/2N$ elfogadható, az interferáló teljesítmény növelése az összeköttetés minőségét nem rontja tovább. Megjegyzendő, hogy optimalizált zavarás (melyben a zavaró a rendelkezésre álló teljesítményt egy optimális frekvenciasávra osztja szét) a hibaarányt valamelyest ronthatja, de nagyságrendileg nem tér el az (5)-belitől.

Gyors *FH* és *FM* alkalmazásakor a helyzet kedvezőbb; ugyanis egy információs szimbólumnak ilyenkor csak egy-egy része hibásodik meg, ami a helyes döntés nagyobb valószínűségét engedi meg.

Az eddigiekben feltételeztük, hogy a zavar-forrás jele $x(t)$ -től független. Az úgynevezett ismétlődő zavaró adó követi az ugráló frekvenciát. Ez a zavar hatásszosságát tovább növelheti. A kérdéssel részletesebben nem foglalkozunk, azt említjük csak meg, hogy a gyorsan ugráló frekvenciájú rendszerek az ilyen interferenciával szemben is ellenállóbbak a lassúaknál.

5. Felderítés — megfejtés

Mindkét vizsgált spektrumkiterjesztő módszerre igazolva láthatjuk azt, hogy az nehezen deríthető fel — összhangban a bevezetés állításával. *DS* rendszer-nél a kisugárzott jel zajszerű, így elég nagy feldolgozási nyereséget alkalmazva az összeköttetésnek jó esélye van arra, hogy a felderítő vevő zaja alatt marad. Konkrétan, ha a hasznos összeköttetés R_s jel/zaj viszonyt biztosít (a spektrum újrakoncentrációja után), a $c(t)$ jelet nem ismerő felderítő vevő legfeljebb R_s/PG jel/zaj viszonyt fog észlelni, ha csak nincs közelebb az adóhoz (vagy nem jobb a zajtényezője), mint a hasznos vevő.

Másfelől, ha a *DS* adást mégis sikerül felderíteni, a megfejtést lényegesen megkönnyítené az, ha $s(t)$ és $c(t)$ nem volnának homokronok egymással. Ilyenkor ugyanis az $s(t)$ adat-bitek és a $c(t)$ kód-chipek átmeneteit meg lehetne különböztetni, amivel $s(t)$ sebessége már ismertté vált.

FH rendszer-nél más a helyzet, mint *DS*-nél. Itt a felderítő vevő könnyen rájöhet arra, hogy *FH* jelet lát (mivel egy-egy T_c időtartamra az adó egész teljesítménye a szóban forgó frekvencia közelében van). *FH* adás felderítésének elkerülésére alapvető jelentősége ezért annak van, hogy a spektrumkiterjesztő kódot nehéz legyen felismerni. (Ha ugyanis a felderítő vevő felismerte a $c(t)$ kódot, ezt zavaró adóval utánozhatja is.) Ha tehát elsődleges szempont a kód megfejtésének elkerülése, a 4. és 7. ábrán bemutatott kódoknál kell lényegesen bonyolultabbakat alkalmazni. Az ilyen kódok általában nemlineárisak (szemben a 4. ábrán mutatott jelsorozattal, melyek előállításához csak összeadásra, tehát lineáris műveletre van szükség) és hosszuk igen nagy, periódusidejük több órára is terjedhet.

6. Alkalmazások

A kiterjesztett spektrumú rendszereket elsősorban a katonai hírközlés igényeit követve dolgozták ki. Ezek az igények: a felderítés nehézsége és ellenállás a (szándékos) zavarokkal szemben. A spektrumkiter-

jesztés mindkét igényt kiválóan elégíti ki: a kicsi és zajszerű teljesítménysűrűség a felderítést nehezíti. És a spektrum újra-koncentrációja során a zavaró jel spektruma általában kiterjed, amivel a jel/zavar viszony jelentősen megnő. Másfelől a spektrum-kiterjesztésre felhasznált és a fenti igényeket kielégítő kódoknak — mintegy melléktermékként — olyan tulajdonságuk is van, amely lehetővé teszi alkalmazásukat többszörös hozzáférésű rendszerekben. Ilyen rendszereket a polgári hírközlésben is alkalmaznak, mely alkalmazások némelyikét az alábbiakban felsoroljuk. Mint kiderül, a spektrum-kiterjesztés néhány többszörös hozzáférésű rendszerben igen előnyös lehet.

6.1. Többszörös hozzáférésű átviteli rendszerek

Ha egy átviteli csatornát több felhasználó makroszkopikusan egyidejűleg akar felhasználni, többszörös hozzáférésű csatornát kell alkalmazni (angol kifejezéssel: multiple access channel). „Makroszkopikusan egyidejűleg” mondtuk, ez alatt az emberi érzékelés határain belüli egyidejűséget értve, mert, mint látni fogjuk, egyes esetekben mikroszkopikusan a felhasználókat éppen időben helyezik egymás után. E szempontból szóba jövő makroszkopikus idők nagyságrendje semmiképpen sem kisebb 10–50 ms-nál.

A „különböző felhasználókat” úgy értjük, hogy

- ezek közül mindig *egy* forrás *egy* nyelővel kíván kommunikálni,
- e kommunikációk földrajzilag különböző pontok között jönnek létre, vagyis legalább a források vagy legalább a nyelők máshol helyezkednek el.

(A fenti definícióval a vizsgált rendszerek közül kizártuk a műsorszóró rendszereket — mivel azok az *a*) alatti kritériumot nem teljesítik —, továbbá a multiplex rendszereket is, mert azok a *b*) kritériummal ellentétesek.)

Az ilyen rendszerek legtipikusabb példája a távközlési műhold — tudomásunk szerint az elnevezés is ezzel kapcsolatban született —, de ide tartoznak a földi mozgó hálózatok, egyes számítógép-hálózatok, egyes rurál-hálózatok stb. Fogalmilag ide tartozik az az eset is, mikor egy területen sok különböző kiterjesztett spektrumú — például *FH* — rádió működik egyszerre. A többszörös hozzáférés, alapelveit tekintve lehet véletlenszerű vagy rendezett. Az előbbi rendszerben, melyet első példájáról *ALOHA*-szerű rendszernek is neveznek, mindegyik felhasználó belép a csatornába, amint közlendője van, még hozzá úgy, hogy ezzel az egész csatornát lefoglalja; ha a csatorna már foglalt volt, általában mindkét üzenet elvész.

A rendezett többszörös hozzáférésű csatornában a felhasználók a csatorna „egy részét” kapják meg, mégpedig vagy az időben állandóan (angol nevével pre-assigned), vagy csak igénybejelentés után, ha van éppen „szabad rész” (demand-assigned). A csatorna részekre osztásánál e rendezett eljárásban alapvető, hogy az egyes részek szabad vagy foglalt volta nem befolyásolja a többi részen folyó átvitelt. Pontosabban, ha $s_i(t)$ az egyes részcsatornák jele, legyen

$$\int_0^T s_i(t)s_j(t)dt = e_{ij},$$

$$e_{ij} \approx 0; i \neq j.$$

T — digitális átvitel esetén — az információnak legfeljebb egy vagy néhány bitnyi ideje, de mindenképpen olyan kicsi, hogy az érzékelés határán kívül esik.

Ha $e=0$, ortogonális, ha csak $e \approx 0$, kvázi-ortogonális rendszerről beszélünk.

A fenti feltétel támpontot ad az s -ek megválasztására:

1. Ha az egyes s -ek csak keskeny időrésekben különböznek 0-tól és az egyes részcsatornák időrései nem esnek egybe, az integrandus $=0$. E rendszert időosztásos többszörös hozzáférésű rendszernek nevezik (*TDMA*).

2. Ha az s -ek mind különböző vivőjű modulált jelek, és a vevőben mindegyiket megfelelő sávszűrőn visszük át frekvenciaosztásos többszörös hozzáférésű rendszerhez jutunk (*FDMA*), mely szintén ortogonális.

3. Eljárhatunk azonban úgy is, hogy minden információs bitet vagy bit-csoportot megszorozunk egy jelsorozattal, melyet kódnak nevezünk. Ha biztosítani tudjuk azt, hogy e kicsi legyen — vagyis, ha találunk olyan kódokat, melyek keresztkorrelációja kicsi — megfelelő csatornafelosztáshoz jutunk. E rendszert, mely, az előző kettőtől eltérően, kvázi-ortogonális, kódosztású rendszernek nevezik (*CDMA*). Nyilvánvaló, hogy az így kódolt jel az információnál sokkal szélesebb sávot foglal el — vagyis megfontolásainkkal a kiterjesztett spektrumú rendszerek egy alkalmazási köréhez jutottunk.

A 11. ábrán a három rendszer elvét tüntettük fel.

6.2. A kódosztású többszörös hozzáférés néhány általános tulajdonsága

a) Interferencia

A rendszer egyes elemei között interferencia fellép (mivel csak kvázi-ortogonálisak); az interferáló teljesítmény nagysága (pontos definíció nélkül)

$$\sum_1^n a_j e_{ij}; i \neq j,$$

ha egyidejűleg n felhasználó aktív. (Itt a_j egy súlyozó tényező.) A kódcsalád megfelelő tervezésével, n maximális számának ismeretében e — zajszerű — interferencia kellően kis értéken tartható.

Nem lehetetlen azonban egy frekvenciasáv kétszeres felhasználása sem: keskenysávú és kiterjesztett spektrumú összeköttetések egyidejű alkalmazása. Erre az ad lehetőséget, hogy

- a) a keskenysávú jel okozta interferencia sávja az újra-koncentráls során kiterjed és
- b) a szélessávú jel teljesítménysűrűsége kicsi, csekély zavart okozva a keskenysávú vevőben.

Az utóbbi, b) szempontból két eset különböztethető meg: ha a teljesítménysűrűség olyan kicsi, hogy a

keskenysávú vevő zaja alatt marad, egy adott frekvenciasáv ilyen kétcélú felhasználásának semmi akadálya nincsen; ha ennél nagyobb, a teljesítményeket gondosan koordinálni kell. Az előző, a) szempontból viszont az lehet jelentős, hogy olyan frekvenciasávot is fel lehet használni híradástechnikai célra, melyet jelenleg más célra — orvosi, ipari stb. — használnak.

b) Túlterhelés

A hagyományos rendszerek terhelés szempontjából „kemény limiternek” foghatók fel: ha az összes részcsatorna foglalt, az újabb jelentkező semmiképpen nem továbbbíthatja közleményét. A kódosztásos rendszereknél, ezzel szemben, a túlterhelés csak minőségromlással jár (I értékének a specifikált fölé növekedésével). Így a rendszer „jóindulatúan” romlik el.

c) Kapcsolási funkció

Az eddigiekben a többszörös hozzáférésű rendszert átviteli rendszernek fogjuk fel. A felhasználók egymás közötti kapcsolatának létrehozására általában külön kapcsolóközpontokra is szükség van. Kódosztású rendszerekben, ezzel szemben lehetőség van a két funkció (átvitel és kapcsolat) összevonására. Ehhez az szükséges, hogy az egyes adókban bármelyik vevő kódját be lehessen állítani.

d) Teljesítményigény

A spektrum kiterjesztése, majd újra koncentrálsa nem változtatja meg az átvitt jel sáv szélességét. Ez azt is jelenti, hogy valamilyen minőségi paraméter (jel/zaj viszony, hibaarány) eléréséhez elméletileg pontosan olyan nagy teljesítményre van szükség a többszörös hozzáférésű rendszerben, mint amilyenre keskenysávú pont-pont közötti átvitelnél lenne. Ez megegyezik az *FDMA* esettel, de eltér a *TDMA* esettől, ahol n felhasználó esetén durván n -szeres teljesítményt kell alkalmazni. Másfelől *FDMA* rendszerek végerősítőiben jelentős back-off-ot kell alkalmazni, ami lényegében ugyancsak a teljesítmény növekedését jelenti.

A következőkben néhány alkalmazási lehetőséget sorolunk fel.

a) Földi mozgó hálózatok

A legtöbb tanulmány e témakörben jelent meg. A javasolt rendszer fő jellemzői: gyors frekvenciaugratásos rendszer. Ezt cellarendszerben alkalmazzák, ahol az egyes cellák mind kihasználnák az egész frekvenciasávot. A teljesítményt — a központi adótól való távolság függvényében — szabályozni kell.

Az ilyen rendszer fő előnyei — a keskenysávú *FDMA* cellarendszerekkel szemben, és a már felsoroltakon kívül:

- a cella szélére érve nem kell új csatornára átkapcsolni, amivel megszűnik az a veszély, hogy a cella szélén a beszélgetés megszakad;

- a sok frekvencia természetes diverziti nyereséget szolgáltat; ennek folytán a fading-tartalék 15–18 dB-lel csökkenthető, vagyis lényegében a szükséges teljesítmény csökkenthető;
- egyes vizsgálatok szerint a CDMA rendszer frekvenciasáv-elfoglalása gazdaságosabb az FDMA-nál. E téren azonban a publikációk álláspontja nem egységes.

b) Rurál-hálózatok

A rurál hírközlés közismerten két funkciót foglal magába: az átvitel (transfer) és a szétosztás (distribution) funkcióját. Az előző hagyományos, két pont közötti átviteli feladat. A szétosztás funkcióját gyakran vezetékes rendszerrel — legtöbbször légvezetékken oldják meg. Nagyobb kiterjedésű rurál területeken azonban a rádiós szétosztás kedvezőbb. Egy rurál szétosztó rádiós hálózat tipikusan többszörös hozzáférésű rendszer, így ennek megfelelő módszereket kell alkalmazni.

A szétosztó hálózatok legtöbbször földi, de néha műholdas rendszerek. Mindkettőnél javasoltak kódosztású alkalmazást. A kódosztás fő előnyei e rendszerekben:

- szemben az FDMA esettel, a központi állomáson csak egy adóra van szükség (ott n db);
- szemben a TDMA-val, n -szer kisebb teljesítményre van szükség;
- nincs szükség hálózat szinkronizálásra, ami különösen műholdas rendszerben volna nehézkes.

6.3. Fenntartások — a CDMA hátrányai

A felsorolt, kétségtelenül meglevő előnyök ellenére tudomásunk szerint sehol a világon nincs polgári CDMA rendszer üzemben. A kérdés a Nemzetközi Távközlési Unió (UIT) legutóbbi Adminisztratív Rádió Konferenciáján (WARC) fel sem merült és az amerikai FCC sem szabályozza (és nem is engedélyezi) alkalmazását. E helyzetnek két okát látjuk.

Elsősorban a kódszinkronizálás olyan bonyolult áramköröket igényel, hogy eddig CDMA alkalmazása egy polgári területen sem volt kifizetődő. És az interferencia kérdéseit még nem tisztázták annyira, hogy bárki merne volna tömeges alkalmazását engedélyezni.

A dolog kulcskérdésének éppen a tömeges alkalmazás látszik: a korszerű technológia birtokában bizonyára megfizethető áramköröket lehetne készíteni, ha a darabszám elég nagy volna. Éppen ezért a második probléma látszik lényegesebbnek: ha a távközlést szabályozó (nemzeti és nemzetközi) szervezetek elég információval fognak rendelkezni ahhoz, hogy a rendszer alkalmazási körét behatárolják, e körben bizonyára áttörés fog bekövetkezni.

7. Megvalósítási problémák

Hely hiányában a megvalósítási problémákat nem részleteztük. Néhány megjegyzéssel az alábbiakban térünk ki ezekre.

A legsúlyosabb áramköri feladat kétségkívül a kódgenerátor vevőoldali szinkronizálása. Itt a nehézség fő oka az, hogy amikor $\hat{c}(t)$ még nem azonos $c(t)$ -vel, csak a (zajnál, interferenciánál kisebb) kiterjesztett spektrumú jel áll rendelkezésünkre. Így még nem érvényes mindaz, amit a zaj és az interferencia elnyomásáról mondtunk.

A konkrét megvalósítást tekintve — hasonlóan más digitális szinkronizálási feladatokhoz — soros és párhuzamos eljárást követhetünk. Az előbbinél a helyes időbeli elhelyezkedést bitről bitre keressük meg (pontosabban terminológiánknak megfelelően chipről chipre); az utóbbinál egyidejűleg vizsgáljuk az összes lehetőséget. Az előbbi megoldás igen hosszú időt vehet igénybe (elsősorban lassú FH rendszer-nél), az utóbbi igen nagy áramköri ráfordítást igényel.

Következőként az FH rendszerek szintetizátorait kell említeni. Különösen a gyorsan ugráló, nagyságrendileg 100 khop/sec sebességű szintetizátorok technikája látszik nehéznek, figyelembe véve, hogy az átkapcsolási tranzienseknek hozzávetőleg $T_c/10$ idő alatt (egy vagy néhány μsec) be kell fejeződni. Ugyan gyors szintetizátorokról jelentek meg publikációk, a gyors FH rendszerek elterjedését leginkább e nehézségek akadályozzák.

Inkább elméleti, mint áramköri probléma a megfelelő kódok megtalálása. Különösen a hosszú nemlineáris kódok elmélete, konstrukciója a (hozzáférhető) irodalomból szinte teljesen hiányzik.

8. Záró megjegyzések

E cikkben egészen röviden és leegyszerűsítve ismertettük a spektrum kiterjesztésének elvét és legfontosabb tulajdonságait. A kiterjesztett spektrumú hírközlés mint zavaroknak ellenálló, többszörös hozzáférést lehetővé tevő rendszer igen széles körű alkalmazás lehetőségét rejti a földi és műholdas, polgári és katonai célú jelátvitel területén. Az utóbbi — katonai — hírközlésben már konkrét berendezések gyártásáról kaptunk hírt. A polgári alkalmazás még áttörésre vár, amely, a technológia fejlődésével, bizonyára be fog következni.

I R O D A L O M

- [1] Dixon: Spread spectrum systems, Wiley, 1976.
- [2] Holmes: Coherent spread spectrum systems. Wiley, 1982.
- [3] Dixon: Spread spectrum techniques. IEEE Press, 1978.
- [4] Special issue on spread spectrum systems. IEEE Trans. Vol. Com-25, No 8, Aug. 1976.
- [5] Special issue on spread spectrum systems. IEEE Trans. Vol. Com-30, No 5, May. 1982.
- [6] Conference Record, Milcom-82, Oct. 1982.
- [7] Frigyes, Szabó, Ványai: Digitális mikrohullámú átviteltechnika. Műszaki Könyvkiadó, 1980.
- [8] Frigyes, Róna, Benedek, Vajda, Szabó, Tóth, Gervai, Vály, Kolumbán, Kerecsen, Ványai: Válogatott fejezetek a kiterjesztett spektrumú hírközlés köréből. TKI Intézeti Tanulmány, 1983.
- [9] Vajda: Kódosztású rendszerek kódválasztása. Kandidátusi Értekezés, 1983.

Diszkrét félvezető eszközök szűrővizsgálatai

CSORNAI LÁSZLÓ—BARNA GYULÁNÉ—VÁRADI ISTVÁN
Mikroelektronikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

Műanyag tokos szilícium planár tranzistorok egymástól jelentősen eltérő típusainál vizsgálták a kezdeti jellemzők alapján végzett szelekció módszerével és burn-in módszerrel végzett szűrővizsgálat eredményességét. A kezdeti jellemzők alapján végzett szűrés eredménytelen volt. A burn-in módszerrel a megbízhatóság kb. kétszeresre nőtt.

1. Bevezetés

A diszkrét félvezető eszközöknek nagy megbízhatóságú berendezésekben történő alkalmazása szükségessé teszi, hogy előre megadott minőségi követelményeknek megfelelő, minősített eszközöket építsenek be a tervezők berendezéseikbe. A megbízhatósági és minőségbiztosítási tevékenység így az eszközöket gyártó vállalatok egyik fontos feladatának tekintendő. A minősítő vizsgálatoknak egyik jelentős területét képezik a legfontosabb meghibásodási mechanizmusokat feltáró, a rejtett hibás eszközöket kimutató szűrővizsgálatok. A jelen közlemény a nemzetközi minősítési fokozat általános követelményeiből kiindulva ismerteti a leglényegesebb vizsgálati és értékelési eljárásokat, majd rátér a diszkrét félvezető eszközök esetében alkalmazott szűrővizsgálatokra. A leggyakrabban alkalmazott szűrővizsgálati eljárások eredményességéről ad értékelő elemzést több szilícium planár tranzisztor típuson elvégzett vizsgálatok adatai alapján.

2. Minősítési rendszerek

Az USA-ban alkalmazott — diszkrét félvezető eszközökre vonatkozó — minősítési rendszer négyféle minőségi szintet definiál, amelyeket a továbbiakban

1. táblázat

Diszkrét félvezető eszközök minősítése (USA)

Minősítési szakasz	Minőségi kategória			
	I.	II.	III.	IV.
1. Kezdeti minősítés	×	×	×	×
2. Szűrés	×	×	×	—
3. Minőség-megfelelőség ellenőrzése				
„A” csoport (tételenként)	×	×	×	×
„B” csoport (tételenként)	×	×	×	×
„C” csoport (6 havonként)	×	×	×	×

Beérkezett: 1984. XII. 5. (A)

CSORNAI LÁSZLÓ

Rádiómérnök oklevelét az Állami Műszaki Főiskolán 1951-ben szerezte. 1948 és 1983 között a Tungstam Rt. alkalmazottja volt, szakmai területe is ott alakult ki: különféle elektroncsövek és félvezetőeszközök mérés- és huzamosabb idő óta minőség-

ellenőrzési területen dolgozik, 1983 óta a Mikroelektronikai Vállalatnál. Oktatási területen is tevékenykedik. Több elektroncső és félvezető témájú szakkikket, jegyzetet írt. Tagja a Rádiótechnika szerkesztő bizottságának és a Híradástechnikai Tudományos Egyesületnek.

az I—IV római számokkal fogunk jelölni. A minősítési eljárás egyes lépéseit az 1. táblázatban foglaljuk össze. Amint az a táblázatból látható, a legalacsonyabb (IV.) minőségi kategória kivételével, mindig része a minősítési eljárásnak a szűrővizsgálat. A minőség-megfelelőség ellenőrzésére szolgáló vizs-

2. táblázat

Az „A” csoport vizsgálatai (USA)

Alcsoport	Vizsgálat	LTPD értéke az egyes minőségi kategóriában	
		I.	II—III—IV.
1. alcsoport	Szemrevételezés és mechanikai vizsgálat	c = 0 n = 15	5
2. alcsoport	Sztatikus paraméterek mérése 25 °C-on	3	5
3. alcsoport	Sztatikus paraméterek mérése a legmagasabb és a legalacsonyabb hőmérsékleten	(A 2—4. alcsoportokra együttesen vonatkozik)	5
4. alcsoport	Dinamikus paraméterek mérése 25 °C-on		5
5. alcsoport	Kiválasztott sztatikus paraméterek mérése	10	10
6. alcsoport	Lököáram-mérés (diódák és egyenirányítók esetében)	(Az 5—7. alcsoportokra együttesen vonatkozik)	10
7. alcsoport	Kiválasztott dinamikus paraméterek mérése		10

gálatokat (csoportonként) a 2–4. táblázatokban soroljuk fel. Megadjuk a követelményként előírt visszautasítási hibaszintet (LTPD érték) vagy a mintanagyságot (n) és az átvételi hibaszámot (c). Az A és B csoport vizsgálatait tételenként, a C csoport vizsgálatait félvétenként végzik el. Az 5. táblázatban az egyes minőségi kategóriákhoz tartozó szűrővizsgálatokat soroljuk fel.

Valamennyi szűrővizsgálatot el kell végezni az I. minőségi kategóriába sorolt alkatrészekre, amint az a táblázatból kitűnik. A II. és a III. minőségi kategória esetén egyes kevésbé fontos vizsgálatok elmaradnak, de a hőhatáson alapuló vizsgálatok (hőkezelés magas hőmérsékleten, hősokk [hőciklus] stb.) egyik szűrővizsgálati sorozatból sem hiányoznak.

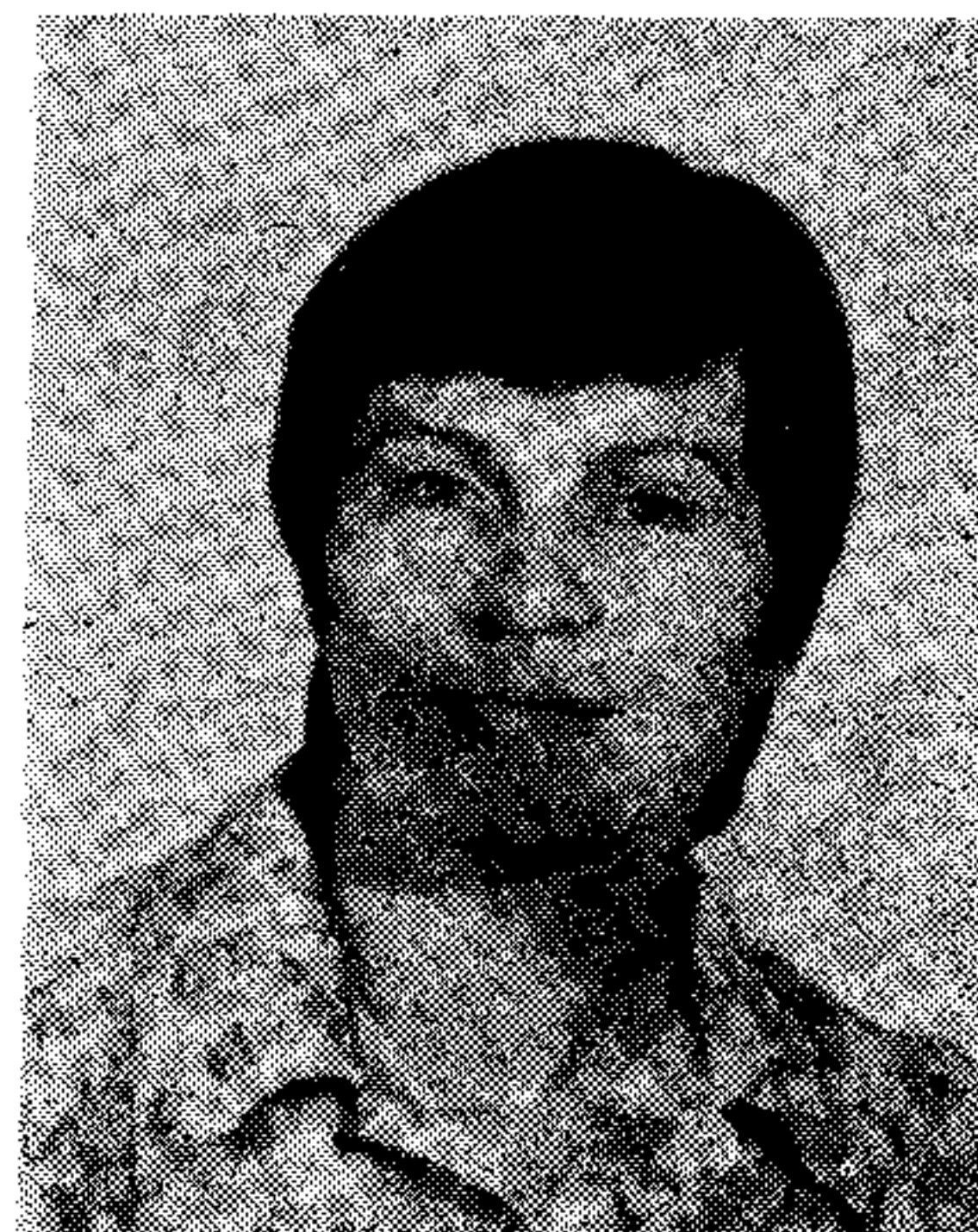
A nyugat-európai országokban az USA szabványtól kissé eltérő minősítési rendszert alkalmaznak. Az e szabvány szerint minősített eszközök esetében a minősítés-jóváhagyás és a minősítés-ellenőrzés követelményeit a 6–8. táblázatok foglalják össze az előbbi szabványhoz hasonlóan A, B és C vizsgálatok szerinti csoportosításban. A táblázatokban E, F és L szimbólumokkal jelöljük a minőségi szinteket, és megadjuk a hozzájuk tartozó mintavételi ellenőrzési szinteket (IL), az átvételi hibaszintet (AQL) vagy mintanagyságot (n) és az átvételi hibaszámot. Az időszakos C vizsgálatoknál feltüntettük az időszakaszt (p) is. Ebben a minősítési rendszerben is igen fontos szerepük van a szűrővizsgálatoknak, amelyeket a 9. táblázatban sorolunk fel.

3/a táblázat

A „B” csoport vizsgálatai I. minőségi kategóriájú diszkrét félvezető eszközökre (USA)

Alcsoportok	Vizsgálat	LTPD értékre nagy tételekre	n/c kis tételekre
1. alcsoport	Méretek	10	8/0
2. alcsoport	Forrasztathóság és forrasztási hőállóság-vizsgálat	15	6/0
3. alcsoport	Hősokk (hőciklus) vizsgálat Lezártóság-vizsgálat Villamos paraméterek mérése Belső szemrevételezés SEM-vizsgálat Bondolási szilárdság-vizsgálat	10	6/0
4. alcsoport	Élettartam-vizsgálat	10	—
5. alcsoport	Gyorsított élettartam-vizsgálat (275 °C réteghőmérséklet, 96 óra) Villamos paraméterek mérése Bondolási szilárdság-vizsgálat	10 n = 20 c = 0	12/2 5/0
6. alcsoport	Hőellenállás-vizsgálat	10	8/0

Megjegyzés: LTPD = visszautasítási hibaszint (%); n = mintanagyság; c = átvételi hibaszám.



BARNA GYULÁNÉ

Villamos üzemmérnöki oklevelét 1972-ben szerezte a Kandó Kálmán Vill. Műsz. Főiskolán. 1972 és 1983 között a Tungsram Rt. MEF osztályán dolgozott. Eleinte elektroncsővel, majd a

későbbiekben félvezető eszközökkel foglalkozott. A félvezető eszközök tartós szárazmeleg és elektromos terhelés vizsgálatát végzi. 1983 óta a Mikroelektronikai Vállalat hasonló osztályán dolgozik. A Híradástechnikai Tudományos Egyesület tagja.

3. Szűrővizsgálatok

Mint azt az előző részben láttuk, a minősítési rendszerek fontos részét képezik a szűrővizsgálatok. A szűrővizsgálatok segítségével válogatjuk ki a gyártott alkatrész tételéből azokat a példányokat, amelyek az üzemeltetés során várhatóan rövid idő alatt meghibásodnának. Ezáltal a megszárt alkatrészek megbízhatósága jelentősen megnő.

3/b táblázat

A „B” csoport vizsgálatai II., III., IV. minőségi kategóriájú diszkrét félvezető eszközökre (USA)

Alcsoport	Vizsgálat	LTPD értéke
1. alcsoport	Forrasztathóság és forrasztási hőállóság-vizsgálat	15
2. alcsoport	Hősokk (hőciklus) vizsgálat Lezártóságvizsgálat Villamos paraméterek mérése	10
3. alcsoport	Élettartam-vizsgálat Villamos paraméterek mérése	5
4. alcsoport	Belső szemrevételezés Bondolási szilárdság-vizsgálat	1 eszköz/0 meghibásodás tételenként n = 20, c = 0
5. alcsoport	Hőellenállás-vizsgálat	15
6. alcsoport	Magas hőmérsékletű élettartam-vizsgálat villamos terhelés nélkül	7

Megjegyzés: LTPD = visszautasítási hibaszint (%); n = mintanagyság; c = átvételi hibaszám.

**A „C” csoport vizsgálatai
az összes minőségi kategóriára
diszkrét félvezetők esetében
(USA)**

Alcsoport	Vizsgálat	LTPD érték
1. alcsoport	Méret	15
2. alcsoport	Hőszokk vizsgálat Kivezetés szilárdságvizsgálat Lezártág-vizsgálat Nedvesmeleg állóságvizsgálat Külső szemrevételezés Villamos paraméterek mérése	10
3. alcsoport	Mechanikai ütésállóság-vizsgálat Rázásvizsgálat (változtatható frekvencián) Villamos paraméterek mérése Állandó gyorsulásvizsgálat	10
4. alcsoport	Sóködvizsgálat	15
5. alcsoport	Kislégnyomás-vizsgálat	15
6. alcsoport	Élettartam-vizsgálat (1000 óra)	$\lambda = 10$

Megjegyzés: LTPD = visszautasítási hibaszint (%); $\lambda = \lambda$ -faktor (%/1000 óra).

Hatékony szűrővizsgálati módszerek kidolgozásához ismerni kell az alkatrészek meghibásodásának módjait és azok kiváltó okait, vagyis a hibamechanizmusokat is ismerni kell továbbá azok aktiváló tényezőit. Minden szűrővizsgálat a következő feltételezéseken alapul:

- A szürendő alkatrésztétel-keverék, amely nagyrészt az elfogadható hibásodással működő részből és kisméretű az elfogadhatatlan mértékben meghibásodó részből áll.
- A használat során bekövetkező meghibásodás a példány kezdeti tulajdonságával előre meghatározott.
- E kezdeti tulajdonságok nem roncsoló vizsgálati módszerekkel megismerhetők.
- Ha e tulajdonságok nem ismerhetők meg, akkor legalább olyan igénybevétel létezik, amely a potenciálisan hibás példányoknál a hibát rövid idő alatt előhívja.

Vizsgálatokat végeztünk a fenti feltételezések érvényességének meghatározására, ugyanis felmerülnek olyan gondolatok, hogy e feltételezések a gyakorlatban csak korlátozottan valósulhatnak meg.

- A szürendő tétel jó része és a rossz része össze-mosódhat, ha a hibatünetek azonosak.
- A determinizmus érvényességében nem kell kételkedni, mégis a meghibásodást gyakran semmi sem jelzi előre, a hiba hirtelen következik be. A hiba lehet valamely jellemző megváltozása, de lehet teljes működésképtelenség is. Tipikus példának említhető az üreges tokban megta-padt, majd szabadon mozgó fémdarabka, amely adott esetben zárlatot okoz.

- A hibát okozó rejtett tulajdonság és a vele együtt fellépő és megismerhető, indikáló tulajdonság között nem mindig van elegendően szoros korreláció. Sokszor olyan költséges vizsgálattal lehetne csak az indikáló tulajdonságot ellenőrizni, hogy a szűrés gazdaságtalan. Vannak olyan rejtett tulajdonságok, amelyek vizsgálatára nincs is mód, mivel ahhoz az alkatrészt fel kellene bontani, márpedig szűrésre csakis nem roncsoló módszer alkalmas.
- Abban az esetben, ha egyáltalán nincs olyan mérési, vizsgálati módszer, amely alkalmas a potenciális hibával összefüggő tulajdonságok ellenőrzésére, vagy e módszer gazdaságtalanul drága, akkor kerül előtérbe a hibát kiprovokáló igénybevétel (pl. burn-in) kidolgozása és alkalmazása. A szűrni kívánt hiba okának, eredetének ismeretében ki kell választani a megfelelő hibaaktivátort (pl. hőntartás, rázás

5. táblázat

**Szűrővizsgálatok diszkrét félvezető eszközökre
(USA)**

Szűrővizsgálat	Minőségi kategória		
	I.	II.	III.
1. Belső vizuális ellenőrzés	×	×	—
2. Hőkezelés magas hőmérsékleten	×	×	×
3. Hőszokk (hőciklus)	×	×	×
4. Állandó gyorsulás	×	×	×
5. Részecske ütközéséből eredő zaj detektálása	×	—	—
6. Ütésállóság-vizsgálat Rázásvizsgálat	×	—	—
7. Lezárásvizsgálat	×	×	×
8. Sorszámozás	×	—	—
9. Közbenső paraméter-mérés	×	—	—
10. Magas hőmérsékletű égetés záróirányú előfeszítéssel	×	×	×
11. Közbenső paraméter-mérés	×	×	×
12. Égetés villamos terheléssel Tranzisztorokra Diódákra, egyen- irányítókra	×	×	×
	240 óra	168 óra	168 óra
	240 óra	96 óra	96 óra
13. Végső elektromos paramétermérés	×	×	×
14. Lezárásvizsgálat	×	—	—
15. Átvilágítás röntgen-sugárral	×	—	—
16. Külső vizuális ellenőrzés	×	—	—

Diszkrét félvezető eszközök minősítő vizsgálatai. Tételenkénti vizsgálatok
Az „A” csoport vizsgálatai
(Nyugat-Európa)

Vizsgálat	Minőségi szint					
	E			F és L		
	IL	AQL	megjegyzés	IL	AQL	megjegyzés
A1 alcsoport Szemrevételezés vizsgálat	I.	0,65		I.	1,5	
A2a alcsoport Működőképesség ellenőrzése	II. II.	0,10 0,15	diódák tranzisztorok	II. II.	0,10 0,15	diódák tranzisztorok
A2b alcsoport Villamos paraméterek	II.	0,4	a legfontosabb statikus paraméterek	II. II.	0,65 1,0	ha < 4 paraméter ha ≥ 4 paraméter
A3 alcsoport Villamos paraméterek	II.	0,65	a többi statikus paraméterek	I. I.	2,5 4	ha < 4 paraméter ha ≥ 4 paraméter
A4 alcsoport Villamos paraméterek	S4	1	dinamikus para- méterek	S4 S4	4 6,5	ha < 4 paraméter ha ≥ 4 paraméter

Megjegyzés: IL- ellenőrzésszint, AQL- átvételi hibaszint (%).

7. táblázat

Diszkrét félvezető eszközök minősítő vizsgálatai
tételenkénti vizsgálatok A „B” csoport vizsgálatai
(Nyugat-Európa)

Vizsgálat	Minőségi szint					
	E	F		L		
	n/c	IL	AQL	IL	AQL	
B1 alcsoport Méretek	15/0 vagy 25/1	S2	2,5	S2	2,5	
B2 alcsoport Az eszközre megadott határadatok ellenőrzése	15/0 vagy 25/1	S4	4	—	—	
B3 alcsoport Kivezetők hajlításvizsgá- lata, ha meg- valósítható	15/0 vagy 25/1	S3	2,5	S2	4	
B4 alcsoport Forraszthatóság	22/0 vagy 38/1	S4	2,5	S4	2,5	
B5 alcsoport Ciklikus hő- mérsékletvál- tozás, utána gyorsított nedvesmeleg vagy lezártág- vizsgálat	15/0 vagy 25/1	S4	2,5	—	—	
B8 alcsoport Villamos terhelés	38/1 vagy 52/2	S4	1,5	—	—	

Megjegyzés: n = mintanagyság,; c = átviteli szám; IL =
= ellenőrzési szint; AQL = átvételi hibaszint (%).

stb.) és a hibaindikatort (pl. szaturációs fe-
szültség, zaj stb.), el kell dönteni az igénybe-
vételi időt. Sok esetben a megfelelő igénybe-
vétel túl drága, más esetben az igénybevétel a
jóknál is megindít kedvezőtlen hibamechaniz-
musokat. Az sem mindig magától értetődő,
hogy adott igénybevételre a különböző alkat-
részpéldányok azonos hibamechanizmus bein-
dulásával reagálnak.

A következőkben előbb a diszkrét félvezető esz-
közök jellemző hibamechanizmusait mutatjuk be,
majd ismertetünk két hazánkban kidolgozott szűrő-
vizsgálati módszert, továbbá beszámolunk ezen mód-
szerek alkalmazásának tapasztalatairól.

3.1. Diszkrét félvezető eszközök meghibásodásának
okai és a jellegzetes hibamechanizmusok.
Hibaeredet

A használatban előforduló tipikus hibák okát vizs-
gálva jellegzetes hibaeredetek, hibamechanizmusok
találhatók. A legismertebbeket a 10. táblázat foglalja
össze. A táblázat tartalmazza a hiba eredetét, a
jellegzetes tünetet, továbbá azokat a külső ténye-
zőket, amelyek a hiba megjelenését befolyásolják.
A 10. táblázatban felsorolt hibaeredetekről a következő
összefoglalót kell ismerni ahhoz, hogy a megfelelő
szűrővizsgálatot megtervezhessük.

Bezárt vezető részecske. Üreges tok esetén előfordul,
hogy kristálytörmelék, vezető por (pl. elszenese-
dett textilszál), bondoló huzal darabkája bújik meg a tok-
ban. E kis tömegű részecskék valahol észrevétlenül
megtapadnak. A használat során, kiszámíthatatlan-
ul átvezetést, zárlatot okozhatnak. Nagy gyorsulási
ütés, rázás képes e részecskéket megmozdítani.

Fémezés (aluminizálás) szakadása. A vákuum-
párologtatással és szelektív marással kialakított fé-

Diszkrét félvezető eszközök minősítő vizsgálatai időszakonkénti vizsgálatok
A „C” csoport vizsgálatai
(Nyugat-Európa)

Vizsgálat	Minőségi osztály						
	E (p=3 hónap)		F (p=3 hónap)			L	
	n/c	megjegyzés	n/c.	megjegyzés	P	n/c	megjegyzés
C1 alcsoport Méreték	8/0 vagy 13/1		8/1		3	8/1	
C2a alcsoport Villamos mérések	15/0 vagy 25/1		13/1		3	13/1	
C2b alcsoport Záróirányú paraméterek	32/0 vagy 55/1 15/0 vagy 25/1	áramok áramok és feszültségek	18/1		3	18/1	
C2c alcsoport Az eszkökre megadott határadatok ellenőrzése	15/0 vagy 25/1		13/1		3	8/1	
C3 alcsoport Húzás és/vagy csavarás	15/0 vagy 25/1		8/1		6	8/1	
C4 alcsoport Forrasztási hőállóság	22/0 vagy 38/1		18/1		—	—	
C5 alcsoport Ciklikus hőmérséklet-változás, utána gyorsított nedvesmeleg vagy lezártágvizsgálat	15/0 vagy 25/1		—		3	13/1	
C6 alcsoport Ütés vagy állandó gyorsulás, rázás	15/0 vagy 25/1		8/1		6	8/1	
C7 alcsoport Nedvesmeleg-állóság (ha lehetséges)	15/0 vagy 25/1		18/1		—	—	
C8 alcsoport Villamos terhelés	38/1 vagy 52/2		43/3	körny. hőm.	3	32/3	körny. hőm.
			34/2	tokhőm.	3	25/2	tokhőm.
C9 alcsoport Tárolás magas hőmérsékleten	38/1 vagy 52/2		43/3 34/2	körny. hőm. tokhőm.	— —	— —	

Megjegyzés: IL = ellenőrzési szint; AQL = áviteli hibaszint (%) P = ellenőrzés időszaka (hónap).

mezés szakadásának több oka lehet. Első helyen a korrózió áll. Meg kell említeni az elektromigrációt és az oxidlépcsőknél bekövetkező szakadást is.

A fémezés egy része érintkezik a környező mikroklímával még akkor is, ha a nagyobb részét védő réteg (pl. üveg, nitrid) takarja. A tok belső atmoszférájának kitett részen, a bezárt szennyezőktől eredően korrózió léphet fel. A korróziót fokozhatja a fémezett részek közti feszültség, a különböző fémek érintkezése, a bezárt vagy behatoló víz, továbbá valamilyen maró anyag pl. a klór.

A fémezésben folyó elektromos áram hatására a fématomok átrendeződnek, a kristályszerkezet átalakul, szakadásra vezető helyi fémhiányok léphetnek fel. Ezt az elektromigrációt gyorsítja a nagyobb áramsűrűség és a nagyobb hőmérséklet.

A szakadás tipikus helye az oxidlépcsőnél kialakult vékonyodás és a termokompressziós kötés környezete.

A korrózió gyakran a tokba kívülről behatoló ag-

resszív anyag következménye, ezért ilyenkor szekunder hibának számít.

Fémezés (aluminizálás) oldódása a szilíciumban. Nagyobb hőmérsékleten előfordul, hogy a fémezéshez használt alumíniumba szilícium diffundál be és a szilícium helyére alumínium hatol, ami ha elég mély, a pn-átmenetet rövidre zárja.

Fémszakáll (whisker). Akár a tokon kívül a kivezetések között, akár a kristály felületén hosszabb idő alatt képződhet tűszerű vagy dentrites fémkristály, amely zárlatot okozhat. A képződést klimatikus és hőmérsékleti hatások segíthetik elő. Ismert az ón, az alumínium, az arany ilyen tulajdonsága. Ezüst esetében szulfid kristályok nőhetnek a kivezetések közé.

Hermetikusságromlás. Sok szekunder hibát okoz a hermetikusság elégtelensége. A különféle tokozási formának megfelelően a fém—üveg, fém—kerámia, fém—polimer, fém—fém kötés tökéletes záróképesse-

Diszkrét félvezető eszközök szűrővizsgálata
(Nyugat-Európa)

Sorszám	Vizsgálat	Részletek és feltételek	Sorozatok			
			A	B	O	D
1.	Belső vizuális ellenőrzés	Nem alkalmazható azokra a diódákra, amelyeknek átlátszatlan vagy műanyag a tokozásuk, valamint az egyenirányító diódákra és a tirisztorokra	×			
2.	Tárolás magas hőmérsékleten (stabilizáló hőkezelés)	Általában a tárolási hőmérséklet az eszközre megengedett maximális érték, az időtartam pedig legalább 24 óra	×	×	×	
3.	Gyors hőmérséklet-változás	Az eszköz előírásai szerint	×	×	×	
4.	Állandó gyorsulás (centrifuga)	Nem alkalmazható a két kivezetővel rendelkező alkatrészekre, az egyenirányító diódákra és tirisztorokra, valamint üregmentes tokozású eszközökre. Az időtartam legalább 1 perc, a gyorsulás az eszközre megadott érték.	×	×	×	
5.	Lezártásvizsgálat — finom — durva	Csak üreges tokozású eszközökre	×	×	×	
6.	Funkcionális villamos paraméterek	A minősítő vizsgálatok végpontjaiban előírt méréseket kell itt is elvégezni				
6.1.	Mérési mintavétel	Valamennyi eszköz összes paraméterének lemérése és feljegyzése	×			
6.2.	Minősítési mintavétel	A határadatokat túllépő eszközök kiválogatása A C sorozatnak ez az utolsó vizsgálata		×	×	×
7.	Égetés a) diódák, az egyenirányító diódák kivételével b) bipoláris tranzistorok c) bipoláris tranzistorok d) FET-ek e) egyenirányító diódák f) tirisztorok	Időtartam: Időtartamtűrés: Magas hőmérséklet, nyitó vagy záróirányú előfeszültség Villamos működés, névleges környezeti hőmérsékleten Névleges tokhőmérsékleten, záró előfeszültséggel Magas hőmérsékleten, záró előfesz. Névl. körny. hőmérsékleten nyitóirányú feszültséggel, névl. tokhőmérsékleten, záróirányú feszültséggel	168 h — 8	72 h — 4		48 h — 2
8.	Funkcionális villamos paraméterek					
8.1.	Mérési mintavétel	Mint a 6.1.-ben	×			
8.2.	Minősítési mintavétel	Mint a 6.2.-ben		×	×	

Megjegyzés: n = mintanagyság; c = átviteli hibaszám; P = ellenőrzés időszaka (hónap).

gét a helyes anyag választása és a technológia biztosítja. Mégis a hőciklusok, a kivezetések és a tok mechanikai igénybevétele repedéseket okozhatnak. A környezet agresszív anyagai a kötések tapadását elronthatják, korrózió következtében a szerkezet anyagait elroncsolhatják. Ilyen esetben a tok nem képes visszatartani a szennyezőanyagokat.

Ismeretes, hogy a műanyag tokos eszközöknél maga a polimer is bizonyos mértékben átengedi a vizsgózt.

Inhomogén tömb. A kristályban eleve meglevő inhomogenitás (kristályhibák, vezetőképesség inhomogenitás, szennyező zárványok stb.) vagy a technológia alatt kialakuló inhomogenitás (pl. EDE-hatás, bázis-

ellenállás eltérés) hatására az eszközben folyó áram, akár az aktív, akár a záró üzemmódban vagy letörési állapotban nem egyenletesen oszlik el, hanem csatornáknak koncentrálódhat. E csatornák túlmelegedhetnek és az inhomogenitás idővel fokozódik, végül zárlat alakul ki. Az inhomogenitásból eredő hibák megjelenését a hőmérséklet, az elektromos igénybevétel befolyásolja.

Kristályfelület-szennyezés. A planár technológiával előállított pn-átmenetek kiérnek a kristály felületére, de a felülettakaró szilícium-oxid, védőüveg, szilícium-nitrid védőrétegek elzárják a pn-átmenetet a környező atmoszférától. Nem tökéletesen záró védő-

Hibaeredetek és hatótényezők

rétegen át szennyezők (pl. ionos szennyezők, víz) juthatnak a pn-átmenethez és ionvándorlás következtében átvezetési áramot okozhatnak.

Szennyezés ép védőréteg esetén is okozhat bajt, ha a rá települő ionos szennyezők téreffektussal befolyásolják a kristály felületközei töltéshordozóit és kedvezőtlen esetben vezetési típus inverziót okoznak. Az inverzió miatt kiterjedő pn-átmeneten megnövekedett záróáram folyik. Nagy mértékű inverzió esetén a pn-átmenet a védőréteggel nem fedett, roncsolt kristálytartományig is kiterjedhet, ami nagy átvezetést okoz. A felületi hibák miatt megnövekedő rekombináció csökkenti az áramerősítési tényezőt, növeli a zajt. A szennyező anyag eleve rajta lehetett a kristályon, de a tok távolabbi pontjáról is oda juthatott a hőgradiens, az elektromos tér hatására, vagy a nem hermetikus tok miatt kívülről jutott be. Emiatt e hibaokokat sokszor szekunder oknak tekintik.

Kristályfelválás. Az eutektikus arany-szilícium forrasztásnál is, vezető műanyag ragasztásnál is előfordul, hogy az ismétlődő hőmérsékleti ciklusok okozta hőkiterjedés következtében a kristály felválk a tartó fémről. Ritkán fordul elő, hogy korrózió okozza a kötés elromlását. Szakadásként, maradékfeszültség romlásként jelentkezik.

Kristályrepedés. Inkább nagy méretű chipenél előforduló hiba a kristály repedése. A hőmérsékleti ciklus, az ismétlődő ki- és bekapcsolás okozhatja, ha a hőkiterjedési tényező jelentősen eltér a kristály és a hozzá kapcsolódó anyagok között. A letörési feszültség csökkenésében, záróáram növekedésben, záratként mutatkozik meg.

Termokompressziós kötés romlása. A gyengén tapadó (rosszul kivitelezett) kötések felválnak a használat során előforduló hőkiterjedési mozgások és mechanikai eredetű erők következtében. A jól kivitelezett kötések is elromolhatnak intermetallikus ötvözetek kialakulása (pestis) vagy korrózió következtében. Az Au, Al, Si rendszerben nagyobb hőmérsékleten lezajló diffúzió kis szilárdságú, nagy fajlagos ellenállású ötvözetet alakít ki, ami miatt a kötés ohmikus ellenállása megnő, a tapadás lecsökken. Mindez az eszköz elektromos jellemzőinek romlásával jár együtt, végül szakadás következik be.

A kötési területen levő eltérő fémek között galván és elektrolites korrózió is előfordul. A kötés környezetében gyakori a kémiai korrózió is. Mindenféle korróziót siettet, ha a kötéshez szennyező anyag pl. klór jut. A szennyező anyag a nem hermetikus tokozás miatt kívülről is bejuthat.

Ilyen esetben a kötés romlása szekunder hiba.

Termokompressziós huzal szakadása. Mind az arany, mind az alumínium huzal jelentősen deformálódik a bondolás helyén, ezáltal lecsökken a szilárdsága. A huzal metallográfiai szerkezete fokozatosan átalakul, durva kristályok alakulnak ki, melynek hatásán csúszások, szakadások következhetnek be. A huzalba diffúzió útján ötvöző anyagként behatolhat a fémezés anyaga vagy maga a szilícium, ami rontja a huzal szilárdságát. Mechanikai igénybevétel (ütés, rázás, állandó gyorsulás) szakadást okozhat. Műanyag tokozású eszközöknél a hőciklusok hatására szakadhat el a huzal.

Hibaeredete (ok, hibamechanizmus)	Tünet (hiba)	Befolyásoló tényezők					
		hőmérséklet	hőmérséklet-változás	áram	feszültség	gyorsulás	nedvesség
Bezárt részeske (vezető)	Bizonytalan működés, zárlat					×	
Fémezés (Al) szakadás, korrózió miatt, elektromigráció miatt, oxidlépcsőnél	Szakadás, ezt megelőzően pl. maradékfeszültség-növekedés	×	×	×	×		×
Fémezés (Al) oldódás szilíciumban	Zárlat	×					
Fémszakáll	Zárlat	×					×
Hermetikusságromlás üveg—fém, kerámia—fém, polimer—fém fém—fém záró felületek mentén	Minden olyan hiba kifejlődhet ami víztől függ	×	×				×
Inhomogén tömb: fajlagos ellenállás inhomogén rétegvastagság inhomogén	Kicsi igénybevehető tartomány (SOAR) Zárlat	×		×	×		
Kristályfelület szennyezése	Záróáram romlás, zajosodás, erősítés csökkenés	×			×		×
Kristályfelválás forrasztásnál ragasztásnál	Szakadás		×				
Kristály repedés	Bizonytalan működés Zárlat		×			×	
Termokompressziós kötés romlása gyenge szerelés miatt pestis miatt korrózió miatt kémiai ok galván ok elektrolitikus ok	Szakadás, ezt megelőzően pl. maradékfeszültség-növekedés	×	×		×		×
Termokompressziós huzal szakadása	Szakadás		×			×	
Termokompressziós huzal zárata	Zárlat	×	×			×	

Termokompressziós huzal zárata. Elsősorban szerelési hiba miatt a huzal túlságosan megközelítheti a szomszédos kötőhuzalt, valamely fém tartót vagy a kristályt. Hőciklusok, mechanikai igénybevételek hatására a távolság tovább csökkenhet és zárlat alakul ki.

A 10. táblázat 12-féle fő hiba eredetét sorolja fel. Ezeket az egyes tényezők a következő rangsor szerint befolyásolják:

- 8-féle hiba eredetét befolyásolja a hőmérséklet;
- 7-félét a hőmérséklet-változás;
- 5-félét a nedvesség;
- 5-félét a gyorsulás;
- 4-félét az elektromos feszültség;
- 2-félét az elektromos áram;
- 2-félét a kivezetések igénybevétele.

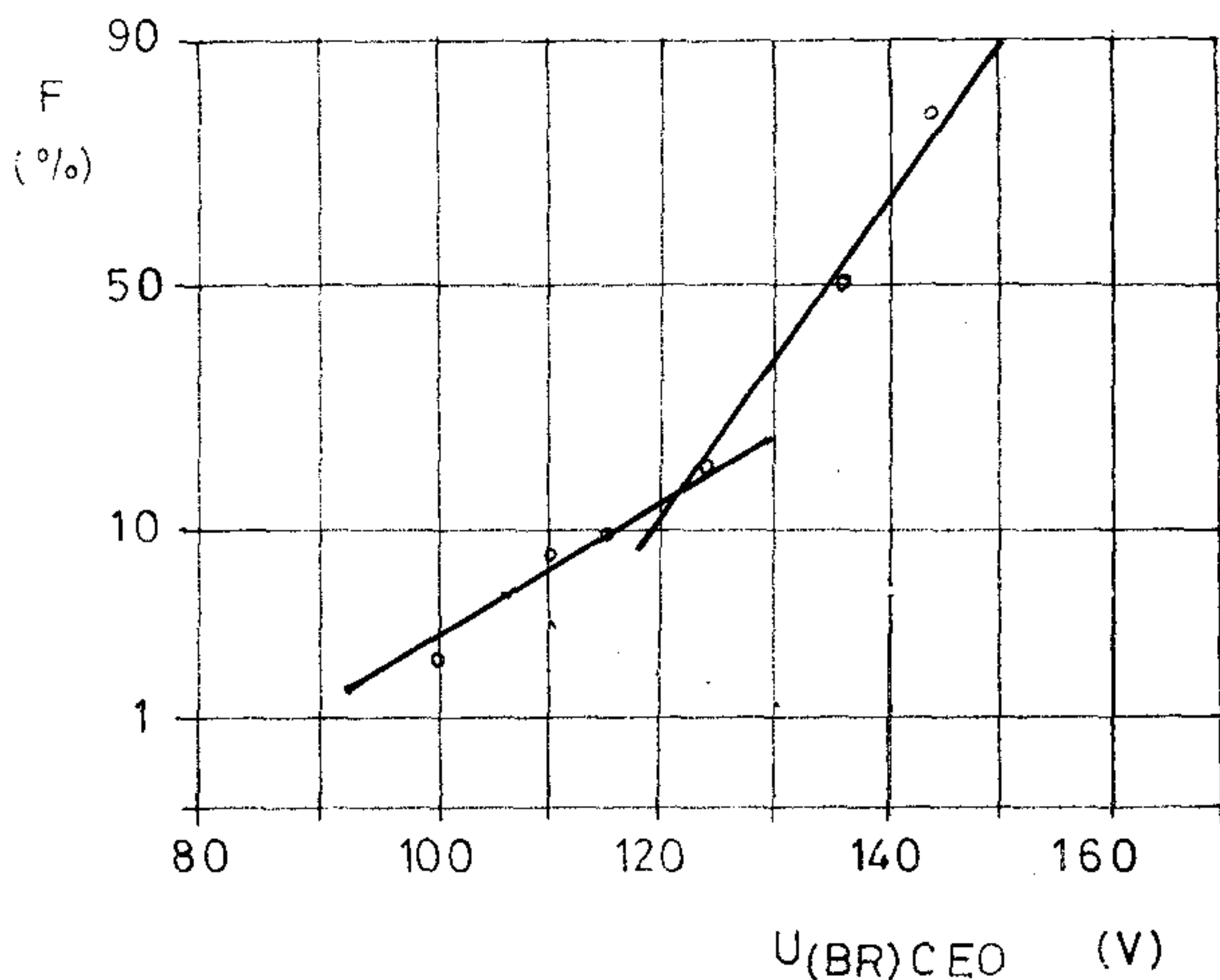
Olyan esetben, amikor a hibákról semmit sem tudunk „valószínűségi alapon” célszerű olyan szűrővizsgálattal próbálkozni, amely a legtöbbféle hiba eredetére ható igénybevételt adja. Ezért találkozni leggyakrabban hőntartásból, hőciklusból álló szűrővizsgálattal.

3.2. Szűrés méréssel és burn-in módszerrel

A szűrővizsgálatokat az alábbi műanyag tokos szilícium planár tranzisztorokon próbáltuk ki:

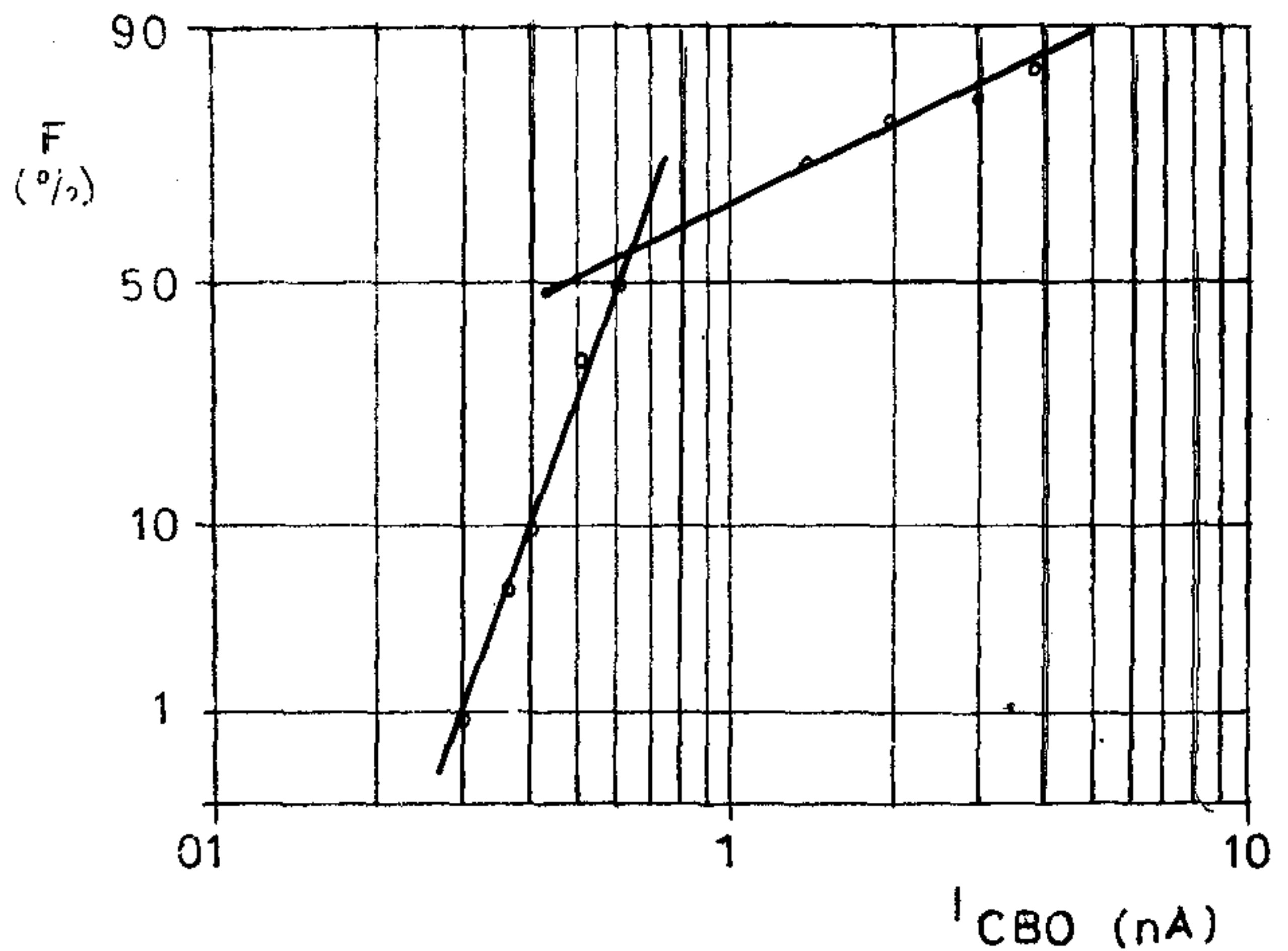
BD 241 C, BD 242 C, BD 810	nagy teljesítményű, hangfrekvenciás tranzisztorok
BFR 90	közepes teljesítményű, nagyfrekvenciás tranzisztor
BF 479 T, BF 679	kis teljesítményű, nagyfrekvenciás tranzisztorok

A szűrővizsgálatot *mérési módszerrel* annak feltételezésével terveztük, hogy a meghibásodásra vezető rejtett tulajdonság és az egyes, szokás szerint mért jellemzők értékei összefüggnek. Úgy terveztük, hogy



H27-1

1. ábra. Kollektor–emitter letörési feszültség eloszlás függvénye Gauss-papíron. A töréspont kb. 120 V-nál jelöli ki a szelektáló határt



H27-2

2. ábra. Kollektor visszáram eloszlás függvénye lognormál papíron. A szelektáló határ kb. 0,6 nA-nál választható

a normális szórásból kieső példányok kerüljenek szelekcióra. A vizsgált jellemzők: I_{CBO} , I_{CEO} , $U_{(BR)CEO}$, U_{CEsat} , h_{21E} , ugyanis ezeknél a Gauss-papíron, illetve lognormál-papíron ábrázolt eloszlásfüggvény egyes esetben jól látható töréspontot mutatott. A szűrés határát a töréspontnál választottuk meg (1. ábra és 2. ábra).

A fent leírt, normális szórásból kieső példányok alapján végzett szűrésen kívül kipróbáltuk a *burn-in* módszert is. A maximálisan megengedett réteghőmérsékletet (T_{jmax}) és $0,7 U_{CEmax}$ igénybevételt állítottuk elő megfelelő tápfeszültség és kollektoráram beállításával. Az igénybevétel ideje 168 óra. Az áramkör kéttelleges táplálású báziskapcsolás.

11. táblázat

Mérési módszer eredményei

Típus	Szűrő jellemző	λ_{60} szűrés nélkül (10^{-5} 1/h)	λ_{60} szűrve (10^{-5} 1/h)
BD 241 C	I_{CEO} $U_{(BR)CEO}$ h_{21E}	5,3	6,6 (78 586)
BD 242 C	I_{CEO} U_{CEsat} h_{21E}	9,6	7 (89 170)
BD 810	I_{CBO} $U_{(BR)CBO}$ U_{CEsat}	4	3,1 (29 500)
BFR 90	I_{CBO}	3,4	3,6 (82 668)
BF 479 T	I_{CBO}	2,1	1,75 (234 502)
BF	I_{CBO}	1,24	1,28 (244 418)

Megjegyzés: Az utolsó oszlopban zárójelben az eszközóra-volumen van feltüntetve.

Burn-in módszer eredményei

Típus	λ_{60} szűrés nélkül (10^{-6} 1/h)	λ_{60} szűrve (10^{-5} 1/h)
BD 241 C	7,1	2,7 (73 250)
BD 242 C	11,4	4,6 (72 000)
BD 810	4	1,85 (49 500)
BFR 90	12,4	6 (32 750)
BF 479 T	3,5	2,8 (148 750)
BF 679	2,1	1 (198 750)

Megjegyzés: Az utolsó oszlopban zárójelben az eszközóra-volumen van feltüntetve.

3.3. Eredmények

A szűrt és szűrés nélküli tételeket elektromos tartós terhelésnek vetettük alá. A terhelés $T_{j\max}$ és $0,7 U_{CE\max}$ igénybevétel mellett történt. A meghibásodást az alábbi jellemzőkkel indikáltuk:

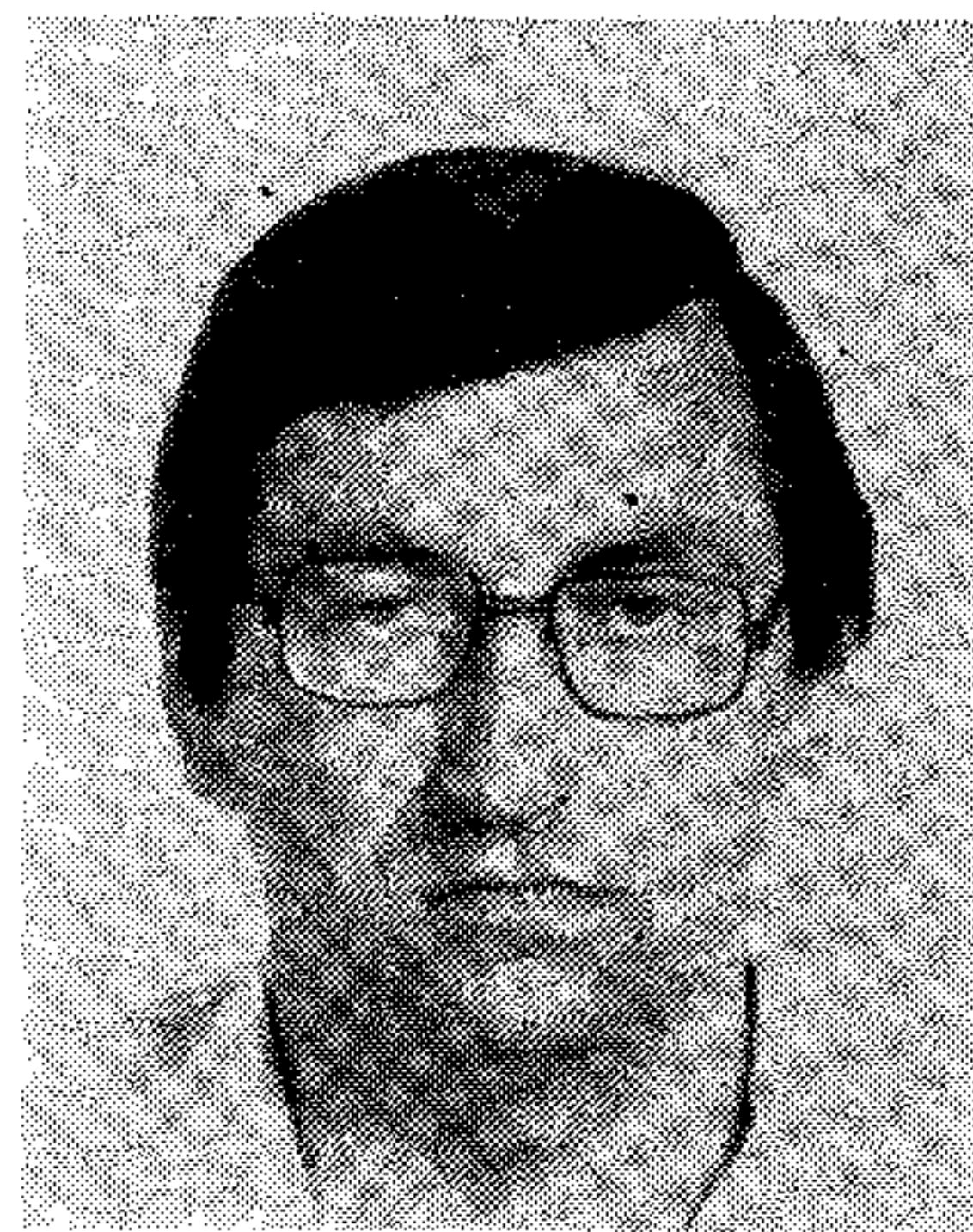
- I_{CBO} kollektor visszáram;
- I_{CEO} kollektor-emitter visszáram;
- $U_{(BR)CEO}$ kollektor-emitter letörési feszültség;
- h_{21E} nagyjelű áramerősítési tényező;
- U_{CEsat} szaturációs feszültség.

A vizsgálat végén meghatároztuk a meghibásodási ráta 60%-os konfidenciahatárát (λ_{60}). Az eredményeket a 11. és 12. táblázat foglalja össze.

A szűrés során és az ellenőrző terhelési vizsgálat során megmutatkozó hibákat a 13. táblázat foglalja össze.

4. Értékelés

A szokásosan vizsgált jellemzők kezdeti mérésével és a normális eloszlás határához illesztett szelektáló határ módszerével történő szelektálás nem vezetett gyakorlatban használható eredményre. Néhány típusnál mutatózó kis javulás nincs arányban a ráfordítással. A megbízhatóságot rontó, rejtett tulajdonság nem korrelált a választott jellemzőkkel. További vizsgálatok szükségesek olyan, általában nem vizsgált tulajdonság felderítésére, amely képes előrejelezni a meghibásodást. Valószínű, hogy ilyen tulajdonság típus és gyártmány specifikus lenne, ezért általános szűrési módszerként nem jöhetne szóba.



VÁRADI ISTVÁN

A Mikroelektronikai Vállalat megbízhatóság vizsgálati főosztályának csoportvezetője. Villamosmérnöki oklevelét 1974-ben szerezte a Budapesti Műszaki Egyetemen. A MEV jogelődjénél, a HIKI-ben kezdett dolgozni megbízha-

tósági vizsgálatok mérési eredményeinek számítógépes kiértékelése területén. Az utóbbi években témái közé tartozik az elektronikai alkatrészek és berendezések megbízhatóságának előrejelzése is. 1983-ban megbízhatóság szakmérnöki oklevelet szerzett a BME-en.

Hibafajták összehasonlítása

13. táblázat

Szűrés	Szűrés alatt észlelt, ill. kimutatott hibafajta	Ellenőrző tartós terhelés során észlelt hibafajta
Mérési módszer	nagy I_{CBO} nagy I_{CEO} kis $U_{(BR)CEO}$ nagy U_{CEsat}	nagy I_{CEO} kis h_{21E} kis $U_{(BR)CEO}$
Burn-in módszer	nagy I_{CBO} nagy I_{CEO} kis h_{21E} kis $U_{(BR)CEO}$	nagy I_{CEO} kis h_{21E} kis $U_{(BR)CEO}$

Az elektromos terheléssel végzett szűrés (burn-in) minden vizsgált tranzisztorfajtánál eredményesnek mutatkozott. A szűrt tétel megbízhatósága kb. kétszerese a szűretlennek. A választott módszernél a megengedett igénybevételt nem léptük túl, ezért nem lépett fel szokatlan hibafajta. A 13. táblázat mutatja, hogy a szűrés során talált hibák jól meg-egyeznek az ellenőrzés során megmutatkozókkal. Valószínűen lehetséges kidolgozni olyan burn-in módszert, amely a megbízhatóságot a kapottnál nagyobb mértékben növeli. Mindenesetre csakis olyan módszer lenne elfogadható amelynél még nem lép fel szokatlan hibafajta.

Mivel a fentiek egymástól jelentősen eltérő típusokra vonatkoznak, lehetséges az eredményeket szilícium planár tranzisztorokra általánosan érvényesnek tekinteni.

Erősítőtervezés S-paraméterek segítségével programozható kalkulátorral

SZALAY ISTVÁN

BHG Fejlesztési Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk kalkulátorral támogatott erősítő tervezést mutat be. A tervezési eljárás egy TI—59 típusú vagy hasonló kalkulátoron alapul, amely segítségével (mágneskártyán tárolt programokkal) tetszőleges frekvenciasávra tervezhetők optimálisan lineáris erősítők. A programok segítségével egyben kézben tartható, ill. méretezhető az erősítők stabilitása is. A tervezési eljárás tartalmaz hagyományos, kézi számításokat is, amelyeket azonban nagy mértékben támogatnak a különböző segédprogramok. A tervezés fázisában, bizonyos paraméterek módosításával, a programon keresztül figyelemmel kísérhetjük az áramkör alakulását. A megtervezett, sokszor bonyolult áramkör megépítése és megmérése előtt lehetőség van arra, hogy a megtervezett áramkör elemeinek a gépbe való táplálásával ellenőrizzük, hogy a kitzított specifikáció teljesül-e (ellenőrző program).

Bevezetés

Ma már a nagyfrekvenciás technika területén nagyobb teljesítményekre is egyre gyakrabban alkalmaznak tranzisztoros erősítőket. A nem ritkán több kW-os kimenőteljesítményű erősítőláncok általában hibridekkel összekapcsolt egyedi tranzisztoros erősítők soros és párhuzamos kapcsolásából állnak. A jó hatásfok, elfogadható méretek és nem utolsósorban a kedvező árfekvés elérése megköveteli, hogy a rendszer a lehető legoptimálisabban tervezzük. Ennek egyik összetevője a hibridrendszeren kívül a tranzisztoros erősítők maximális kihasználása, optimális méretezése, mivel egy-egy nagyobb teljesítményű erősítő igen tekintélyes számú speciális, drága nagyfrekvenciás tranzisztorból épül fel.

A nagyfrekvenciás erősítők tervezése jó néhány éve túlnyomó többségében az S-paraméterekből kiindulva történik. Az S-paraméterek előnye a többi ismert tranzisztor-paraméterrel szemben (pl. H, Y vagy Z) vitathatatlan, hiszen e paraméterek mérési körülményei felelnek meg legjobban a tranzisztor tényleges üzemi állapotának (hullámimpedanciás lezárások). Ma már a nagyfrekvenciás tranzisztorokat előállító cégek többsége ezt a paramétermegadást használja, s az ismert hálózatanalizátorok segítségével is könnyen mérhetők az S-paraméterek.

Ha egy nagyfrekvenciás tranzisztoros erősítőre a mért vagy megadott S-paraméterekből kiindulva felírjuk az eszközzel elérhető teljesítményerősítést, akkor ez három részre bontható:

$$G_T = G_1 \cdot G_0 \cdot G_2 \quad (1a)$$

Ebből $G_0 = |S_{21}|^2$, ami tulajdonképpen az illesztetlen, hullámimpedanciával mindkét oldalon lezárt tranzisztorral elérhető maximális erősítés. G_1 és G_2 esetében a bonyolult képletet mellőzve, a tranzisztor egyirányú eszköznek tekintve ($S_{12} = 0$) a következőt kapjuk:

Beérkezett: 1984. X. 30. (#).

SZALAY ISTVÁN

Egyetemi tanulmányait a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán végezte, ahol 1974-ben diplomát kapott a híradástechnika szak műsorközlő ágazatán. Még ebben az évben lépett be az Elektromechanikai Vállalathoz, ahol először tv-adók video fokozataival, valamint távkezelő és automatika egységek fejlesztésével foglalkozott. Részt vett több tv-adó telepí-

tési munkáiban, majd 1976-tól a BHG Fejlesztési Intézetben (az EMV jogutódjánál) egy új URH-adó kifejlesztésében (erősáramú elosztó, tápegységek, rendszer). 1978-tól tv átjátszótechnikával foglalkozik. Az 1–10–100 W-os új átjátszócsalád több részegységét fejlesztette ki (vevőegységek, oszcillátorok, erősítők stb.), valamint tevékenyen részt vett a rendszertechnika és a konstrukció kidolgozásában is.

$$G_1 = \frac{1 - |\Gamma|^2}{|1 - S_{11}\Gamma_s|^2} \quad (1b)$$

ill.

$$G_2 = \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2} \quad (1c)$$

Γ_s , ill. Γ_L a tranzisztor bemenő, ill. kimenő illesztő transzformátorhálózatának tranzisztoroldali reflexiója; S_{11} és S_{22} pedig a tranzisztor bemenő, ill. kimenő reflexiója.

Ebből a szemléletes felírásból látható, hogy egy tranzisztorral elérhető erősítés G_0 -on kívül függ G_1 -től és G_2 -től, ahol G_1 csak bemenőoldali, G_2 pedig csak kimenőoldali paramétereket tartalmaz. Az eszközből kivehető maximális erősítés pedig akkor érhető el, ha $\Gamma_s = S_{11}^*$, $\Gamma_L = S_{22}^*$.

Teljesítményerősítőknél a maximális erősítés azonban nem az egyetlen tervezési szempont, ennél majdnem fontosabb az eszközből kivehető maximális teljesítmény elérése. A bemenő illesztőhálózat méretezése a szükséges bemenő állóhullámarányra csak a tranzisztorból kivehető maximális erősítést célozza. A kimeneten viszont, ha nincs optimálisan illesztve az áramkör, azon túl, hogy kisebb lesz az erősítése, a kivezérelhetősége is csökken. Azaz azonos követelmények mellett (torzítás, intermoduláció stb.) kisebb kimenőteljesítményt ad le, vagy fogalmazható úgy is, hogy azonos kimenőteljesítménynél rosszabb lesz az eszköz, azaz rosszabb lesz a linearitása. Teljesítményerősítők esetében ez legalább olyan fontos kérdés, mint az erősítés. Pl. 10 dB-es reflexiós csillapítású illesztés esetén az erősítésben még észrevehető csökkenés alig következik be, a kivezérelhetőség viszont dB-es nagyságrendben is csökkenhet. Ez a csökkenés az illesztőhálózat felépítésén kívül attól is

függ, hogy mennyire használjuk a tranzisztort a teljesítőképessége határán.

Adva van tehát a feladat: illesszünk optimálisan, azaz zárjuk le a tranzisztort mindkét oldalon komplex konjugált lezárással. Igen ám, de ez több nehézségbe ütközik. Egyrészt gyakorlati korlátai vannak, pl. az illesztőhálózat bonyolultsága, másrészt elvi nehézségek is adódnak. Valójában egy tranzisztort bemenetén és kimenetén optimálisan illeszteni igen bonyolult feladat, amely hagyományos, numerikus módszerekkel alig-alig oldható meg. A nagyobb számítógépek, ill. ma már a személyi számítógépek is rendelkeznek olyan kapacitással, amely alkalmas megfelelő illesztőprogramok írására és befogadására; ezek azonban nem mindenki számára hozzáférhetők, vagy csak igen drágán érhetők el.

Egy kis gyakorlattal azonban, és ma már egyszerűnek mondható programozható kalkulátorral (pl. TI-59 vagy PTK 1096) szintén megoldható a feladat.

Tervezés maximális erősítésre

A következőkben egy olyan programsorozatot mutatunk be, amelyet a BHG Fejlesztési Intézet adóberendezés fejlesztési osztályán dolgoztunk ki, s amely segítségével tetszőleges frekvenciasávra tervezhetők szélessávú lineáris erősítők. Hangsúlyozandó, hogy a programok segítségével, tehát a programok „csak” támogatják a tényleges tervezést.

- A tervezés lépései: — stabilitásvizsgálat,
— az erősítő stabilitási tétele,
— az optimális lezáróimpedancia meghatározása,
— a bemenőoldali illesztés tervezése,
— a kimenőoldali illesztés tervezése,
— ellenőrzés.

STABILITY CIRCLE

FREQ. (MHZ)

70.

S11 (MAG. ANG.)
0.871
-175.6

S12 (MAG. ANG.)
0.0299
35.8

S21 (MAG. ANG.)
10.4
93.6

S22 (MAG. ANG.)
0.398
-150.4

• • • •

R
1.403 MAG.
166. ANG.

P
0.596

OUTSIDE

*

STABILITY CIRCLE

FREQ. (MHZ)

90.

S11 (MAG. ANG.)
0.871
-177.2

S12 (MAG. ANG.)
0.031
38.6

S21 (MAG. ANG.)
8.71
91.2

S22 (MAG. ANG.)
0.398
-152.8

• • • •

R
1.354 MAG.
169. ANG.

P
0.506

OUTSIDE

*

STABILITY CIRCLE

FREQ. (MHZ)

110.

S11 (MAG. ANG.)
0.871
-178.8

S12 (MAG. ANG.)
0.032
41.8

S21 (MAG. ANG.)
7.24
88.8

S22 (MAG. ANG.)
0.398
-155.2

• • • •

R
1.314 MAG.
172. ANG.

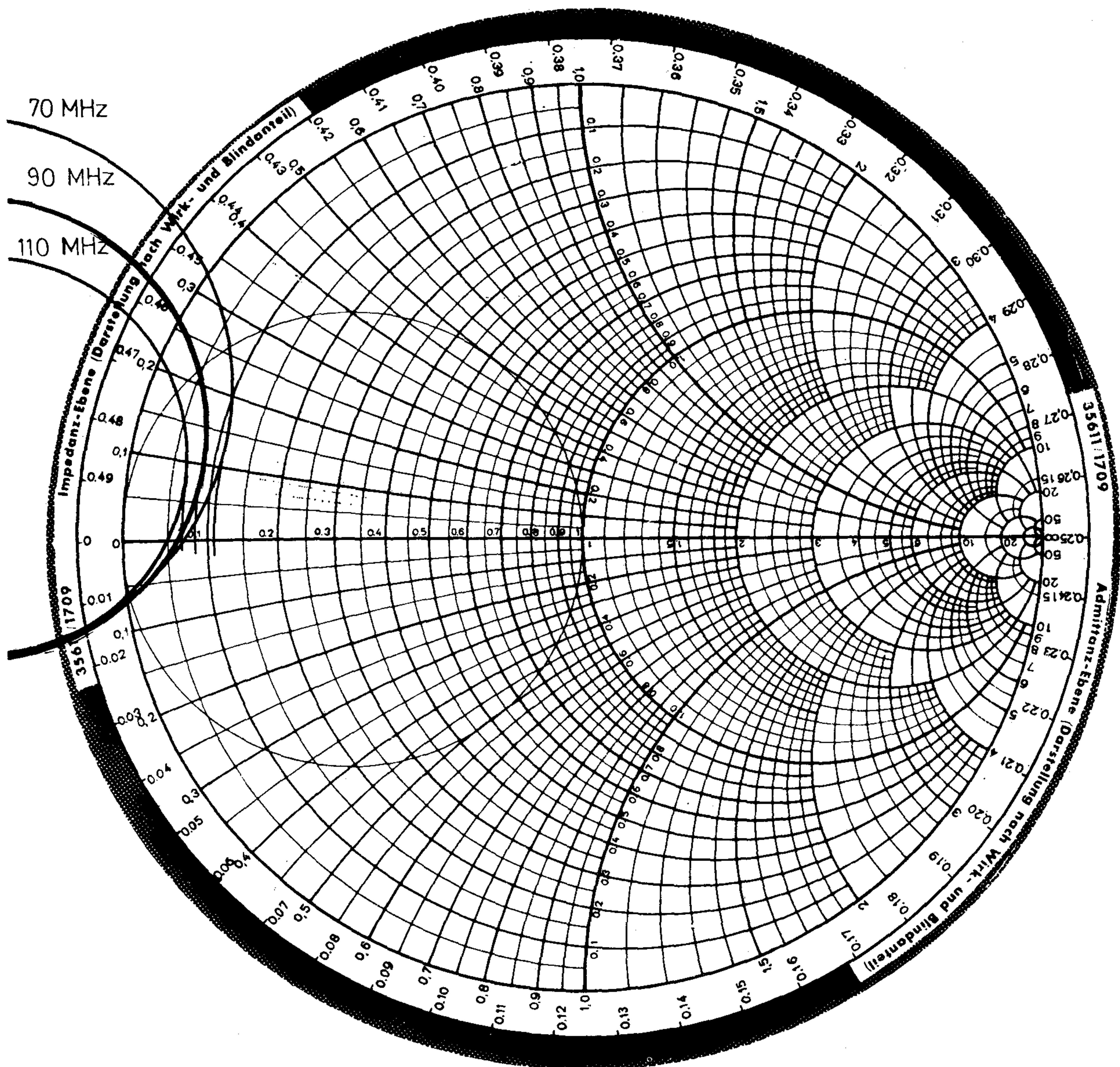
P
0.426

OUTSIDE

*

1. ábra. Stabilitáskörök számítása

H23-1



$$r_L = \left| \frac{S_{12} S_{21}}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \right|$$

$$\Delta = S_{11} S_{22} - S_{12} S_{21}$$

$$c_L = \frac{(S_{22} - \Delta S_{11}^*)^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2}$$

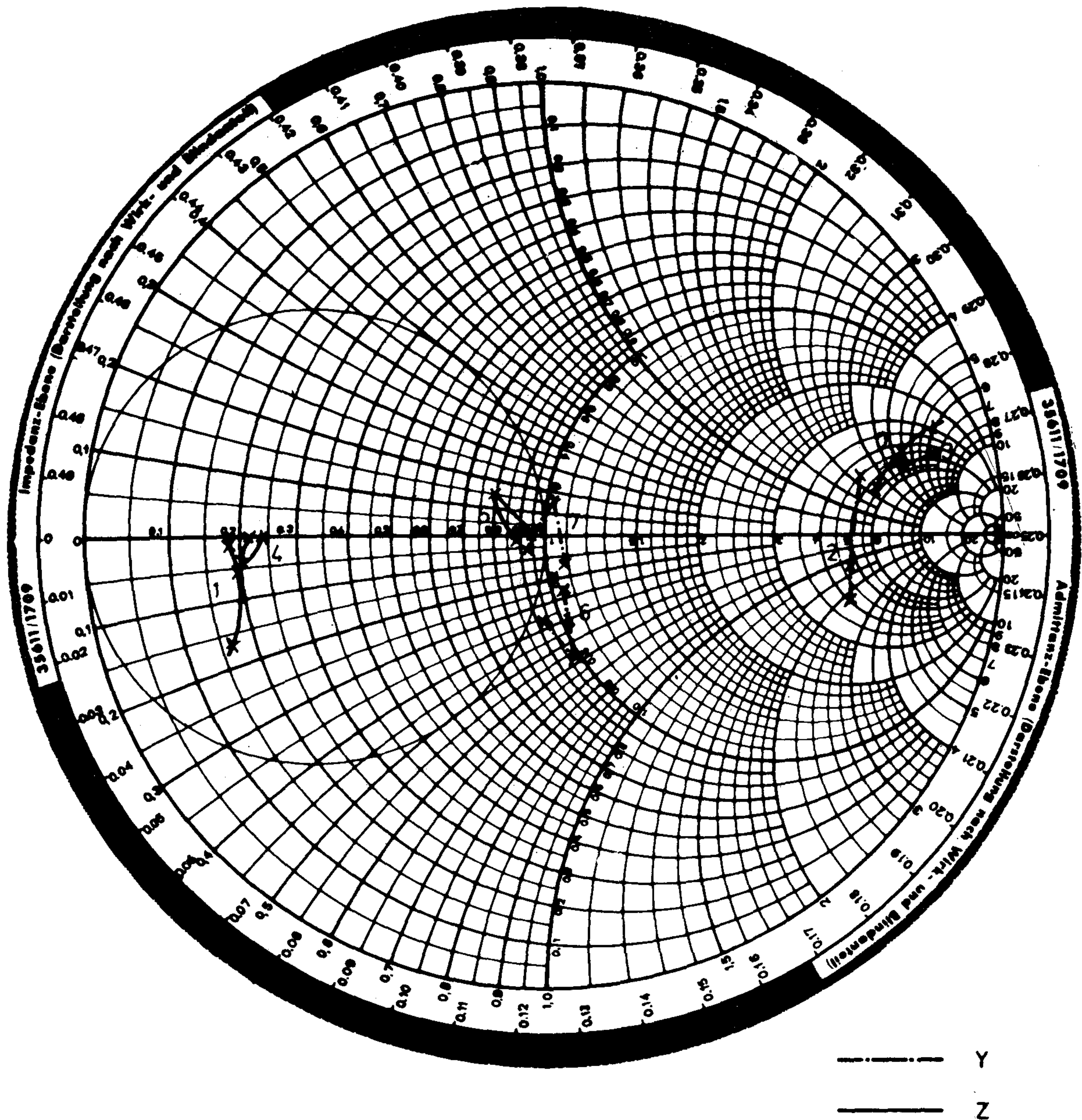
2. ábra. Stabilitáskörök

H23-2

Tervezési példaként vizsgáljuk egy 70...110 MHz frekvenciatartományban működő szélessávú 1 W-os A osztályú erősítő méretezését, amelyhez egy Philips gyártmányú, BLX 93A típusú tranzisztort használ-

tunk fel. A tranzisztor S-paramétereit a katalógus tartalmazza.

Az első lépés annak megvizsgálása, hogy stabil lesz-e az erősítő. Egy igazi stabilitásvizsgálat tulaj-



3a ábra. Tervezési lépések

donképpen annak az f_{krit} frekvenciának a meghatározását jelenti, ami alatt a tranzisztor csak feltélesen lesz stabil, azaz csak bizonyos pozitív lezárásoknál lesz $\text{Re } Z_{be}$ és $\text{Re } Z_{ki}$ pozitív. Ha ez az f_{krit} jóval kisebb, mint a tervezett működési sáv, a stabilitásvizsgálat gyakorlatilag elhagyható, s egyszerű módszerekkel biztosíthatjuk, hogy a tranzisztor a működési sáv alatt se gerjedjen (pl. tápellátás). Ha viszont beleesik a sávba, vagy annál nagyobb, a tranzisztor nem lesz feltétel nélkül stabil, azaz az előbbi feltétel nem teljesül bármilyen pozitív lezárásnál. Ha a tranzisztor alkalmazási adatai nem ismertek, vagy olyan frekvenciasávban kívánjuk alkalmazni, amelyre a katalógus nem ajánlja kifejezetten (pl. alacsonyabb frekvencián, ahol várható, hogy gerjedékeny lesz), akkor feltétlenül kell stabilitásvizsgálatot végezni.

A stabilitásvizsgáló program az ún. stabilitáskörök meghatározásán alapul (1. ábra). A program lekér-

dezi a működési frekvenciasáv néhány frekvenciáján (általában elég három frekvenciaértéket alkalmazni: sávközép és sávszélek) a tranzisztor S-paramétereit. A kalkulátor ennek alapján kiszámítja a stabilitáskörök sugarát és középpontját normalizált alakban. Mint ismeretes, e körökön belüli tartományban válik a tranzisztor instabillá. Ha biztosak akarunk lenni abban, hogy semmilyen körülmények közt nem fog gerjedni az eszköz (feltétel nélküli stabilitás), akkor e köröknek a Smith-diagramon kívül kell elhelyezkedni. Mint a 2. ábrából látható, ez esetben ez nem teljesül.

A stabilitáskörök Smith-diagramon kívülre való tolását a tranzisztor bemenetére csatlakoztatott soros vagy párhuzamos veszteséges elemmel végezhethetjük el. Ez esetben soros ellenállást alkalmaztunk. Az ellenállás szükséges minimális értékének meghatározása a körök középpontjának és sugarának ismeretében egyszerű módon történhet meg. Jelen esetben az eszköz 6 ohmos soros ellenállással (10%-os

stabilitástartalékkal) feltétel nélkül stabilá tehető a működési sávban.

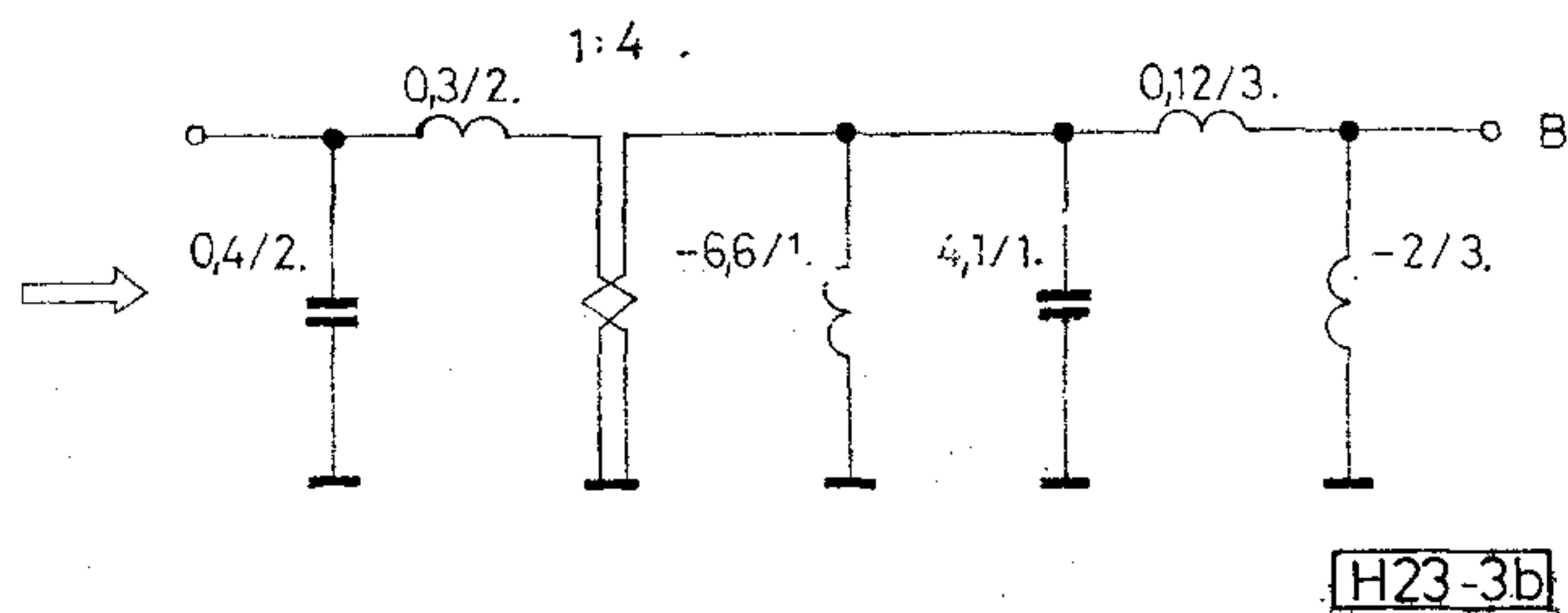
A további számításokhoz szükségünk van a már soros ellenállással megtoldott négypólus eredő S-paramétereire. Össze kell tehát vonnunk az R ellenállás és a tranzisztor S-paramétereit. Ez célszerűen úgy történhet meg, hogy közben áttérünk T-paraméterekre, mivel az S-paraméterekkel a műveletek nem végezhetők el egyszerűen. Ebben az esetben viszont a T-mátrixok szorzata adja az eredő paramétereket. A következő programunk ezt az S—T konverziót végzi el. A tranzisztor S-paramétereit beadva a három frekvencián T-paramétereket kapunk. Így már elvégezhető a mátrixszorzás.

A következő program alapján a kalkulátor a T—S konverziót végzi el. Ennek eredményeképpen hozzájutunk az ellenállással megtoldott négypólus eredő S-paramétereikhez.

Ennek ismeretében elvégezhető az optimális illesztéshez szükséges Z-, Y-, ill. Γ -paraméterek meghatározása. Az S-paraméterek, definíciójuk értelmében, ugyanis csak akkor adják meg — többek között — a tranzisztor bemenő és kimenő reflexióját, ha a tranzisztor a definiált hullámimpedanciával van lezárva. Ha viszont egyik oldalt erre illesztjük, akkor a másik oldalon természetesen már más reflexiós tényezőt fogunk mérni, s ha ezt meg is mérjük, és erre is illesztünk, akkor az előző illesztőáramkör válik használhatatlanná, mert ott lesz más a reflexiós tényező. Az optimális impedanciák meghatározása tehát a tranzisztor mindkét oldalát optimálisan lezáró (illesztő) illesztőhálózat tranzisztor-oldali impedanciáinak vagy Γ -értékeinek meghatározását jelenti. A következő program ezeket az értékeket határozza meg. A program végeredménye a K stabilitási tényező (ez a Linwill-faktor reciproka), az adott frekvencián elérhető maximális erősítés, valamint az előbb említett illesztőhálózat reflexiós tényezői és normalizált impedancia, ill. admittancia adatai. Itt az optimális lezáróimpedanciák mellett látható, hogy K értéke nagyobb, mint 1. Ha nem végeztünk volna az elején stabilitásvizsgálatot, és ennek alapján nem tettük volna stabilá a tranzisztort, ez a program nem futhatott volna le, mert K értéke 1-nél kisebb lett volna. Megjegyzendő azonban, hogy ha K nagyobb, mint 1, ez még nem jelent feltétel nélküli stabilitást, csak feltételes stabilitást a frekvenciasávban. $K > 1$ ugyanis csak szükséges, de nem elégséges feltétele az abszolút stabilitásnak.

Most már hozzáfoghatunk a tényleges illesztőhálózat megtervezéséhez. Itt már a program alkalmazásához, az illesztőhálózat tervezéséhez nem nélkülözhető bizonyos nagyfrekvenciás illesztésben való jártasság. A kalkulátor ugyanis nem helyettünk dolgozik, hanem „segít” a tervezésben.

Az illesztőhálózat tervezése többféleképpen történhet. Pl. úgy, hogy előbb valósá tesszük a tranzisztor bemenő-, ill. kimenőimpedanciáját, majd a szükséges transzformációs arányra szűrőtáblázatból határozzuk meg a szükséges illesztőhálózatot. Ebben az esetben kalkulátort csak az illesztéstervezés első fázisában használunk. Jelen esetben az illesztőhálózat tervezéséhez semmilyen szűrőtáblázatot nem használunk.

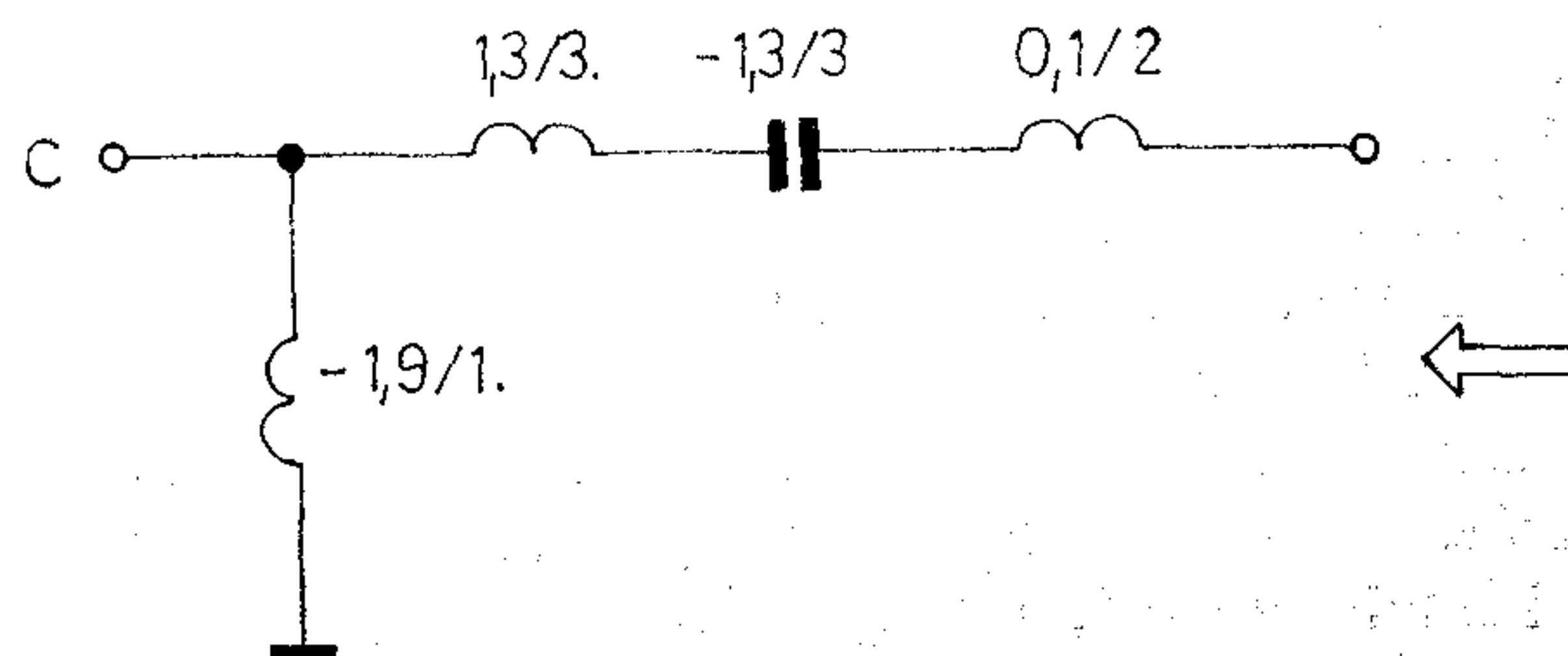


3b ábra. Bemenő illesztő áramkör

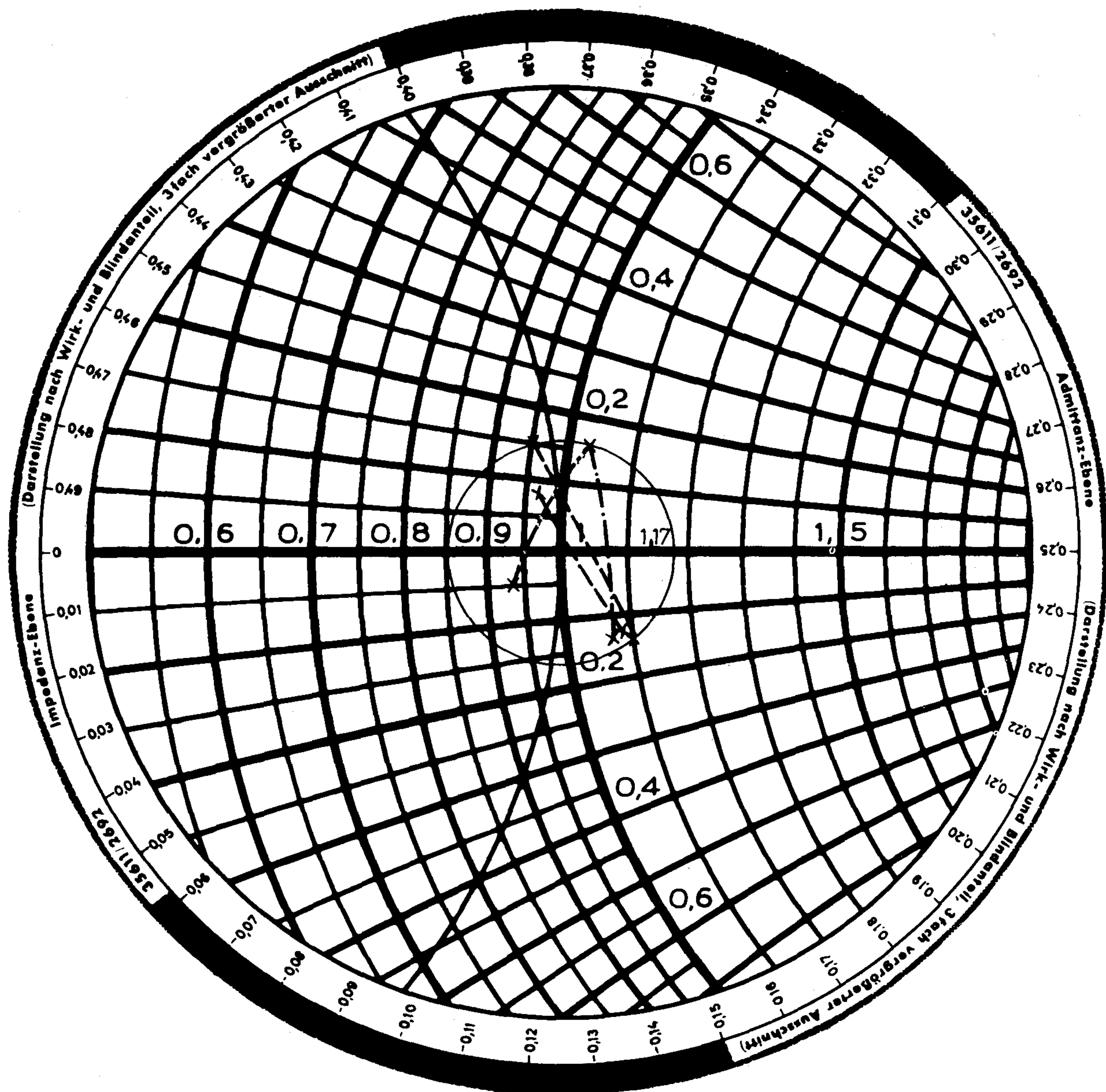
Az optimális lezáróimpedanciákat megadó program végeredményeként kapott impedancia-, ill. admittanciaadatokat felhasználva tervezzük meg az illesztőhálózatot. A tervezés lépésenként történik, a Smith-diagramon figyelemmel kísérve az illesztőhálózat alakulását, ill. az illesztés menetét. A kalkulátor csak a számításokat végzi el helyettünk, a grafikus módszernél sokkal pontosabban, a kézi numerikus módszernél pedig sokkal gyorsabban.

Nézzük meg először a tranzisztor bemenetének illesztését. A program szerint a kalkulátornak meg kell adni az egyszerre kezelt frekvenciaértékek számát. Ez maximálisan öt lehet. Jelen esetben csak a frekvenciasáv már említett három pontján számolunk. Meg kell adni a hullámimpedanciát, majd a frekvenciaértékeket. Ezután azt, hogy impedanciából vagy admittanciából akarunk-e kiindulni, s az egyes frekvenciákon ezután be kell írni a megfelelő értékeket.

Az illesztőáramkör szintéziséhez minden lépésnél meg kell adni a frekvenciát (mivel normalizált értékekkel folyik a tervezés), s utána lehet a megfelelő tolóelemet beadni. Ez lehet pozitív vagy negatív előjelű szuszceptancia vagy admittancia, valós elem, transzformátor (amelyet az impedancia áttételével kell megadni), valamint tápvonal hosszával és impedanciájával jellemezve. A szintézis minden lépése után kinyomtatható az éppen aktuális bemenőimpedancia, ill. -admittancia, s az eredmény a Smith-diagramon rögtön felrajzolható annak érdekében, hogy vizuálisan lássuk, hol tartunk az illesztésben. A program bonyolultsága miatt (tárhiány) a beadott értékeket (frekvenciát és tolóelemet) lépésről lépésre nekünk kell felrajzolni. A gép ugyan tárolja, de ki nem nyomtatja. Maximálisan nyolc illesztőelemet képes tárolni. Ha valamelyik lépés után, annak helytelenségéről meggyőződve, egy vagy több lépéssel vissza akarunk lépni, akkor ezt kódolt CLEAR jelzéssel jelezzük a kalkulátornak. Ezután az utolsó nem törölt értéktől, az eredeti impedanciáról vagy admittanciáról folytathatjuk a szintézist. Admittan-



4. ábra. Kimenő illesztő áramkör



ciáról impedanciára és viszont természetesen bármely programlépés után át lehet térni. Az illesztő-áramkör szintézist addig végezzük, amíg az előírt, szükséges Γ -körön belülre nem kerülünk. Hogy ezt hány lépéssel és milyen bonyolult áramkörrel érjük el, a követelményeken és a tranzisztor adatain kívül természetesen függ a gyakorlatunktól is. Jelen esetben a végeredmény egy hételemes illesztőhálózat, amelyet a 3b. ábrán normalizált értékekkel és a viszonyítási frekvenciákkal együtt láthatunk. Ugyancsak láthatjuk a Smith-diagramon a szintézis egyes lépéseinek eredményét is (3a. ábra).

A tranzisztor kimeneti illesztése ugyanilyen módon történik, csak jelen esetben jóval kevesebb illesztőelemmel. A végeredmény pedig egy négyelemes illesztőhálózat, amely háromelemessé vonható össze (4. ábra).

A végeredményként kapott bemenő- és kimenő-impedanciákat nyújtott Smith-diagramon az 5. ábrán

Bemenőimpedancia

Kimenőimpedancia

H23-5

5. ábra. 70–100 MHz-es erősítő bemenő és kimenő impedanciája

láthatjuk. Itt látható ugyancsak az is, hogy az állóhullámarány mind a bemeneten, mind a kimeneten 1,17-es belül van.

A gép a betáplált tolélemeket tárolja. Ennek a törlési lehetőségen kívül még egy előnye van, amelynek a későbbiekben kívánjuk hasznát venni. Kidol-

CORR. MATCH. /0

FREQ. (MHZ)
470.S11 (MAG. ANG.)
0.68
167.S12 (MAG. ANG.)
0.06
35.S21 (MAG. ANG.)
4.2
72.S22 (MAG. ANG.)
0.32
-128.Z'S (RE. IM.)
0.12
-0.61Γ L
0.146
69. MAG.
ANG.Z*L
1.065
0.297 RE.
IM.Y*L
0.871
-0.243 RE.
IM.

*

CORR. MATCH. /0

FREQ. (MHZ)
636.S11 (MAG. ANG.)
0.68
154.S12 (MAG. ANG.)
0.07
38.S21 (MAG. ANG.)
3.3
58.S22 (MAG. ANG.)
0.34
-131.Z'S (RE. IM.)
0.17
-0.23Γ L
0.533
95. MAG.
ANG.Z*L
0.522
0.775 RE.
IM.Y*L
0.598
-0.887 RE.
IM.

*

CORR. MATCH. /0

FREQ. (MHZ)
860.S11 (MAG. ANG.)
0.69
141.S12 (MAG. ANG.)
0.08
40.S21 (MAG. ANG.)
2.4
43.S22 (MAG. ANG.)
0.4
-133.Z'S (RE. IM.)
1.18
0.18Γ L
0.396
136. MAG.
ANG.Z*L
0.489
0.319 RE.
IM.Y*L
1.434
-0.936 RE.
IM.

*

6. ábra. Korrigált kimeneti illesztés I/O adatai

H23-6

gozás alatt áll ugyanis az a részprogram, amely a normalizált alakban tárolt elemeket a méretezés befejezése után átszámolja tényleges értékekre, és sorban kiírja az illesztőhálózat elemeit.

A számítások ellenőrzésére szolgál a négypólusok átvitelét vizsgáló program. E program használatához szükséges az illesztőhálózat gráfja és a tényleges elemértékek ismerete, valamint egy egyszerű kódrendszer, amely segítségével a kiszámolt hálózatot betáplálhatjuk a gépbe. Első lépésként a hálózat gráfját kell beadni, majd az elemértékeket. Természetesen a tranzistor helyettesítőképének is szere-

pelnie kell benne. A program ennek alapján a bemenő, ill. a kimenő illesztőhálózatra kiírja a veszteséget az elméletileg optimálisan illesztett erősítőhöz képest. Ezzel ellenőrizhetjük, hogy az illesztőhálózat tervezése helyes volt-e, vagy esetleg azt is, hogy nem követtünk-e el valamilyen hibát a normalizált elemértékeknek tényleges elemértékekre való átszámítása során (ez utóbbi természetesen csak kézi számítás esetén). A program végeredményeként még a futási idő is megjelenik, de ezt jelen esetben nem használjuk fel. (A program I/O adatait terjedelmük miatt nem közöljük.)

Tervezés konstans erősítésre

Szólni kell még néhány szót az elillesztett erősítők tervezéséről is. Tudvalevő ugyanis, hogy a nagyfrekvenciás tranzistorok erősítése a frekvencia növekedésével általában 6 dB/okt. meredekséggel csökken. Ezt kompenzálni csak úgy lehet, hogy valamelyik illesztőhálózattal nem optimálisan illesztünk, hanem a frekvencia csökkenésével elillesztjük a tranzisztort (teljesítményerősítőknél a kivezérelhetőség érdekében a bemeneten szokásos). Így a tranzistor csak a sáv tetején van optimálisan illesztve, s ettől lefelé az elillesztés mértéke oly módon nő, hogy a reflexió következtében fellépő veszteség éppen kompenzálja az $|S_{21}|$ növekedését. A bemeneti reflexió azért nem okoz problémát, mert ezeket az eszközöket általában 3 dB-es hibridekkel összekapcsolva paralel szokták üzemeltetni, s ilyenkor a hibrid bemenetén — ha a két erősítő közel egyforma — kis reflexió jelenik meg, a reflektált jelet a balaszt ellenállás emészti fel.

Ezt a tervezést egy IV—V. sávi erősítő rövid tervezési példáján mutatjuk be. A felhasznált eszköz BLW 32 típusú Philips gyártmányú tranzistor, amelynek S-paramétereit mérésrel határoztuk meg.

A tervezéshez két további program szükséges. Egyrészt meg kell határozni a konstans erősítésű köröket, azaz azokat a köröket, amelyek mentén haladva, egy adott frekvencián az erősítés állandó marad. A program egy-egy frekvencián lekérdezi a tranzistor S-paramétereit, valamint a kívánt erősítést. Ezt az erősítést úgy kaphatjuk meg, hogy az optimális illesztéshez szükséges programot felhasználva a legnagyobb üzemi frekvencián (esetünkben 860 MHz-en) kiszámítatjuk az elérhető maximális erősítést. Ezt az értéket vagy ennél valamivel keve-

sebbet kell a továbbiakban, mint lehető legnagyobb konstans erősítést elfogadnunk. A konstans erősítésű körök ismeretében már lehet méretezni az elillesztőhálózatot táblázatból vagy a „Smith-program”-ot felhasználva. A bemeneti hálózat után a kimeneti illesztőhálózatot kell méreteznünk, ezt viszont már optimális illesztésre. Ehhez viszont előbb ki kell számítani a bemenet illesztetlensége folytán megváltozott új, optimálisan illesztendő kimenőimpedanciát. Ezt végzi el a következő program (6. ábra), amely a frekvenciasáv tetszőleges frekvenciáján számítja ki a bemeneti illesztőhálózat Γ vagy Z adataiból és az eredeti S-paraméterekből a kimenet optimális illesztéséhez szükséges korrigált paramétereket. Az illesztés realizálása ezek után már azonos lehet a már bemutatott II. sávi erősítő illesztésével.

Ezzel az erősítőméretezéshez szükséges programsorozat ismertetésének a végére értünk. Befejezőként hangsúlyozni kívánjuk, hogy a bemutatott programok különösen azok számára hasznosíthatók jól, akik esetenként foglalkoznak erősítőtervezéssel, s e munkájukhoz nem áll rendelkezésükre megfelelő apparátus (software és hardware). A programsorozat ugyanakkor jó alapját képezheti egy későbbi — nagyobb gépre megírandó — komplett programnak is.

I R O D A L O M

- [1] Szalay — Sziebold — Szombati: S-paraméteres erősítőtervezés programozható kalkulátorral (HTE előadásanyag, 1984. május).
- [2] S-parameter Design (HP Application Note 154).
- [3] S-parameter Techniques for Faster More Accurate Network Design (HP Application Note 95-1).
- [4] Program collection HP-65, E.E. Pac 2.

Szemle

Összeállította: GÁL FERENC

A román népgazdaság előirányzatai az 1986—1990-es évekre.

	1990. évi előirányzat	1985. évi terv = 100%
Összes ipari árutermelés	—	134—137%
Elektronikai ipar (beleértve a számítástechnikát)	30—31 milliárd lej	162—167%

Az elektronika és a számítástechnika új vívmányait a gazdaság valamennyi területén alkalmazni kívánják, ezért e két ágazatnak prioritása van.

(Világgazdaság, 1984. november 22.)

Újfajta kábellel kísérleteznek a Magyar Postán: két fővárosi távbeszélő központ között üvegszálás fényvezető kábelkapcsolatot építenek ki. Az új típusú kábel kedvező tulajdonsága, hogy vízre nem érzékeny, tehát nem ázik be, és a hagyományos kábellel ellentétben a nagyfeszültségű vezetékek közelében sem kell speciális védőszigeteléssel ellátni. Az új kábelen egyidőben több ezer telefonbeszélgetést foly-

tathatnak. A ma használatos koaxiális kábel kilométere 2 tonna, az üvegszálásé mindössze 50 kilogramm.

A posta az üvegszálás kábel fokozatos bevezetését tervezi, eleinte csak az újonnan kiépítendő kapcsolatoknál, később pedig az elhasználódott kábelek pótlására.

A kísérlethez szükséges fényvezető kábelt és a hozzá tartozó szerelvényeket, illetve berendezéseket az NDK-ból szerzi be a Magyar Posta.

(MTI, 1984. november 27.)

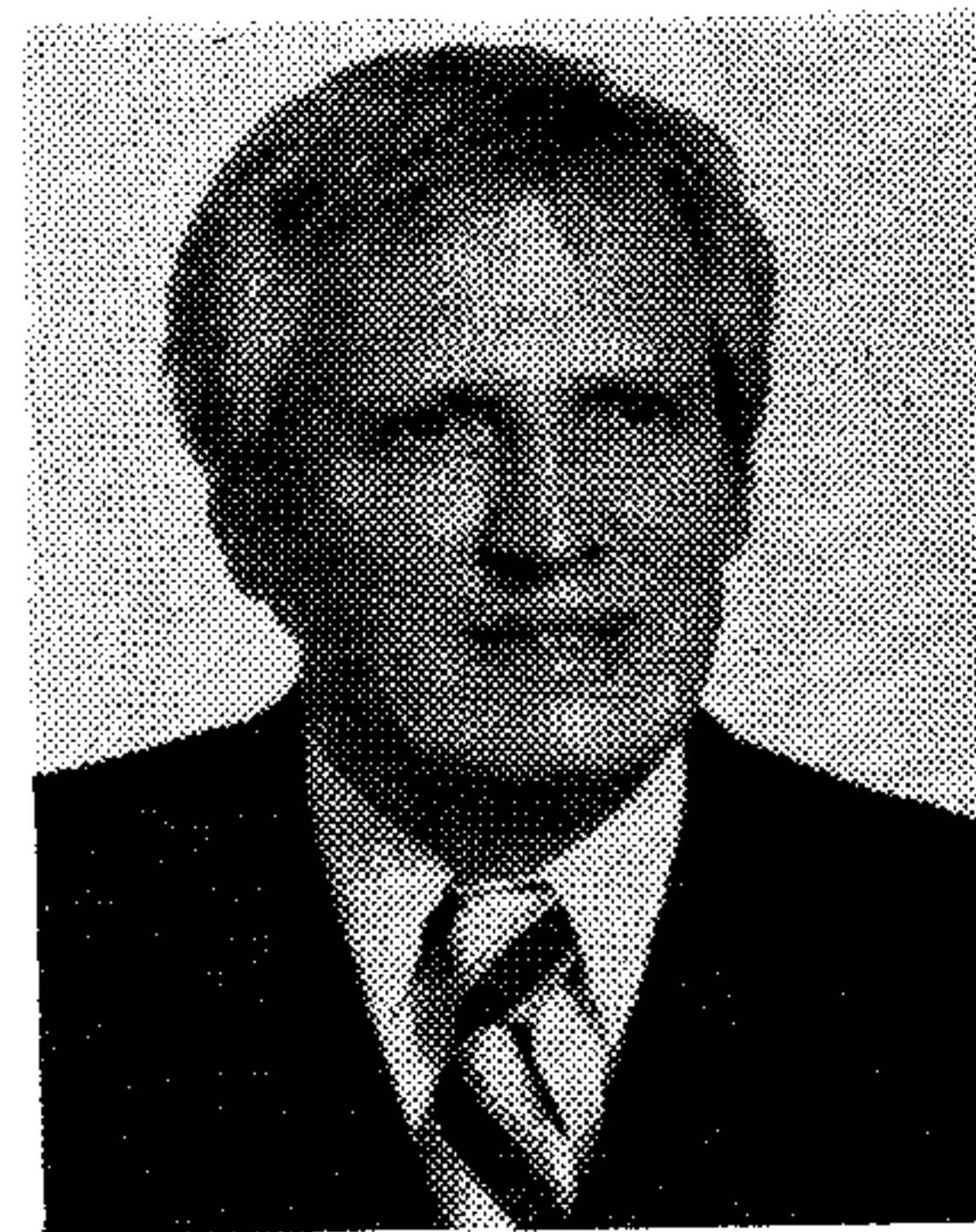
A következő évek során a Siemens konszern több mint 1 milliárd márkát fordít a mikroelektronika területén folyó tevékenység fejlesztésére. Münchenben összevont kutatórészletet alakítottak ki, Regensburgban új gyár épül, legutóbb pedig Düsseldorfban hoztak létre fejlesztési központot, amelybe öt év alatt kerekén 50 millió márkát kívánnak befektetni. Az új központ létesítéséhez felhasználják mindazokat a jó tapasztalatokat, amelyekkel az 1980-ban az ausztriai Villachban létesült mikroelektronikai fejlesztő központ szolgált.

(Siemens Presseinformation)

(Folytatás 176. oldalon.)

Terjedési ellenállás elven alapuló hőérzékelő szenzor struktúrája és a hőérzékenység kérdése

DR. PÁSZTOR GYULA—BERKECZ JÁNOS—NAGYNÉ FICZA MARIANN
Mikroelektronikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

A Mikroelektronikai Vállalatnál fejlesztési munka folyik a terjedési ellenállás elvén alapuló hőérzékelő szenzor kifejlesztésére. A vizsgálatok tárgya volt a geometriai hatások és a hőmérsékleti együttható kérdése. Az elméleti számítások és a mérési eredmények összevetése. A hőérzékelő szenzor ellenállásának elméleti hőmérsékletfüggése a 200—400 K hőfoktartományban.

A szilícium hőérzékelők egy legperspektivikusabb formája a terjedési ellenállás jelenségén alapul. Ennek az elvnek az az előnye, hogy a kontaktus átmérőjének változásával széles tartományban beállítható tetszőleges értékű ellenállás. Másik nagy előny, hogy az eszköz a planár technológia módszereivel előállítható. Mivel ez a technológia már jól kidolgozott, egyforma elemek tömeges előállítását teszi lehetővé. A keletkezett elemek hőfok koeficiense, az $R = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)]$ kifejezésben α értéke a szoba-hőmérséklet körüli tartományban elsősorban az elektronok mozgékonyságának hőfüggésétől függ, amely megfelelően megválasztott alapanyag esetén gyengén függ az adalék koncentrációjától, így megvalósítható egy viszonylag pontos hőkoeficiens érték. Az e tárgyban a szakirodalomban ez idáig megjelent cikkek [1]—[3] kevés támpontot adtak ilyen hőérzékelők geometriai konstrukciójára, a kívánt hőérzékeny-

DR. PÁSZTOR
GYULA

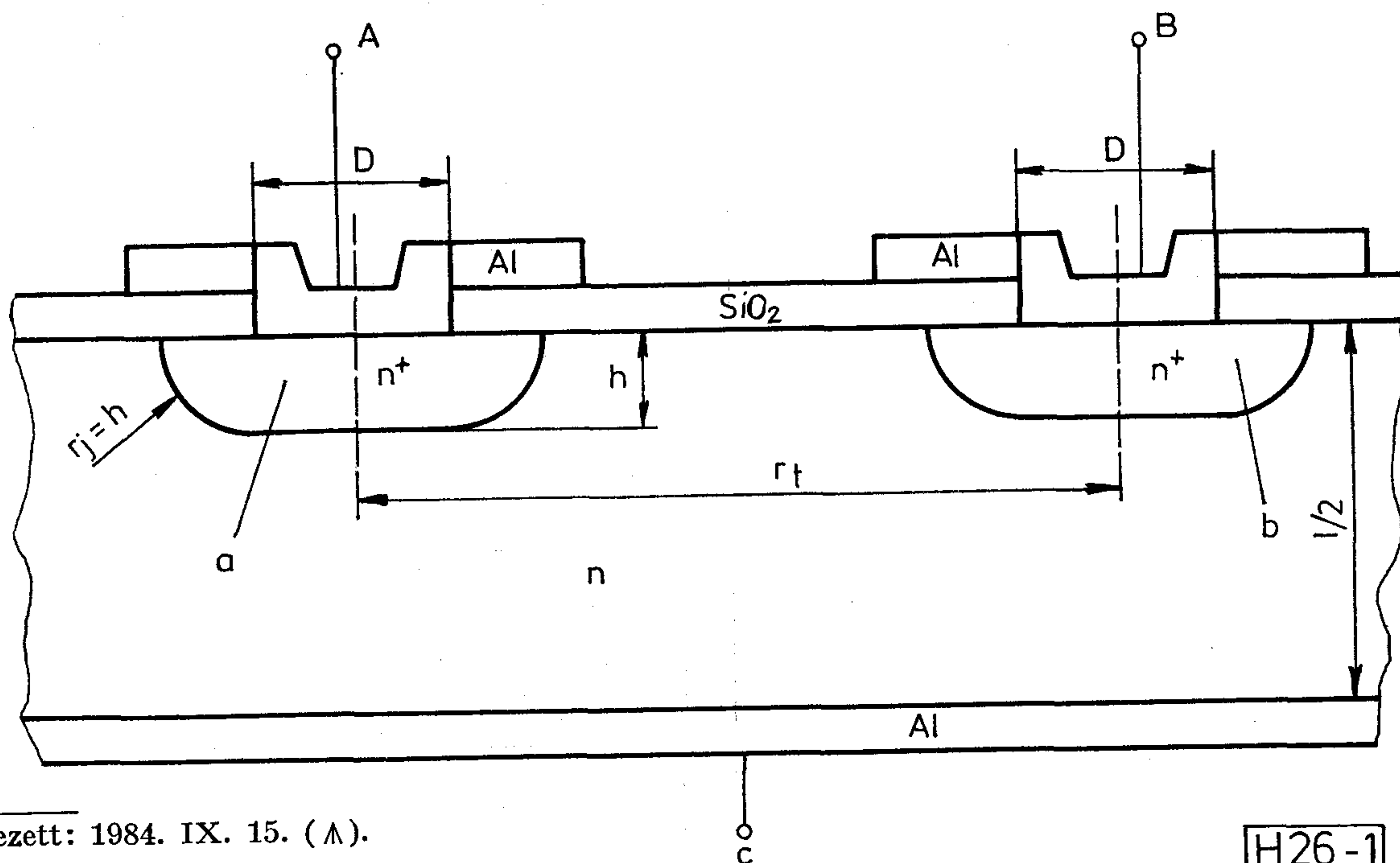
Villamosmérnöki oklevelet 1949-ben szerezte meg a Budapesti Műszaki Egyetemen. 30 éve félvezető témákon dolgozik a Mikroelektronikai Vállalatnál, illetve elődjénél, a HIKI-ben. 1976-ban kandidátusi fokozatot szerzett a technológiai szemszögű félvezető modellekről írt értekezésével. Jelenleg osztályvezetőként szilícium szenzor problémákkal foglalkozik.

latnál, illetve elődjénél, a HIKI-ben. 1976-ban kandidátusi fokozatot szerzett a technológiai szemszögű félvezető modellekről írt értekezésével. Jelenleg osztályvezetőként szilícium szenzor problémákkal foglalkozik.

séget megvalósító szilíciumkristály fajlagos ellenállásának megválasztására vonatkozóan. E hiányosság kiküszöbölése végett a cikk a hőérzékelő konstrukciójánál felmerülő problémák megoldásával foglalkozik, a geometria hatásának számítására egy jó közelítő módszert ad, valamint számítja az elméleti ellenállás—hőmérséklet karakterisztikát a 200—400 °K közötti hőfoktartományban.

1. Geometriai konstrukció

A hőérzékelő struktúrájának keresztmetszeti képét az 1. ábrán láthatjuk. Az áram a fémből ohmos kontaktuson keresztül az n^+ diffúziós rétegbe kerül. Ha ennek a rétegnek az ellenállása elegendően ki-



Beérkezett: 1984. IX. 15. (Λ).

1. ábra

csiny, akkor az ekvipotenciális felületnek tekinthető. Az áram e rétegből (a) kilépve szétterjed, és így éri el a szelet hátoldalán levő második (c) fémréteget, amely ugyancsak ohmos kontaktussal csatlakozik a félvezetőhöz. A struktúra szimmetrikus, és ennek megfelelően az a) réteggel minden szempontból azonos b) diffúziós rétegen át lép ki az áram a hőérzékelőből. Ahhoz, hogy ennek az elrendezésnek ellenállását számíthassuk, meg kell határoznunk a potenciál térbeli eloszlását. Ezt közelítő módon tesszük. Így a struktúrát a 2. ábrán látható alakra hozzuk. Ezen az ábrán az a) és b) diffúziós rétegek félgömbök. A gömb sugara r_0 úgy van megválasztva, hogy a félgömbök felülete egyenlő legyen a diffúziós $n-n^+$ átmenet A felületével. A hátoldali fémezés (C) megfelel a felezősíkban levő felületnek. Ha ebben az elrendezésben a gömbök középpontjában Q^+ , ill. Q^- töltést helyezünk el, ahol $Q^+ = -Q^-$, akkor a létrejövő erőteréből az áramtér egyszerűen számítható az (1.1) kifejezéssel (1. 3. ábra).

$$\vec{j} = \varrho^{-1} \cdot \vec{E}, \quad (1.1)$$

ahol $\vec{j}$ az áramsűrűség, ϱ a félvezető fajlagos ellenállása, $\vec{E}$ a térerősség vektora. A tér valamely P pontjában a potenciált az (1.2) kifejezés adja.

$$U_P = \frac{Q}{4\pi\epsilon_{si}} \cdot \left(\frac{1}{r^+} - \frac{1}{r^-} \right), \quad (1.2)$$

r^+ és r^- a pozitív, illetve negatív töltéstől mért távolság. A két töltés távolsága l , amely a kristály vastagságának kétszeresével egyenlő. Pontosan számolva, az ekvipotenciális felület nem gömbfelület. A gömbtől való eltérést úgy becsülhetjük meg, ha két azonos potenciálú ponthoz tartozó sugár nagyságát összehasonlítjuk. A 3. ábrán látható módon az egyik pont (P_0) a töltéseket összekötő egyenesre esik, míg a másik (P_1) az erre merőleges síkban fekszik. Az elsőhöz tartozó sugár r_0 , míg a másodikhoz

BERKECZ JÁNOS

Villamos üzemmérnöki diplomáját a Kandó Kálmán Villamosipari Műszaki Főiskola Gyengeáramú Karán szerezte 1975-ben. 1975. szeptember 1-től a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetben (jelenleg Mikroelektronikai Vállalat), a szelettechnológia főosztályon dolgozik technológusként. Kezdetben a bipoláris integrált áramkörök előállítási technológiái-

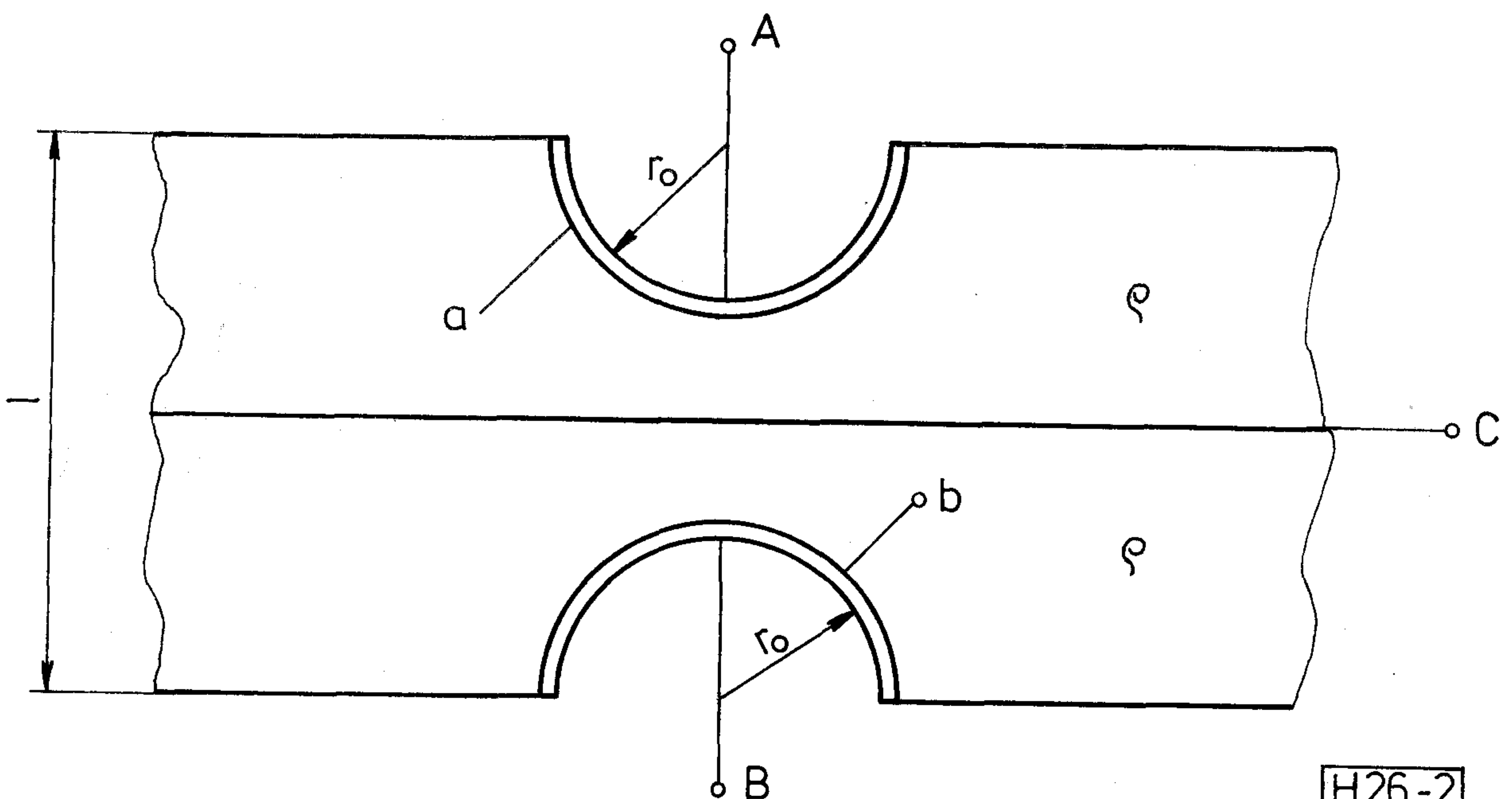
val, ezen belül főleg oxidációval és bór diffúzióval foglalkozott. Részt vesz a p- és n-csatornás, valamint a CMOS technológiák fejlesztésében. A MOS technológiák, valamint az egyedi eszközök bór diffúziós műveleteit irányítja. Fokozott érzékenységű fénylemek előállítása c. tudományos munkatársi dolgozatát 1981-ben írta meg. 1982-től az egyedi eszközök témavezető technológusa.

r_1 . A gömbtől való eltérés nagyságára jellemző szám,

$\frac{\Delta r}{r}$ a következő alakban írható, ahol $\Delta r = r_1 - r_0$

$$\frac{\Delta r}{r} \cong r_0 \cdot \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_1} \right) = \frac{r_0^2}{l^2}.$$

Ez a szám zérus gömb esetén. Mivel $r_0 \ll l$, a gömbtől való eltérés kicsiny. Ez más szóval azt jelenti, hogy a térerősség kifejezésében az r^- -os tag (a pozitív töltéstől r_0 távolságban) elhanyagolható.



2. ábra

H26-2



NAGYNÉ FICZA
MARIANNA

1983-ban szerzett diplomát a BME Villamosmérnöki Karának Elektronikai Technológia Tanszékén. Egyetemi tanulmányainak megkezdése

előtt a HIKI félvezető főosztályán dolgozott. Jelenleg a HIKI jogutódjában, a MEV-ben szintén a félvezető főosztályon dolgozik. Témája félvezető alapú érzékelők kutatása és fejlesztése.

Így

$$E_{r0} = - \left. \frac{\partial U}{\partial r} \right|_{r=r_0} = \frac{U}{r_0}; \text{ ahol } U = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_{si}} \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{l-r_0} \right) \quad (1.3),$$

$$I = \int j \cdot dA = 2r_0^2 \pi \cdot \frac{1}{\varrho} \cdot \frac{U}{r_0}. \quad (1.4)$$

(A)

Mivel az ekvipotenciális felületek között a potenciálkülönbség $2U$, a rendszer ellenállása R_e

$$R_e = \frac{2U}{I} = \frac{\varrho}{r_0 \cdot \pi}, \quad (1.5)$$

r_0 értékét, mint láttuk, úgy választjuk meg, hogy a h mélységű diffúziós $n-n^+$ átmenet felülete egyenlő legyen az r_0 sugarú félgömb felületével. Az átmenet felületét egy gyűrűfelületből és egy D átmérőjű körlepből összetettnek tekinthetjük. Ezzel számítva r_0 -t

$$r_0 = \left[\frac{\pi \cdot h D}{4} + h^2 + \frac{D^2}{8} \right]^{1/2}. \quad (1.6)$$

Amikor az 1. ábrán látható elrendezést a (2) szerinti struktúrával közelítettük, akkor ezzel feltételeztük, hogy minden áramfonal olyan, amely az a) rétegből a c) fémbe vezet és onnan jut el a b) rétegbe. Ez az ellenállásból felépített helyettesítő kapcsolásnál (4. ábra) annak feltételezésével egyenlő, hogy a kapcsolat csupán az R_s elemeket tartalmazza,

$$\text{tehát } R_s = R_e/2 = \frac{\varrho}{2r_0\pi}.$$

A valóságban vannak olyan áramfonalak, melyek közvetlenül kötik össze az a) és b) réteget. Ezeknek az áramfonalaknak eredő árama az R_p ellenálláson át folyik. Az R_p ellenállást a B pont potenciáljának meghatározásával számíthatjuk:

$$U_{BC} = U_{AC} \cdot \frac{R_s}{R_p + R_s} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_{si}} \left(\frac{1}{r_t} - \frac{1}{[l^2 + r_t^2]^{1/2}} \right) = U_b, \quad (1.7)$$

U_{AC} az (1.3) kifejezésből számítható potenciállal egyenlő. Az (1.7) kifejezésből számítható R_p .

$$R_p = \frac{Q}{2r_0\pi} \left\{ \left[\frac{\frac{r_t}{r_0} - \frac{r_t}{l-r_0}}{1 - \left[\left(\frac{l}{r_t} \right)^2 - 1 \right]^{-1}} \right] - 1 \right\} = \frac{\varrho}{2r_0\pi} \{ \varphi - 1 \}, \quad (1.8)$$

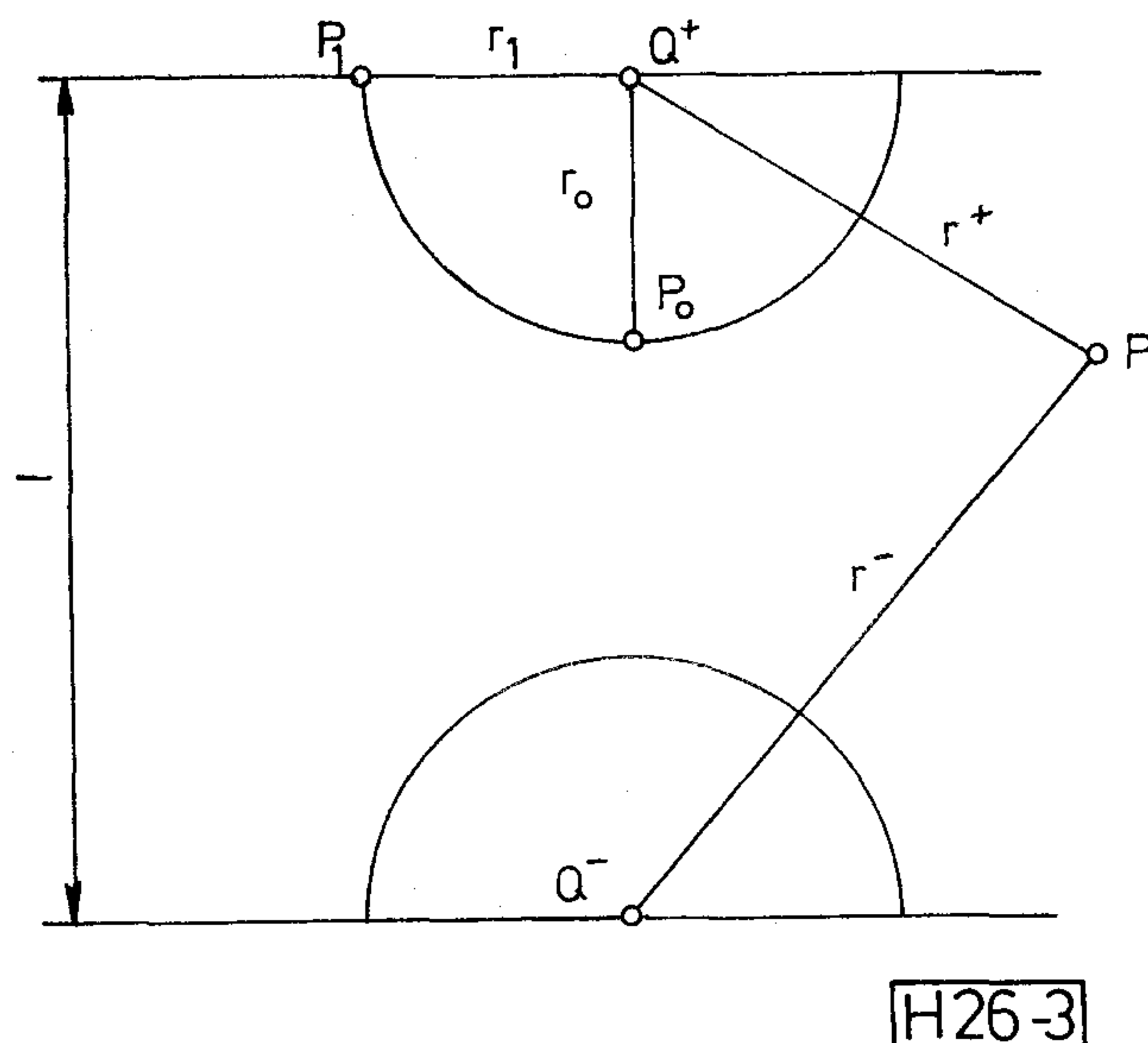
ahol φ -t a zárójeles kifejezés adja. A hőérzékelő eredő ellenállása, mely az $A-B$ pontok között mérhető, R_{AB} .

A kifejezésben szereplő β értékét a mérés útján határozzuk meg, és ez kifejezi az elhanyagolást, mely a valóságos struktúra és a 2. ábrán látható elméleti struktúra közötti különbségből adódik.

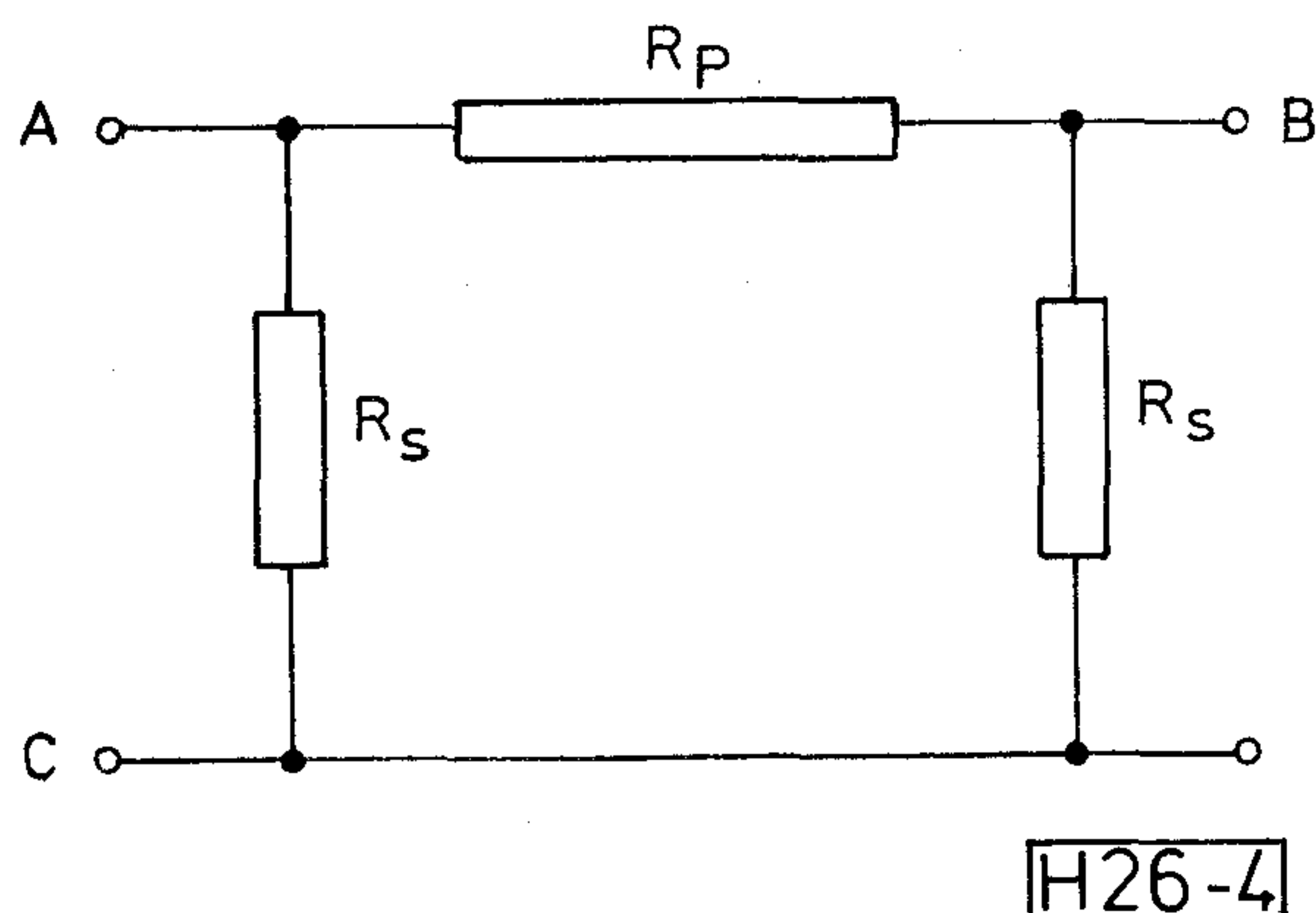
$$R_{AB} = \beta \cdot \frac{\varrho}{r_0\pi} \cdot \frac{\varphi - 1}{\varphi + 1}. \quad (1.9)$$

2. A fajlagos ellenállás hőfüggésének meghatározása

A fajlagos ellenállást *Li* és *Turber* [4] módszerét követve az alábbi módon számíthatjuk, elhanyagolva a kisebbségi töltéshordozók vezetését, mely a víz-



3. ábra



4. ábra

gált $200 < T < 500$ K^o hőfoktartományban és a $2 \cdot 10^{15} > N_D > 8 \cdot 10^{14}$ cm⁻³ koncentrációtartományban igen jól teljesül.

$$\varrho^{-1} = q \mu_n \cdot n. \quad (2.1)$$

Ebben a kifejezésben μ_n az elektronok mozgékony-sága, n az elektronkoncentráció. Mindkét mennyiség hőfüggő. Az elektronok koncentrációját úgy számíthatjuk, hogy figyelembe vesszük a félvezető helyi semlegességét, elhanyagolva a lyukakat, $n = N_D^+ \cdot N_D^+$ az ionizált donorok koncentrációja, és ez a Fermi-szinttől, E_F , valamint a donorszinttől, E_D , függ. A kifejezésben T a hőmérséklet °K-ban.

$$N_D^+ = \frac{N_D}{1 + 2 \cdot \exp[(E_F - E_D)/kT]}. \quad (2.2)$$

Az elektronkoncentráció ugyancsak e két mennyiség függvénye

$$n = \frac{N_C}{\exp[(E_C - E_F)/kT] + 0,27}. \quad (2.3)$$

N_D a kondukciós sáv elektronállapotainak sűrűsége. A [4]-ben megadott kifejezést alkalmazva az ismert fizikai állandók számszerű értékének behelyettesítése után:

$$N_C = 6,17 \cdot 10^{15} T^{3/2} \text{cm}^{-3}, \quad (2.4)$$

(2.2), (2.3), (2.4)-ből n számítható. N_D/N_C kis értékei esetén — ez a feltevés a vizsgált fajlagos ellenállás tartományban messzemenően teljesül — n -re a következő kifejezést kapjuk:

$$n = \frac{N_D}{1 + 1/2 \cdot \exp[2(E_C - E_D)/kT] \cdot \left(\frac{N_D}{N_C}\right)^2}. \quad (2.5)$$

Foszforadalék esetén $E_C - E_D = 0,044$ eV. Így n kifejezése a következő alakot kapja:

$$n = \frac{N_D}{1 + \frac{1}{2} \left[\exp\left(\frac{1020,3}{T}\right) \right] \cdot \left(\frac{N_D}{N_C}\right)^2}. \quad (2.6)$$

A mozgékony-ság számításánál azzal a közelítő feltevéssel élünk, hogy az elektronok szórásánál csak a rácsatomokon μ_L és az ionizált adalékatomokon történő szóráshoz rendelt mozgékony-ság-komponenst, μ_I -t kell figyelembe venni. Az adott hőfok- és koncentrációtartományban ez a feltevés ugyancsak igen jól teljesül. Ennek megfelelően

$$\mu = \mu_L \cdot \left[1 + x^2 \left\{ \text{Ci}(x) \cos x + \sin x \cdot \left(\text{Si}(x) - \frac{\pi}{2} \right) \right\} \right], \quad (2.7)$$

ahol μ a töltéshordozók eredő mozgékony-sága és $\text{Ci}(x)$, illetve $\text{Si}(x)$ az integrál koszinusz, illetve integrál szinusz néven ismert függvények, valamint

$$x = 6\mu_L/\mu_I.$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Ci}(x) &= 0,5772 + \ln x + \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \frac{x^{2k+1}}{2k \cdot (2k)!} \\ \text{Si}(x) &= x + \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \frac{x^{2k+1}}{(2k+1)(2k+1)!} \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

μ_L értékére vonatkozóan az idézett szerzők az alábbi táblázatot adják meg:

T °K	200	250	300	350	400	500
μ_L cm ² /vsec	3730	2180	1430	1010	748	479

A táblázat adatait grafikusan ábrázolva arra a megállapításra juthatunk, hogy azok elég kis hibával ráilleszthetők a következő alakú függvényre:

$$\mu_L = a \cdot \left(\frac{1}{T}\right)^c + b \cdot (T - 292), \quad (2.7)$$

a , b , c állandók meghatározhatók úgy, hogy $T = 200$, 300 , 400 K-es értéknél μ_L pontosan egyezzen a táblázat értékével. Ekkor a közbeni pontokon és 500 °K-on az eltérés kisebb lesz, mint $0,5\%$. Ezek az értékek: $a = 1,1516 \cdot 10^9$, $b = 0,2678$, $c = 2,3845$.

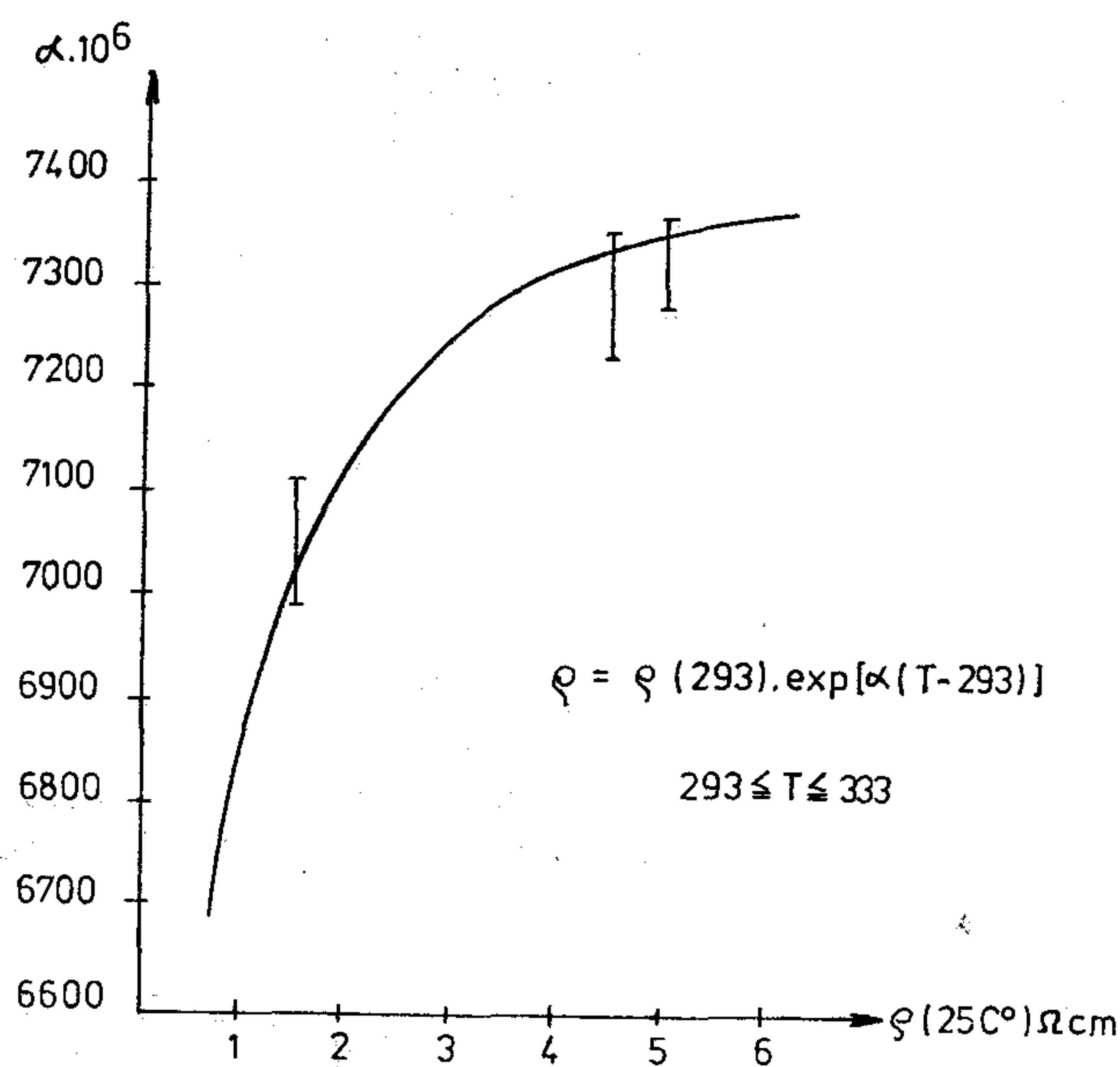
A (2.1)–(2.7) kifejezésekkel számíthatjuk ϱ -t a megadott tartományba eső adalékkoncentráció és hőfokértékeknél. Ha ezt a számítást elvégezzük $T = 293$, 313 , 333 °K-os hőfokra és különböző N_D értékre, a kapott ϱ értékekre a

$$\varrho = \varrho_0 \cdot \exp[\alpha(T - T_0)], \quad (2.8)$$

kifejezést ráillesztjük úgy, hogy a legkisebb hibanégyzet feltétele teljesüljön (ahol $T_0 = 293$ °K és ϱ_0 az ennél a hőmérsékletnél fennálló ϱ érték). Ilyen módon különféle ϱ_0 értékhez tartozó α értéket meghatározhatjuk. Ez a számítás az 5. ábrán folytonos vonallal kihúzott görbét adja.

A számítási eredmény vizsgálata azt mutatja, hogy $\varrho(N_D, T)$ függvény széles hőfoktartományban is jól közelíthető analitikus függvénnyel. Ebben az esetben el kell térnünk a (2.8) kifejezéssel adott egyszerű alaktól. Ennek a függvénynek a meghatározásához a következő megoldással juthatunk.

A (2.7) egyenlet numerikus kiértékelése azt mutatja, hogy μ csupán néhány százalékkal tér el μ_L -től. Ezt a viszonylag kis részt egyszerű analitikus



5. ábra

kifejezéssel is jól közelíthetjük. A másik megállapítás az elektronkoncentráció értékére vonatkozik.

Az $n=N_D$ közelítés igen jó eredményt ad a vizsgált hőfoktartományban. Végül is az átlagos hiba 0,5%, míg a maximális eltérés kisebb $\pm 1\%$ -nál az alábbi kifejezés alkalmazásakor, a $2 \cdot 10^{15} > N_D > 8 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ koncentrációtartomány esetén. (T °K-ban):

$$\varrho^{-1} = \varrho_L^{-1} + \left(\frac{N_D}{1,277 \cdot 10^{18}} \right)^{0,921} \cdot \exp \left[\frac{95\,200}{T \cdot (N_D)^{0,1344}} \right] \quad (2.9)$$

ahol

$$\varrho_L^{-1} = \frac{N_D}{5,4273 \cdot 10^9} \left(\frac{1}{T} \right)^{2,3845} + \frac{N_D}{2,3334 \cdot 10^{19}} \cdot (T - 293)$$

Az (1.9) egyenletet az alábbi formában is felírhatjuk, ahol η_{geom} -ba koncentrálunk minden hőfüggetlen mennyiséget.

$$R = \varrho(T, N_D) \cdot \eta_{\text{geom}} \quad (2.10)$$

Ez (2.9) sz. kifejezésével kiegészítve megadja egy N_D adalékkoncentrációjú Si kristályból készült hőérzékelő ellenállását az adott hőfoktartományban.

$$N_D = 8,33 \cdot 10^{14}, \quad \varrho(20^\circ \text{C}) = 5 \text{ cm}.$$

T °C-ban	$R(T)/R(20^\circ \text{C})$	T °C-ban	$R(T)/R(20^\circ \text{C})$
-40	0,5927	30	1,0800
-30	0,6516	40	1,1634
-20	0,7142	50	1,2500
-10	0,7803	60	1,3395
0	0,8501	70	1,4321
10	0,9233	80	1,5276
20	1	90	1,6257
		100	1,7264

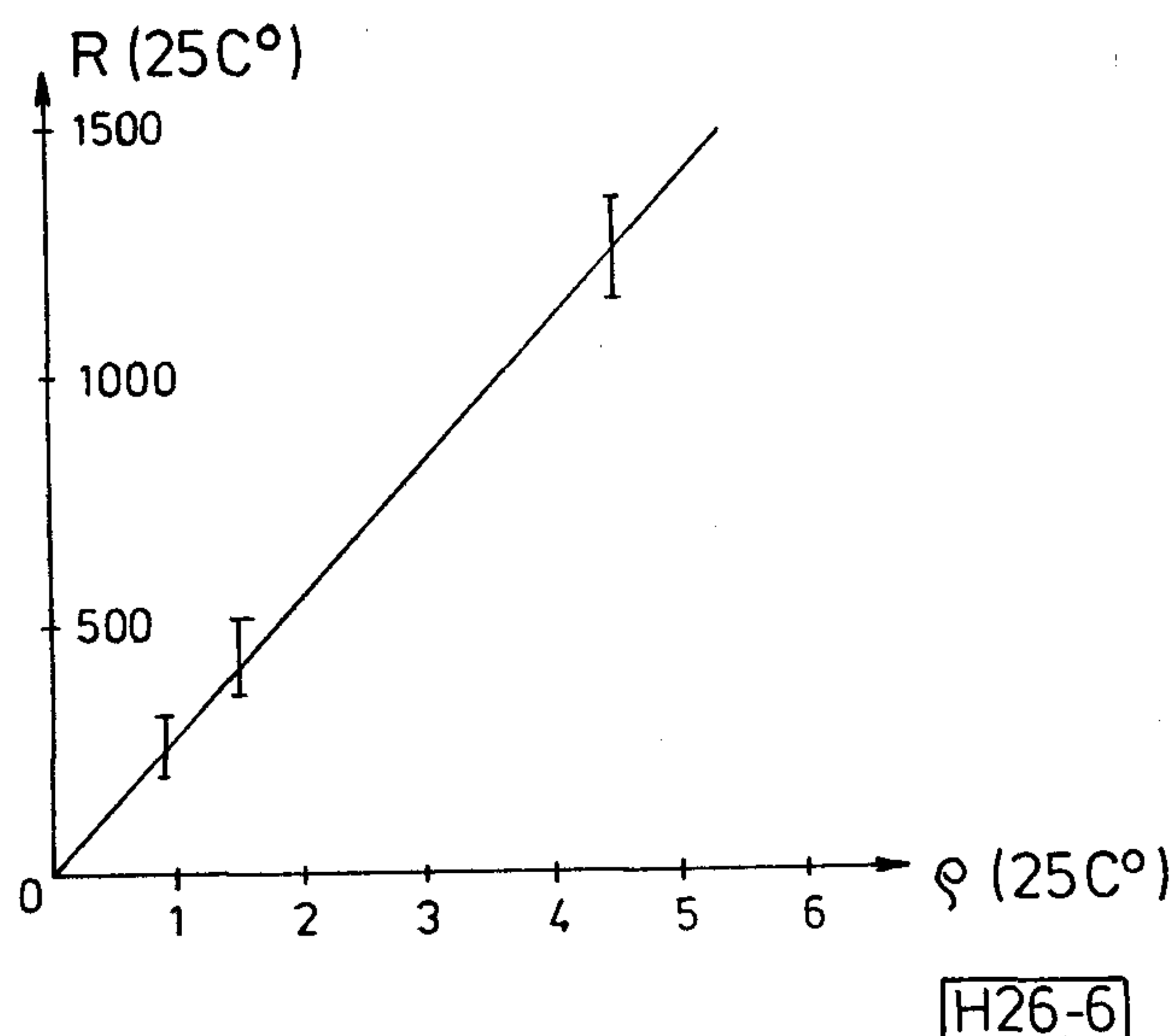
3. A számítási eredmények összehasonlítása mérésekkel

Először meghatározzuk az (1.9) kifejezésben szereplő β értékét. Ennek az a módja, hogy különböző ϱ fajlagos ellenállású kristály szeletekből azonos geometriával az 1. ábra szerinti hőérzékelő ellenállásokat készítünk. Egy-egy ϱ értéknél 20–50 db minta 25 °C-os ellenállását mértük, és a kapott átlagos értéket, $\bar{R}_0$ -t ábrázotuk ϱ függvényében. A vizsgálatnál alkalmazott struktúra főbb geometriai méretei a következők voltak:

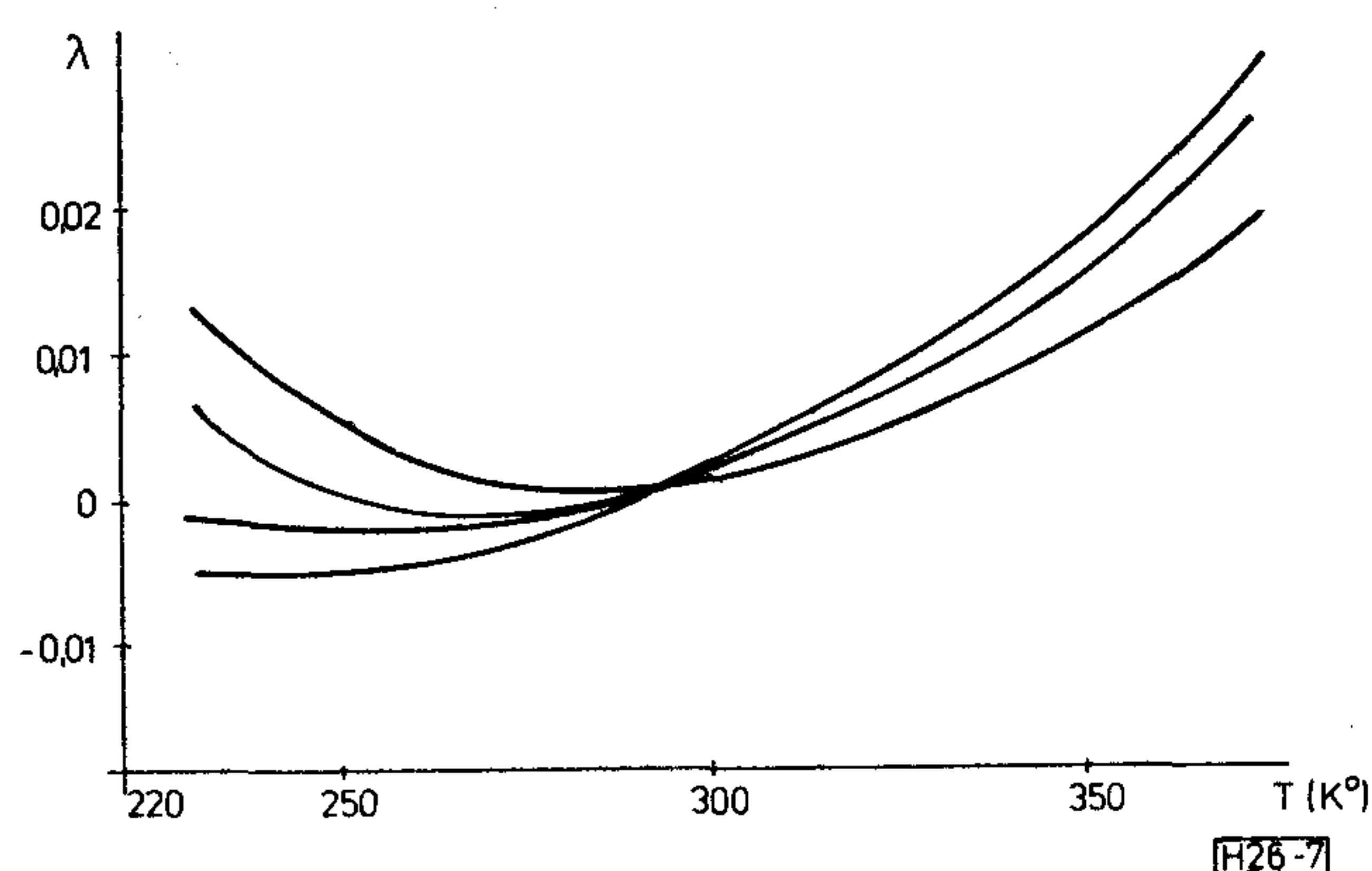
$$h = 1,8 \text{ } \mu\text{m}, \quad l = 940 \text{ } \mu\text{m}, \quad r_t = 100 \text{ } \mu\text{m}, \quad D = 24,5 \text{ } \mu\text{m}.$$

A kapott R_0 értékek és azok szórásstartománya a 6. ábrán látható. R_0 értékének viszonylag nagy szórása a kristályszelet fajlagos ellenállásának fluktuációjából származik. Ez a véletlenszerű szórás jól kiátlagolódik $\bar{R}_0$ értékében, így azok kis hibával ráesnek a 6. ábra egyenesére. Az egyenes meredekségét az (1.9) sz. kifejezésből számított értékkel összehasonlítva meghatározható β értéke, mely 1,1-nek adódott.

A mintákon hőfüggést is vizsgáltunk. A 20, 40, 60 °C-on végzett ellenállásmérések eredményére a legkisebb hibanégyzet módszerével $R = R_0 \exp [\alpha(T -$



6. ábra



7. ábra

$T_0]$ függvényt illesztettük. Ebben a kifejezésben $T_0 = 20^\circ \text{C}$, R_0 és α a függvényillesztésből számított értékek. Az eredményt közvetlenül összevethetjük az 5. ábrán látható elméleti értékkel. Az így kapott α értékeket — szórásstartományukkal együtt — rárajzoltuk az 5. ábrára. Láthatjuk, hogy az ez úton kapott α jól egybevág a folytonos vonallal rajzolt elméleti görbével, és viszonylag szűk szórásstartománnyal bír. Ennek az az oka, hogy $\alpha(\varrho)$ függvény viszonylag lapos, így a ϱ fluktuációjából származó eltérés viszonylag kis szórást eredményez α értékében.

A (2.1)–(2.7) kifejezésekkel számított $\varrho_{\text{számított}}$ hőfüggést széles hőfoktartományban hasonlítottuk össze, mért hőfüggéssel. Ehhez az ellenállás és a hőmérséklet mérésénél nagy pontosságra törekedtünk. A vizsgálatot viszonylag kis darabszámú mintacsoporton végeztük. Ezeknél $D = 50 \text{ } \mu\text{m}$, $r_t = 500 \text{ } \mu\text{m}$, $\varrho_{25^\circ \text{C}} = 6,06 \text{ } \Omega\text{cm}$ volt. Egyéb adatok megegyeztek az előző mintacsoport adataival. A mérési adatok és $\varrho_{\text{számított}}$ értékeiből meghatároztuk λ értékét.

$$\lambda = \frac{R_{\text{mért}}/\varrho_{\text{számított}}(T)}{R_{\text{mért}}/\varrho_{\text{számított}}(25^\circ \text{C})} - 1.$$

A hőfokmérés tartománya $-42^\circ \text{C} + 100^\circ \text{C}$ volt. Az egyes mintákra meghatározott $\lambda(T)$ függvényt a

7. ábrán láthatjuk. A (2.10) kifejezést vizsgálva megállapíthatjuk, hogy ha az elmélet által megadott hőfüggés az egész hőfoktartományban pontosan leírja a fajlagos ellenállás valóságos hőfüggését, akkor $\lambda(T)=0$ adódna minden T -nél. A görbékben látható, hogy a szobahőmérséklet alatti tartományban ez a feltevés igen jól teljesül, a számított érték hibája kisebb mint 1%. 100 °C-nál a hiba megközelíti, esetleg kissé meg is haladja a 2%-ot. További vizsgálat szükséges annak eldöntésére, hogy ez az eltérés az elméletnél alkalmazott közelítések következménye-e vagy inkább annak tudható be, hogy a valóságos struktúrában olyan hatások is érvényesülnek, melyeket az elmélet nem vesz figyelembe (pl. felületi akkumulációs rétegben folyó többletáram).

Összefoglalás

Egyszerű fizikai modellt dolgoztunk ki a geometriai hatások figyelembevételére. A mérések és a számított eredmény összevetéséből egy korrekciós faktort határoztunk meg, az adott ρ fajlagos ellenállású szilíciumkristályból készült hőérzékelő ellenállásra

vonatkozóan. Irodalmi adatokra támaszkodva számítási módszert dolgoztunk ki $\rho(T, N_D)$ meghatározására a hőérzékelő szempontjából érdekes adalékkoncentráció és hőfoktartományban. A számításokat összehasonlítottuk mérési eredményekkel és kielégítő, sőt egyes tartományokban igen jó egyezést tapasztaltunk.

I R O D A L O M

- [1] M. Beitner, G. Tomasi: Mikroelektronischer Spreading — Widerstand — Temperatursensor Siemens Forsch.-n. Entwickl. — Ber. Bd. 10 (1981). Nr. 2, S. 65—71.
- [2] A. Petersen: Silicon Temperature Sensors. Electronic Components and Applications, Vol. 5, No. 4, Sept. 1983, pp. 206—213.
- [3] A. Raaber, Dr.-Ing.: A Silicon Spreading Resistance Sensor for Temperatures from -50 °C up to 350 °C. European Solid State Device Research Conference ESSDERC '81 Toulouse — France, Sept. 14—17. 1981.
- [4] S. S. Li, W. R. Thurber: The Dopant density and Temperature dependence of Electron Mobility and Resistivity in n type Silicon. Solid State Electronics, 1977, Vol. 20, pp. 609—616.

(Folytatás 170. oldalról.)

Heinz Fischer, Ausztria tudományügyi minisztere új mikroelektronikai és adatfeldolgozás-fejlesztési programot hozott nyilvánosságra, ezt az 1984 és 1987 közötti években kell végrehajtani. Az 1984. szeptember 1-én életbe lépő program 10 konkrét technológiai súlypontot irányoz elő. Ezek röviden a következők: félvezető-technológia, szenzorok, mikroprocesszor-technika, kommunikációs technológia, folyamatos adatfeldolgozás, számítógépes grafika és digitális képfeldolgozás, mesterséges intelligencia, tökéletesített robotgyártás, rugalmas automatizálás és számítógépes szervezés és tervezés, végül az új technológiák hatásának felbecslése a mikroelektronikában és az adatfeldolgozásban.

A fenti súlypontok további gondozásával és kifejlesztésével egy-egy kutatóintézetet bíznak meg; ezeket az intézeteket elsősorban az egyetemeken kívüli, közhasznú kutató intézmények közül választják. Az említett intézetek működésének összehangolására két tudományos intézményt alakítanak, a mikroelektronikai társaságot, valamint az osztrák számítógép társaságot.

A tervbe vett munkákhoz szükséges kutatóeszközök beszerzésére az idén 30 millió, 1985-től kezdve pedig évente 70 millió schillinget szánnak. A kutatások eredményének a gyakorlatba való átvitelére szeptembertől kezdve évente 250 millió schilling cél támogatás áll rendelkezésre. Egy vállalat évente legfeljebb 10 millió schillinget kaphat. Elsősorban olyan osztrák vállalatok jöhetnek szóba, amelyek kutató, fejlesztő és termelő tevékenységük döntő részét beföldön végzik.

(Világgazdaság, 1984. március 7.)

Manchesteri kutatók hullámhossz osztású multiplexert alkalmazó adatátviteli vonalat mutattak be. A multiplexer mind a sávok egyesítésére, mind a szétválasztásra használható. A kifejlesztett hullámhossz osztású multiplexer (WDM) sokkal olcsóbb, mint a hagyományos, sok szűrőt tartalmazó multiplexerek. Az új multiplexer kihasználja a csatolók csatolásának hullámhosszfüggését a 800...1550 nm-es

tartományon belül. A WDM rendszerben a csatolókat ugyanúgy használják, mint az egyhullámhosszú rendszerekben. Az átviteli vonalra csatolt optikai teljesítmény a leválasztási tényezőtől és a csatoló csatolási veszteségétől függ. A leválasztás mértékét a megfelelő interferencia-szűrők és a detektorok kombinációja határozzák meg. A manchesteri cég két számítógép közötti közvetlen kapcsolat modernizálására készítette el a Si-pindetektorral és LED-ekkel üzemelő, 830 nm-es hullámhosszúságú fényt használó összekötést.

(Technology News,* 1983/9.)

Az európai országok működő telefonközpontjai még mindig nagyobb részt mechanikus központok. A néhány éve megjelent elektronikus központok részese-dése még kicsi, de rendkívül nagyfokú növekedési ütemet ígérnek. Ez óriási üzletet ígér a félvezető-gyártóknak. A Mackintosh angol piackutató cég átfogó tanulmányt szentelt a telefon integrált áramköröknek és várható piacuk alakulásának az 1981—86 közötti időszakban. 1986-ra az európai piacot 1 milliárd dollárra becsüli, mely több mint felét teszi majd ki a világpiacnak és a teljes félvezető piac 15%-át jelentheti. A verseny is kemény lesz, mintegy 20 gyártó cég osztozik majd ezen az összegen. A legnagyobb sikerre azok számíthatnak, akik a távközlés terén a legátfogóbb tapasztalatokkal rendelkeznek, vagyis maguk is fejlesztenek és gyártanak telefonközpontokat és az egyes országok távközlési hatóságaival megfelelő kapcsolatokkal rendelkeznek. Ez a hazai gyártóknak előnyt jelent. Az európai helyzetre való tekintettel a cég külön köteteket adott ki néhány iparilag fejlett európai ország (Anglia, NSZK, Franciaország, Olaszország, Svédország stb.) speciális helyzete miatt. Az egyes kötetek az áramkörök piaci prognózisa mellett az érintett ország hálózatának jelenlegi felépítését és a fejlesztési elképzeléseket is ismertetik.

(Elektronik,* 1983. 19. szám)

(Folytatás 185. oldalon).

* (A Prodinform Vezetői Gyorstájékoztató alapján.)

A szocialista országok együttműködése a mikroelektronika területén

JAN GRZYBOWSKI
JERZY KUCIŃSKI
SEP

Az elmúlt éveket a szocialista országok mikroelektronika terén folyó együttműködésének dinamikus fejlődése jellemezte, vonatkozik ez különösen a számítástechnikában alkalmazott elektronikus alegységek területére.

Ez az együttműködés a KGST struktúráján belül és kívül tevékenykedő különböző nemzetközi szervezetek keretében folyik.

A KGST keretén belül a mikroelektronikai együttműködés legfontosabb fóruma a Rádió- és Elektronikai Állandó Bizottság, különösen pedig az ezen bizottságon belül működő 8. szekció.

Ez a szekció többek között a szocialista országok több oldalú együttműködésének programozásával foglalkozik az összes aktív alegységek vonatkozásában, de különösen a félvezető alegységek területén. Tekintettel arra, hogy a szekció igen széles területen (tranzistorok, diódák, tirisztorok, kis, közepes, nagy és igen nagy integráltsági fokú lineáris és digitális integrált áramkörök) koordinálja az együttműködést, a realizált feladatok eleve nem lehetnek túl részletek.

A KGST struktúráján kívül, a Számítástechnikai Nemzetközi Bizottság keretében néhány évvel ezelőtt megalakult a Mikroelektronikai Elembázis Tanács.

A Mikroelektronikai Elembázis Tanács 3 szakosított szekcióra oszlik:

1. szekció — a nagy és igen nagy integráltsági fokú mikroelektronikus áramkörök előállításához és termeléséhez nélkülözhetetlen technológiai és mérőberendezések gyártásának a KGST keretén belül történő megszervezésével kapcsolatos problémakör;
2. szekció — a nagy és igen nagy integráltsági fokú integrált áramkörök kidolgozásához és gyártásához nélkülözhetetlen különleges anyagok problémaköre;
3. szekció — a konstrukciók és technológiák kidolgozása, valamint a szükséges integrált áramkörök gyártásának koordinációja az 1. és 2. szekcióban folyó munkák eredményeinek felhasználásával.

Itt kell megemlíteni, hogy a mikroelektronika számára szükséges vegyi anyagok területén folyó együttműködésben újabban részt vesz az „Interchim”

nemzetközi szervezet, amelynek legfőbb feladata a szocialista országok vegyipari együttműködésének koordinálása.

Az együttműködés legfontosabb eredményei az alábbiak:

- a korszerű számítástechnikai eszközök fejlesztéséhez nélkülözhetetlen mikroelektronikus alegységek rendszerbe foglalt kimutatásának kidolgozása;
- a nagy és igen nagy integráltsági fokú integrált áramkörök gyártásához nélkülözhetetlen alap- és segédanyagok listájának egyeztetése;
- együttműködés az LSI és LSVI áramkörök gyártásánál alkalmazott technológiai és ellenőrző, mérő berendezések kidolgozása terén.

A fenti tevékenységek sora lehetővé teszi a szocialista országokban a fejlesztési folyamatok folytatását a mikroelektronika területén, a kapitalista országokból történő importtól való függőség lényeges csökkentése mellett. Meg kell azonban említeni, hogy az eddigi együttműködés kétségtelenül értékes és érdekes eredményei ellenére, e téren nem minden lehetőség került kihasználásra. Sőt mi több, vannak olyan területek, ahol a KGST tagállamok nemzetközi együttműködése gyakorlatilag nem kerül realizálásra. Ilyen „fehér folt” például a népgazdaság különböző ágai-
nak elektrolizálásával kapcsolatos problémakör.

E témakört az egyes országok természetesen realizálják különböző körben, különböző területen, de nincs rendszeres, programba foglalt koordinációs tevékenység, tapasztalatcsere, ipari kooperáció a tagállamok között.

Történtek ugyan a 70-es években szórványos próbálkozások az ilyen jellegű koordináció kialakítására, jelenleg azonban gyakorlatilag még fóruma sincs az együttműködésnek az elektronizáció egész problémakörére vonatkozóan.

Az együttműködés viszonylag az informatikai berendezések területén a legjobb, meglehetősen sokat ígérő a telekommunikációs elektronika fejlesztésének koordinációja. Pedig az elektronika alkalmazásának számtalan területe van még, ahol a nemzetközi együttműködés nem csak lehetséges, hanem egyenesen szükségszerű.

Itt kell megemlíteni a szerszámgépipart, az orvostudományban alkalmazott elektronikát, a feldolgozó és fémipart, a tudományos kutatóberendezéseket, a hajózási és bányaelektronikát, az energetikát, szállítást, közlekedést. Ezek azok a területek, ahol az elektronikus megoldások alkalmazása a legnagyobb gazdasági eredményekkel jár, s ahol, a hagyományos

Beérkezett: 1984. XII. 5. (H)

konstrukciós megoldások vonatkozásában, meglehetősen fejlett a nemzetközi együttműködés.

Ki kell tehát használni a meglevő kapcsolatokat és koordinálni kell a fenti ágazatok fejlesztési elképzeléseit az elektronika fejlesztési programjával a szocialista tábor összes országában. A legalkalmasabb fórum e kérdés megvitatására a tagállamok elektronizálással foglalkozó szakembereinek találkozója lenne.

A bizottság munkaterve négy témakört ölel fel:

1. Fejlesztés és tervezés (javasolt koordinátor: ČSVTS — Csehszlovákia)
2. Technológia és berendezések (javasolt koordinátor: VSZNTO — Szovjetunió)
3. Anyagok (javasolt koordinátor: NOT — Lengyelország)
4. Oktatás és alkalmazás (javasolt koordinátor: KDT — NDK).

Az anyagok témakörében kidolgozásra került a nemzetközi együttműködés terve, mely tartalmaz többek között e témának szentelt szemináriumokat is. A munkaterv keretében 1983 szeptemberében Lengyelországban került sor a Monokristályok és folyadékkristályok fizikája c. szemináriumra, melyen részt vettek a Magyar Népköztársaság szakemberei. 1984 októberében szintén Lengyelországban tartották a kerámia az elektronikában témakörnek szentelt szimpóziumot.

Jelenleg előkészületek folynak az 1985-ben, Lengyelországban megtartandó, nemzetközi mikroforrasztási iskola megszervezésére.

A lengyel Műszaki Szervezet (NOT), különösen pedig az ennek keretében működő Lengyel Villamosmérnökök Társasága (SEP) nagy jelentőséget tulajdonít a mikroelektronika területén folyó tevékenységnek és az ezen témakörben folytatandó nemzetközi együttműködésnek. A FENTO Mikroelektronikai Bizottsága programjának realizálása során a lengyel fél fogadta több szocialista ország tudományos-műszaki szervezeteinek képviselőit szakmai tapasztalatszere céljából. A Lipcsei Nemzetközi Vásár alatt tucatnyi előadásra került sor a lengyel mikroelektronika és annak alkalmazása témakörében, a magyarországi lengyel elektrotechnikai napok keretében a lengyel mikroelektronika különös hangsúlyt kapott. Az együttműködésnek ez a formája különösen hasznos, mivel lehetővé teszi, hogy a szakmai információk eljussanak a szakemberek széles köréhez.

Bolgár kollégáink tájékoztatója szerint 1983-ban a bolgár országos elektronikai és mikroelektronikai szekcióból kivált a mikroelektronikai technológia szekciója, ami kétségtelenül azt bizonyítja, hogy jelentősen megnőtt az érdeklődés e téma iránt. A bolgár NTSZ és a többi szocialista ország tudományos-műszaki szervezetei közötti együttműködésben fontos szerepet játszanak a mikroelektronika témakörében szervezett kétoldalú szemináriumok. Eddig ilyen szemináriumra a lengyel NOT-tal és az NDK-beli KDT-vel került sor. Ilyen szemináriumot gyakorlatilag minden évben rendeznek, egyedül a szemináriumot szervező ország változik. Az eddigi gyakorlat

szerint a szemináriumon 5 szakember vesz részt a partner országból előre egyeztetett referátumokkal, míg a szervező ország a maga részéről mintegy 60–70 szakember részvételét biztosítja. Ezeken a szemináriumokon az alábbi témák kerülnek megvitatásra: technológia, konstrukció, ellenőrzés, üzembiztosság, illetve a mikroelektronikával kapcsolatos sok más kérdés. Bolgár kollégáink véleménye szerint az együttműködésnek ez a formája bevált, tehát folytatni és fejleszteni kell.

NDK-beli kollégáink a FENTO Mikroelektronikai Bizottsága tevékenységének keretében szimpóziumot szerveztek a mikroelektronika alkalmazása témakörében. Erre a Lipcsei Nemzetközi Vásár alatt került sor.

Magyar kollégáink a közös szimpóziumok, nyári iskolák stb. szervezése feltételeinek egyértelmű megfogalmazását javasolják. A HTE szakkonferenciát javasol a korszerű mikroelektronikai oktatás témakörében, s egyidejűleg bejelentette, hogy kész egy ilyen konferencia megszervezésére 1986-ban. A HTE álláspontja az, hogy a FENTO Mikroelektronikai Bizottsága munkájában részt vevő országok mérlegeljék egy elektronikai szakfolyóirat kiadásának lehetőségét évenként egyszeri alkalommal, valamilyen világnyelven. Ez lehetővé tenné, hogy a szocialista országok szakemberei kölcsönösen megismerjék egymás eredményeit. Úgy tűnik, hogy Lengyelországban lehetőség van egy ilyen folyóirat kiadására, amennyiben a többi szocialista ország kész segítséget nyújtani a cikkek és cég hirdetések biztosítása terén, ugyanis az utóbbinak alapvető jelentősége van a folyóirat finanszírozása szempontjából.

A szocialista országok tudományos-műszaki szervezetei mikroelektronikai együttműködésének fenti bemutatása nem lenne teljes, ha nem említenénk meg a két évenként megrendezésre kerülő Mikroelektronika konferenciákat.

Az első ilyen közösen rendezett konferencia 1978-ban NDK-ban, majd 1980-ban Lengyelországban, 1982-ben Magyarországon és 1984-ben Csehszlovákiában került megszervezésre. A következő Mikroelektronika konferencia Bulgáriában lesz 1986. okt. 23–25. között Plovdivban Elektronika alkalmazása a népgazdaságban alcímmel.

A konferencián az alábbi szekciók megtartását javasolták:

1. Elektronikus alkatrészek fizikája és technológiája
2. Mérés problémaköre
3. Berendezésorientált áramkörök
4. Megbízhatóság.

Annak a meggyőződésünknek kell kifejezést adnunk, hogy a FENTO tagjainak együttműködése pozitívan fog fejlődni az országaink népgazdasága szempontjából oly fontos területen, mint a mikroelektronika. Ez azonban csak akkor lehetséges, ha a szocialista országok egyes tudományos-műszaki szervezetei a jövőben egyformán veszik ki részüket ebben az együttműködésben.

Nagybonyolultságú monolit integrált áramkörök készí­ tési technológiájában felhasznált különleges minőségű anyagokkal szemben támasztott mennyiségi és minőségi igények várható változása az évezred végéig

DR. HANGOS ISTVÁN — CSERTEG ISTVÁNNÉ
Mikroelektronikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők áttekintést adnak a nagybonyolultságú integrált áramkörök (LSI) készí­ tési technológiájánál felhasznált különleges segédanyagokkal szemben támasztott követelményekről, és ezek változásairól, figyelembe véve a már említett technológiába bekövetkező változásokat az évezred végéig.

Megállapítják, hogy a kapható technológiai változások következtében az LSI áramkörök gyártásának mennyiségi növekedése ellenére sem várható a technológiában használt segédanyagok mennyiségének növekedése. A minőségi követelmények a legtöbb anyag esetén — egyes esetek kivételével — valószínűleg nem változnak, néhány esetben jobb minőségű anyagok szükségesek, egyes esetekben minőségi engedmények is várhatók.

1. Bevezetés

Egy előző közleményünkben [1] felvázoltuk azokat a várható technológiai változásokat, melyek a nagybonyolultságú monolit integrált áramkörök készí­ tési technológiájánál várhatóak az évezred végéig. Ezen változások során, egyrészt egy sor új berendezés megjelenése, illetve a már meglevő berendezések továbbfejlesztése várható, másrészt az eddigi „hagyományos” technológiában használt különböző anyagokkal szemben támasztott minőségi követelmények, valamint azoknak a technológiában való mennyiségi szükségletei is változni fognak sokkal rohamosabban, mint azt a jelenlegi helyzet alapján általában képzelik. Egyes anyagféleségekből az igény várhatóan rohamosan csökken, másokkal szemben új minőségi igények jelentkeznek, és egy sereg új anyag megjelenése várható. Alábbi összefoglalásunkban megkíséreljük vázolni a várható tendenciákat a már említett közleményben feltüntetett perspektívák alapján — természetesen a teljesség igénye nélkül — azért, hogy az említett anyagok termelésének felfuttatásánál ezt figyelembe lehessen venni.

Megjegyezzük, hogy ezen problémákkal a fejlett tőkés országokban is csak nemrég kezdtek foglalkozni, de a probléma fontosságára és gazdasági kihatására való tekintettel a speciális témát már két nemzetközi szimpóziumon is tárgyalták [2–9].

2. A technológiai infrastruktúra következtében várható változások

Az áramkörök bonyolultságának fokozásával részben a gyártás megbízhatósága, részben annak emelkedő kihozatala miatt rohamosan nő a technológiai infrastruktúra szerepe [1, 4, 5]. E kifejezés alatt

DR. HANGOS ISTVÁN

1950-ben fejezte be egyetemi tanulmányait az Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karán, ahol okleveles vegyész képesítést nyert. 1958-ban a műszaki tudományok kandidátusa, 1960-ban a vegyészdoktori, 1974-ben a műszaki tudományok doktora tudományos fokozatokat szerzett meg. Jelenleg a Mikroelektronikai Vállalatnál tanácsadó. Az elmúlt 33

évben elsősorban félvezető anyagokkal, egykristálykészítéssel, nagy tisztaságú anyagok készítésével és félvezető eszközök készítésével foglalkozott. Foglalkozott ezenkívül még fém-kerámia kötésekkel, halogén töltésű izzólámpákkal és katódsugárcső-technológiával is. A fenti témákban 80 tudományos közleménye jelent meg, ezek közül kb. 30% idegen nyelven, ezek döntő többsége nívós nyugati folyóiratokban.

azon körülményeket foglaltuk össze, melyek között a gyártás történik, bármilyen nagybonyolultságú áramkörökről legyen is szó. Ennek technológiai berendezés vonzatán kívül néhány alap- és segédanyaggal szemben is várható minőségi követelmény szigorítás.

Legelső és talán legfontosabb a gázokban, illetve a vegyszerekben levő lebegő szilárd anyagok minél nagyobb mértékű eltávolításának lehetősége, melyet a hétköznapi technológiai nyelven szűrésnek neveznek.

A gázok megtisztítása a lebegő szennyezésektől már a jelen technológiáknál is különleges szűrőkkel történik [10, 14]. Míg azonban az 1978-as technológiai világszint e tekintetben a gáztereket három osztályba sorolta, ez a helyzet már napjainkra is jelentősen megváltozott, ahogy azt az 1. táblázat is szemlélteti [10, 14].

1/a táblázat

USA 209 szerinti osztály	Szűrő	Szemcseszám, db/m ³					
		0,48	0,35	0,24	0,25	0,15	0,12
100	Legjobb LSI HEPA max.	3500	70 000	14 000	20 000	52 500	140 000
10	VLSI HEPA max.	350	700	1 200	2 100	5 250	14 000
0	VLSI Flanders	0	0	0	0	350	700

Beérkezett: 1984. XII. 5. (Λ).



**CSERTÉG
ISTVÁNNÉ**

A Veszprémi Vegyipari Egyetemen szerzett vegyész-mérnöki oklevelet 1968-ban. Az Egyesült Izzó fényforrásfejlesztési főosztályán dolgozott 1982-ig, ahol első-sorban a gázkisültszövek

kémiájával foglalkozott. Jelenleg a MEV félvezetőfejlesztési főosztályán dolgozik, fő feladata a mikroelektronikában használt nagy tisztaságú vegyszerek alkalmazásával kapcsolatos szakmai és technológiai problémák tisztázása.

Ez azt jelenti, hogy 1984 elejére technológiailag megvalósították az eddigi 100-as osztályozáshoz képest [12, 13] a „nullás” osztályozású tiszta gázteret [14], mely a gyártás kihozatalát nagymértékben növeli. Mivel a VLSI gyártásnál a jelenlegi vonalszélesség 1 μm körüli, a térközök pedig 0,5 μm nagyságrendűek, ez egyúttal biztosítja a tűrhető kihozatalt is, amennyiben ezt a tisztasági fokot a gyártás folyamán minden gázban és minden techno-

1/b táblázat

**Az LSI és VLSI vegyszereknél megengedett
lebegő szennyezők koncentrációja
db/100 ml egységekben [23]**

1 μm	5 μm	10 μm	15 μm
LSI 00 nincs adat	152	nincs adat	27
LSI 0 nincs adat	304	nincs adat	54
LSI 1 nincs adat	609	nincs adat	109
LSI 2 nincs adat	1217	nincs adat	217
LSI 3 nincs adat	2432	nincs adat	432
VLSI I 6400	256	64	0
VLSI II 12 800	512	128	0
VLSI III 25 600	1024	256	0
VLSI IV 51 200	2048	512	0
VLSI V 102 400	4096	1024	0

lógiai műveletnél meg tudjuk őrizni. Ez utóbbi azonban nagy részben a használt berendezések rendszerétől, felépítésétől és szerkezeti anyagaitól függ. Megjegyezzük, hogy e tisztaság elérését és ellenőrzését a lézeres szemcsemeghatározási módszer nagymértékű fejlesztése tette lehetővé.

Hasonló a helyzet a folyékony vegyszerekkel is, ahogy azt az 1b táblázat mutatja [23]. Itt azonban két nehézséggel kell számolni. Az első tulajdonképpen a technológusok gondjának könnyítését teszi lehetővé, és ez a nagytisztaságú víz problémája. Ezen a téren a nagy mennyiségben igen jó minőségű vizet előállító berendezések már kialakultak [5], a ma legmodernebb típus a fordított ozmózis elven működő kettős ioncserélő recirkuláló rendszer. Ez

18,3 MOhm-os vizet képes folyamatosan előállítani (20 °C-on) gyakorlatilag lebegő szennyezések nélkül. Itt az eddigi nívóhoz képest jelentős fejlődés nem várható, mert a felhasználók a végfokozatban az eddig ismert legjobb olyan szűrőre is áttértek 1980-ban (0,20 μm -es abszolút szűrő), mely még nem okoz víztechnológiai nehézségeket, viszont a baktériumokat is kiszűri. Az ilyen víz a VLSI áramkörök elfogadható kihozattal történő gyártását már lehetővé teszi. Ez a tény, valamint az, hogy a szilícium egykristály lemez gyártó cégek ma az egykristály lemezeket tökéletes és minden szennyezéstől mentes felülettel hermetikusan szállítják, szükségtelenné tette a már említett különleges berendezések, pl. dörzsmosó vagy „water-knife” alkalmazását, és megfelelő mikroklíma [10] esetén a felület állandó tisztasága egészen a végső műveletekig biztosítható. Annál nagyobb gondot okoz ma még technológiai szempontból a folyékony vegyszerek lebegő szennyezésektől való megtisztítása, miután a már említett vízszűrők anyaga nem korrózióálló. A kérdés ugyan elvben megoldott, mivel a nedves szűrő gyártó cégek rendelkeznek olyan 0,2 μm -es pórusméretű korróziós vegyszereknek ellenálló (teflonhártyából készült) abszolút szűrőkkel, melyeken a vegyszerek megsűrűsödnek.

Ugyancsak megoldott a szűrők szerkezeti anyag problémája is. Ezek a szűrők azonban meglehetősen drágák. A probléma egyrészt az, hogy a szilárd részecskék folyamatos és biztos meghatározása folyékony közegben a már említett lézeres módszer segítségével is csak 1 μm szemcseméret felett lehetséges biztosan az az alatti szemcseméretekre vonatkozó pontos információkat csak egy újólagos szűrés és a szűrőn fennmaradt szemcsék elektronmikroszkópos vizsgálata adhat. Ez viszont időt rabló, drága, és csak nehezen automatizálható. A probléma másik része az, hogy az előbbi okból kifolyólag igen nehéz megállapítani, hogy az eredetileg szűréssel megtisztított oldat a technológiai folyamatok közben mikor és mennyire szennyeződik el részecskékkel. Így a biztonságos megoldás inkább az, hogy a vegyszereket közvetlenül a felhasználás előtt a gyártóhelyen zárt edényekbe szűrik [2], és onnan szűrt préslevegő segítségével továbbítják a felhasználás helyén levő tartályba. Ezen módszer alkalmazása azonban a gyártó helyen a felhasznált szűrőmennyiség jelentős növekedésével, illetve a berendezések egyszeri jelentős beruházásával van összekötve. Miután csak ez utóbbi módszer nyújt garantált biztonságot, az évezred végére valószínűleg ez a módszer fog elterjedni, a szűrt vegyszerek iránti igény csökken, ugyanakkor a szűrőberendezések és szűrőanyagok iránti igény nő.

3. A fotolitográfiában alkalmazott módszerek változásából következő változások

Mint láthattuk [1], a jelenlegi fotolitográfiai eljárások az 1980. évi színvonalhoz képest az évezred végéig nagy valószínűséggel számtalan technológiai és berendezésbeli változás előtt állnak. Ezek a változások egyrészt az elektronlitográfia valószínű elterjedése, másrészt a plazmatechnológia általános alkalmazása irányába mutatnak technológiai szempont-

ból. Így az anyagigények változása is olyan irányban várható, hogy egyrészt a fotolitográfiában alkalmazott lakkokkal szemben támasztott követelmények fognak módosulni (elektronérzékenység, plazmaállóság, könnyű eltávolíthatóság plazmagázzal stb.), másrészt a felhasznált vegyszerek is a plazmatechnológia irányába fognak eltolódni, ahogy arra még kitérünk. Ma még nem látható, hogy a közvetlen, vagyis a fényérzékeny lakkréteg nélküli litográfia mennyire fog tért hódítani, az azonban már látszik, hogy a röntgenlitográfia valószínűleg nem lesz olyan nagy jövőjű, mint azt öt évvel ezelőtt jósolták (maszkprobléma) [1]. Ami az oldószereket, előhívókat és rögzítő oldatokat illeti, ezeknek megváltozását a fotolitográfiához használt fényérzékeny fotólakk anyagának megváltozása szükségképpen magával fogja hozni.

4. Nedves kémiai eljárások

Ide soroltuk mindazon műveleteket [1], ahol az egykristály szelet felülete folyékony halmazállapotú anyagokkal érintkezik. Ezen műveletcsoporttal kapcsolatban alapvetően a jövőre nézve a következő főbb megállapításokat tehetjük:

- A már említett okok miatt az összes folyékony állapotú anyag szilárd lebegő szennyezésektől való megszabadítása már most elsőrendű fontosságú, és ez a jövőben még nagyobb jelentőségű lesz.
- Minden olyan folyékony anyagnál, mely a szilícium egykristály felületével közvetlenül érintkezik (pl. víz, fluorsav, ammóniumfluorid stb.), a technológiai követelmények megszigorításával és a minőség egyenletességének követelményével kell számolnunk.
- Minden olyan vegyszernél, mely csupán az egykristály lemez felületén képzett oxidréteg feletti rétegre hat, a jelenlegi követelmények kielégítőnek látszanak a szilícium-dioxid réteg maszkoló hatása miatt. Kivételt képez az az eset, amikor MOS áramkörök esetén a vegyszer a „gate-oxiddal” érintkezik. Ez esetben az alkáli fém tartalmat valószínűleg 0,1–0,01 ppm értékig kell csökkenteni, ami csak megfelelő csomagolóanyag biztosításával lehetséges [2, 6, 7, 8, 9].
- A klasszikus nedves kémiai módszerek használatának csökkenésével vagy éppen elmaradásával kell számolnunk a plazmatechnológia fokozott alkalmazása miatt (lásd később), ami egyes vegyszerek szükségletében drasztikus csökkenést fog okozni.
- A nedves felületek megszáritására minden esetben olyan módszereket fognak alkalmazni, melyek a felületen idegen szilárd szennyezők ráakódását meggátolják.

Összességében a fentiek alapján tehát azt mondhatjuk, hogy az évezred végéig a nagytisztaságú víz és az oldószerek kivételével folyékony vegyszerek alkalmazásának jelentős csökkenésével kell számolnunk.

5. Plazmakémiai eljárások

A száraz úton (gáz- vagy gőzfázisból) végrehajtott eljárások közül kiemelten kell kezelnünk a plazmakémiai eljárásokat, melyek célja akár egy-egy réteg felvétele, akár annak eltávolítása lehet plazmakészülékkel aktivált gázfázis segítségével. Ennek oka nemcsak az, hogy ez az eljárás fejlődött 1970–1980 között a legrohamosabban a technológiai eljárások közül, hanem az is, hogy használatával egy sor olyan technológiai problémát is megoldhatunk, melyek a klasszikus nedves eljárásoknál csak igen nehezen vagy egyáltalán nem oldhatók meg. Az eljárás fejlődésével 1978-ig részletesen két korábbi közleményünkben [17, 18] foglalkoztunk, és arról ez idáig több értékes monográfia jelent meg [19, 20]. A fejlődés még most is olyan rohamos, hogy ezzel kapcsolatban nagy számú közlemény jelenik meg állandóan, és a legutóbbi svájci nemzetközi félvezető technológiai kiállításon rétegtávolítási és rétegfelviteli eljárásként szinte egyeduralkodónak látszik [16].

A plazmás eljárás elvben a gáz–szilárd heterogén reakciókon alapszik (ellentétben a klasszikus marási eljárásokkal, ahol folyékony–szilárd heterogén reakciók játszódnak le) és azzal jellemezhető, hogy bár a plazmakisülés révén a gázban átmenetileg keletkezett reaktív vegyületek vagy gyökök esetleg a többmillió fokos gázban keletkező anyagok mennyiségének és minőségének felelnek meg, mégis a gáz, illetve szilárd felület hőmérséklete a 100–200 °C tartományban marad. Az eljárásnál olyan reakciókat használunk, ahol a keletkezett termékek (marásnál) is gáz alakúak, csak úgy, mint a szilárd fázisban levő komponensek, a rétegtévesztési eljárásnál a szilárd fázis vagy magában a gáz fázisban vagy az alaplemez felületén keletkezik, és így igen egyenletes réteget kapunk.

A plazmás eljárás általános kémiai reakcióegyenletét sematikusan a következőképpen írhatjuk le: Marásnál



míg a rétegtévesztésnél az



típusú plazmareakciót használjuk. Az (sz) és a (g) halmazállapotra, az x jelölés a gerjesztett állapotra utal, míg R_1 és R_2 különböző típusú, a plazmakisülés által gerjesztett reaktív gyök vagy vegyület. A kezelendő felület legfelső rétegének anyaga F .

Mivel a plazmagerjesztés által előállítható reaktív anyagok mennyisége és minősége a plazmás technológia paramétereinek változtatásával igen széles skálán belül variálható és automatizálható, a technológia rendkívül rugalmas, sőt, ha az [1], illetve [2] reakciókban levő bármelyik vagy mindegyik komponensnek elektromos töltést biztosítunk, akkor megfelelő nagyságú elektromos erőteret alkalmazva a reakciót irányíthatjuk, ellentétben akár a klasszikus eljárásokkal, akár a nem plazmagerjesztésű gáz–szilárd heterogén reakciókkal, ahol ez elvileg sem lehetséges.

Az elmondottakból számunkra az alábbi lényeges megállapítások következnek:

- Miután az eljárást zárt térben előzőleg megszűrt gázokkal visszük végbe, a lebegő szennyezések problémája automatikusan megoldódik.
- A gáztérben lefolyó kémiai reakciók a plazmakisülés miatt csökkentett nyomáson minden szempontból sokkal előnyösebbek, és kevesebb vegyszer kívánnak.
- A reakciókomponenseknek a felülethez, illetve a felületről való diffúziója sokkal nagyobb (a csökkentett gáznyomás és koncentráció miatt), és az egész reakció a gázkeverék alkalmas megváltoztatásával optimalizálható, automatizálható és a marás (leválás) sebessége konstans értéken tartható.
- A készülékbe bevezetett és onnan kilépő termékek gáz alakúak lévén a folyamat környezet- és egészségvédelmi szempontból sokkal könnyebben kezelhető, főleg akkor, ha figyelembe vesszük a szükséges mérgező vegyületek koncentrációját és mennyiségét [17–20].
- A nedves mosási és tisztítási eljárások nagy része elhagyható.
- A felhasznált anyagok mennyisége és minősége, valamint koncentrációja a klasszikus eljárásokhoz képest kisebb.
- A technológiai reakció iránya és mértéke befolyásolható, ami lehetővé teszi az ún. harmadik dimenzió [1] kihasználását, vagyis pl. meredek falú, egyenletes mélységű „árkok” vagy egyenletes rétegek készítését.

Mivel az eljárás elvileg is más úton éri el ugyanazt a célt, mint a klasszikus eljárások, természetesen elvileg is másfajta összetételű, halmazállapotú, koncentrációjú és minőségű anyagokat használ. Összehasonlításként — a teljesség igénye nélkül — bemutatjuk a 2. táblázatot, ahol az egyes, ma már üzemszerűen használt technológiai műveletek plazmás és klasszikus megfelelőjét állítottuk szembe egymással.

A táblázatból azonnal látható, hogy a plazmatechnológia általánossá válásával — ami a VLSI-technológia művelésének elengedhetetlen feltétele — a technológiai folyamatokban használt anyagok minősége és mennyisége jelentősen változni fog. Főleg igaz ez a nagy tisztaságú maró anyagok esetén, melyek iránt az igény nagymértékű csökkenése várható az évezred végéig. Ugyanakkor egyre újabb és újabb klórozott és fluorozott szénhidrogének használata várható, főleg a gáz halmazállapotúak vagy a nagy gőznyomású folyadékok területén. E növekedés azonban nem lesz mennyiségi, hanem inkább minőségi, vagyis többféle anyagból egyenként és összességében sokkal kevesebbet használnak majd. Ugyancsak várható a minőségi követelmények megváltozása: egyes esetekben szigorodása (főleg a gáz halmazállapotú szennyezők esetén), más esetekben enyhülése. (Pl. olyan nehézfémekkel szemben, melyeknek gáz halmazállapotú komponensei nincsenek, jelentős minőségi engedményeket tehetünk.) A gázokat „vivő” nem reaktív gázok (Ar, Ni, He stb.) mennyisége várhatóan nő, a minőségükkel szemben támasztott követelmények azonban lényegesen nem változnak majd (az 5N tisztaság már ma is majdnem általános).

A plazmás eljárásokkal ma üzemszerűen csak két eddigi klasszikus művelet nem helyettesíthető biztonsággal: a szilícium-dioxid réteg marása szilícium alapon (ablaknyitás), illetve az ún. MOS-oxid készítése. Ezt figyelembe véve az évezred végéig az ehhez a művelethez szükséges folyékony fluor-tartalmú vegyületek mennyiségében és minőségében változás alig várható, a MOS-oxid létesítéséhez pedig főleg a későbbiekben említendő klasszikus gáz-szilárd heterogén reakcióra számíthatunk.

A plazmás rétegleválasztások területén a szilícium-nitrid készítése ma már a modern eljárásoknál bevett gyakorlat, azonban az ún. védőüvegek, valamint poliszilícium réteg készítésénél a kérdés ma még egyértelműen nem dőlt el a plazmás eljárás javára. A 2. táblázat adataiból viszont az következik, hogy az évezred végére a salétromsav, a hidrogénperoxid és kénsav mennyiségének jelentős csökkenése várható, az első kettő — döntő módon — a fotoreziszt réteg eltávolításának egyértelmű plazmatechnológiai megoldása miatt. Miután az elektronlitográfia bevezetése — valószínűleg — a króm-maszk felhasználás csökkenéséhez is vezet majd, a krómozott üveglemezek marásánál felhasznált klasszikus technológiai és plazmás vegyszerek mennyiségének csökkenése, illetve az előbbieket használatának teljes megszűnése várható.

6. Diffúzió és ionimplantáció

Mint említettük [1], az ionimplantáció az 1980-as évek technológiája, egyelőre azonban még maszkos kivitelben. Teljes körű bevezetése csupán egyszerűbb eszközöknél nem indokolt. Ezért nem valószínű, hogy a transzportreakciós diffúziós eljárásoknál előrelépés következik be, de használatuk még az 1990-es évek közepéig biztosan fennmarad.

Az ionimplantációs eljárás elterjedése miatt új anyagok szükségesek, melyek a kiválasztott technológia szerint vagy gáz halmazállapotú vegyületek (kloridok, fluoridok) vagy nagy gőznyomású szilárd anyagok. Miután azonban az implantor elvileg is szennyezés-szelektíve működik, az anyagokkal szemben támasztott minőségi követelmények enyhítésére valószínűleg mód nyílik. Itt csupán azon szennyezéseknél nem várható enyhülés, melyek a berendezést belsőleg elszennyezhetik. A maszk kérdése, vagyis a maszk nélküli „ion writing” eljárás bevezetése még az évtized végéig általánosan nem várható, így maszkoló anyagra és litográfiára itt is szükség lesz.

7. Rétegleválasztási módszerek

A korszerű rétegleválasztási módszerek ma már a gáz-szilárd heterogén kémiai reakciókon alapulnak. A réteg minősége szerint kétféle típusú eljárást tárgyalhatunk: az ún. epitaxiális egykristály rétegnövesztést és a szigetelőrétegeket. Tárgyalhatnánk még a fotoreziszt rétegeket is, melyekkel azonban a 3. pontban már részletesen foglalkoztunk.

Az idesorolt rétegek a korszerű technológiákban a következő tulajdonságokkal rendelkezhetnek:

- különböző tulajdonságú polikristályos rétegek,
- félvezető tulajdonságú polikristályos rétegek,
- szigetelő tulajdonságú polikristályos rétegek,
- fémrétegek.

A fémrétegek készítését külön fejezetben tárgyaljuk.

Az igen jól reprodukálható, elektromos szempontból definiált tulajdonságú szilícium-dioxid rétegeket (ún. MOS-oxid) nem szükséges tárgyalnunk, mert ezek ma ismert legjobb előállítási módja a szilícium egykristály felületének definiált körülmények között történő termikus oxidációja.

Az epitaxiális szilíciumrétegek előállítására olyan kiforrott technológiák állnak rendelkezésre, hogy a meghatározott tulajdonságú (vastagság, vezetési típus, fajlagos ellenállás, egyenletesség, kristályhibák stb.) epitaxiális rétegekkel ellátott egykristályszeletek kereskedelmileg beszerezhetők, s így általában nem is szükséges azokat a technológiai folyamatban előállítani.

Mint említettük [1], a kémiai rétegleválasztás az epitaxiális rétegleválasztás kivételével az 1990-es évekre az LPCVD és a PCVD irányába tolódik el. Az ebből eredő változásokat vegyszerek területén a 3. táblázatból olvashatjuk ki:

Sorszám	Eljárás	Nyomás	Használt gázok
1.	CVD	atm.	SiH ₄ /v; PH ₃ /v; AsH ₃ /v; B ₂ H ₆ /v; NH ₃ ; NO ₂ ;
2.	LPCVD	csökken- tett	SiH ₄ ; PH ₃ ; B ₂ H ₆ ; N ₂ ; O ₂ ;
3.	PCVD	csökken- tett	SiH ₄ /v; N ₂ ; B ₂ H ₆ /v; O ₂ ; H ₂ ; A;

ahol „v” a vivőgázt jelenti, mely semleges gáz vagy hidrogén.

Ezenkívül várható részben az epitaxiális eljárásnál, részben másutt is az SiCl₄, illetve monoszilán helyettesítése diklórszilánnal. Ennek következtében egyes esetekben a felhasznált nagy tisztaságú sósav-gáz mennyisége csökken, a minőségi igények viszont nem. A mennyiségi igények a PCVD on-line változatában növekedni fognak a zsilipelések miatt, főleg a semleges gázoknál, a minőségi igények viszont valószínűleg nem változnak.

8. A vezetőréteg felvitele

A ma már hagyományosnak mondható tiszta és ötvözött alumínium rétegek megmaradása mellett magas olvadáspontú fémek és azok vegyületei, illetve ötvözetek kellenek majd. (Wo, Mo, Ta, Ti, Cr, Ni, szilicidok stb.) Ezekből lényeges mennyiséget azonban az évezred végéig nem várhatunk a technológiában, de megjegyezzük, hogy a különböző szilicidok rohamosan terjednek.

A vezetőrétegek felvitelének módja ugyan megváltozik (magnetronos porlasztás), de ez az anyag-

választékot és az azzal szemben támasztott műszaki követelményeket nem befolyásolja, ha csak azt nem tekintjük, hogy a fenti anyagokból nemcsak huzalok és granulátumok, hanem meghatározott alakú formadarabok (targetek) is szükségesek.

Várható még egyes esetekben a túladalékolt (vezető) szilícium polikristály rétegek alkalmazásának növekedése a fém vezetőrétegek mellett. Ennek felviteli módja az előzőekben tárgyalt LPCVD-módszer. Várható ezenkívül a többszintű fémzési rendszerek, illetve a speciális konstrukciók elterjedése is.

9. Szerelés, tokozás

Lényeges változás ezen a téren egy évtizeden belül csak abban várható, hogy a szerelőszalagnak jelenleg használt 42% Ni-tartalmú vasötvözetet — ahol csak lehet — annál sokkal olcsóbb vastartalmú réz-, illetve ezüsttartalmú rézötvözet fogja kiváltani. Ez a folyamat már az egész világon megindult, és egyik jelentős gátja csupán az, hogy a tokozási folyamatnál, illetve az azt követő galvanizálásnál problémák mutatkoznak, amelyek azonban nem jelentősek. A többi anyaggal kapcsolatos minőségi követelmények változása a szerelés esetén nem várható.

Mint említettük, a kivezető arany mikrohuzalok helyettesítésére arany-palládium ötvözzel vagy arany-szilícium mikrohuzalokkal intenzív munka folyik, de a technológiai problémák olyan jelentősek, hogy ezek eredménye még nem teszi lehetővé az arany teljes vagy részleges kiváltását, és ma nem lehet megjósolni, hogy ez a folyamat mikor válik majd rohamossá. Nagy valószínűséggel ez a kérdés azonban az évezred végéig megoldódik, vagyis az aranyhuzalokat az arany-tartalmú mikrohuzal ötvözetek vagy alumínium-tartalmú mikrohuzal alkalmazása mellett technológiai kiváltás fogja pótolni, ultrahangos módszerrel, de esetleg anélkül is.

A tokozóanyagok területén a kerámia és a fémüveg-toknál változás nem várható. Mindkét tokozási forma alkalmazási területéről már tettünk említést, ezeken a helyeken — valószínűleg — ugyanezeket fogják alkalmazni. Lényeges változás várható azonban a műanyag tokok területén.

A jelenleg használt tisztán epoxi-alapú tokozógyanták minősége ma megfelelő, de tömegesebb gyártásuk esetén áruk olcsóbb lesz. Jelenlegi ismereteink szerint a szilikon és epoxi összetett tokozóanyagokkal folytatott amerikai kísérletek nem váltották be a hozzáfűzött reményeket. Ugyanez vonatkozik a tisztán szilikon-alapú tokozóanyagokra is, melyeknek gázáteresztő képessége és a kivezetőkhöz való elégtelen tapadása a félvezető eszköz élettartama szempontjából nem előnyös. A legutóbbi kísérletek arra irányulnak, hogy a szilikon fröccsajtoló anyagok tulajdonságait olyan módon változtassák meg, hogy azok a fenti két problémát kiküszöböljék. Amennyiben ez sikerül — és ez az 1990-es évek közepére várható üzemileg —, úgy az évezred végéig az ilyen tulajdonságú szilikon fröccsajtoló anyagok valószínűleg részben vagy teljesen kiszorítják az epoxi tokozóanyagokat. Azt azonban, hogy ez az „áttörés” mikor következik be, pontosan igen nehéz volna megmondani.

Az elmondottakból látszik, hogy ha nagy bonyolultságú monolit integrált áramkörök készítése technológiájában használt különleges minőségű anyagokat tekintjük, annak ellenére, hogy várhatóan ezen áramkörök termelése és felhasználása rohamosan emelkedik, minden egyes ma használt anyagra nézve ez a tendencia nem érvényes.

A változások egyik lényege az, hogy az igények nagymértékben növekedni fognak a tiszta munkaterekkel és az infrastruktúrával kapcsolatos anyagokkal szemben (szűrők, víz, lebegő szennyezések stb.). Ugyanekkor az is látható, hogy a technológiában felhasznált vegyszerek egy részének használata csökkenni fog, különösen vonatkozik ez a „klasszikus” kémiai szelektív marások tekintetében, más részükénél a minőségi követelmény fog megváltozni, mint pl. a fotorezisztéknél. Lesznek olyan anyagok is, melyeknek szükséglete állandó marad, de minőségi követelményük (pl. koncentrációjuk a vivőgázban vagy tisztasági fokuk) változni fog. Nagy valószínűséggel a tiszta fémekről az adalékolt polikristályos szilíciumra, illetve a nitrídekre való fokozott áttérés várható, ezért az előbbiek felhasználása a növekvő gyártás ellenére is konstans marad, az utóbbiaké pedig ma még nehezen jósolható mennyiségben és minőségben nő.

Egészen biztos a plazmakémia és az ionimplantáció térhódítása, ezért erre a célra új típusú, főleg gáz halmazállapotú vagy alacsony forráspontú vegyületeket fog használni az ipar.

A szerelési és tokozási eljárások valószínű módosulása következtében a tiszta szilikon-alapú tokozóanyagok szerepe a jelenlegi minőségben csökken, a hibrid (epoxi- és szilikon keverék előretörése nem várható, ellenben új típusú, esetleg felületileg kezelt szilikonvegyületek vagy más tokozóanyagok felhasználása az évszázad végéig egészen biztosra vehető. Ugyanez vonatkozik a szereléshez használt anyagokra is, különösen a mikrohuzalokra. Mivel ez utóbbiak nem tartoztak közleményünk tárgyába, erről részletesebben nem is szoltunk.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak Glaser Péter munkatársuknak a munka során kifejtett diszkusszióért és hasznos tanácsokért.

- [1] *Hangos I.*: A nagytisztaságú monolit- és hibrid-áramkörök előállítási technológiájának legfontosabb fejlődési irányai. *Híradástechnika*, 34, 8–9, 407–419.
- [2] *Klire, S. D.*: Electronic Chemicals in Western Europe. *Manufacturing Chemists*, 1983. márc. 62–65. old.
- [3] *Schwerzel, R. E.*: New Materials for Electronics and Electrooptics, Some Speculations and Peck into Futures, Chemicals and Materials for Electronics programme. (Lecture) London, 1984. jan.
- [4] *Cardwell, M.*: Materials for Optoelectronics Systems. (Lecture) Chem. and Mat. for M.E. programme, London, 1984.
- [5] *Ledwith, A.*: Polimers for Microlithography, (Lecture) l. előbb.
- [6] *Broers, A. N.*: Materials Requirement for Integrated Circuits Fabrication, (Lecture) l. előbb.
- [7] *MacCall, D. W.*: Electronic Chemicals in U.S. (Lecture) l. előbb.
- [8] *Odagawa, K.*: Future prospects of Jap. El. Ind. (Lecture) l. előbb.
- [9] *Cohen, A. B.*: Advances in Microelectronics through Chemical and Photoimaging, (Lecture) l. előbb.
- [10] *Hangos I., Tarnai I.*: „A nagytisztaságú munkaterekkel kapcsolatos főbb követelmények és azok kielégítésére alkalmazott általános módszerek”. *Korszerű Technológiák*, 1980. 4. sz. 21–35. old.
- [11] *Hangos I.*: „A híradástechnikai és elektronikai alkatrészek gyártásánál szükséges technológiai infrastruktúra problémái I. és II. *Korszerű Technológiák*, 1981. 1. sz. 12–23. old., 2–3. 28–36. old. (1981).
- [12] U.S.A. 209. b. sz. nemzeti szabvány (1973. ápr. 24.).
- [13] VDJ. 2083. sz. NSZK szabvány.
- [14] *Flanders*: VLSI, Filter Class 20 (0,12 μm). Prospektus (Zürich, Semicon, 1984).
- [15] Sartorius GmbH, Laborfiltration, Mikrobiologie, Elektrophorese, Gesamt Katalogen Sammlung, 1983.
- [16] *Kormány T.*: Útjelentés a „Semicon 1984” c. félvezetőtechnológiai kiállításról (1984).
- [17] *Hangos I., Lénárt M., Dévényi N.*: „A plazmakémia alkalmazásának helyzete és perspektívái az elektronikai iparban”. *Korszerű Technológiák*, 1980. 3. sz. 28–43. old.
- [18] *Hangos I., Lénárt M.*: Mikroelektronikai Technológiák, 4. HIKI Kiadvány, 1979.
- [19] *Rosenbluth, M. N., Sagdeev, R. Z.*: Handbook of Plasma Physing. Part. 4. North Holland Physics Publishics Co. 1983.
- [20] *Galcev, A. A., Sudan, R. N.*: Basic Plasma Physics, North Holland Physics Publ. Co. 1983.
- [21] *Schneider, H. G., Ruth, V., Kormány, T.*: Advances in Epitaxie and Endotaxie, Elsevier Ed. (NY, 1977).
- [22] *Stinson, C. S.*: Chemical and Engineering News 61, 32, 7–12, (1983).
- [23] *Merck, E.*: VLSI Selectipur Katalog (1984).

Szemle

Összeállította: GÁL FERENC

(Folytatás a 176. oldalról)

A svájci híradástechnikai szervek a svéd Ericsson cég teljesen digitális AXE 10 kapcsoló rendszerével kívánják kiépíteni 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 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 hétszeresére, ezen belül a gépiparé nyolcszorosára emelkedik.

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.

(net — Prodinform válogatás)

A japán NEC cég μ PD7764 jelű beszédfelismerő egysége egy chip-en 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 chip-re 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 und Prüfen Automatik — 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 — Prodinform válogatás)

A Dynatech Communications cég CMT 1000 jelű digitális mátrixa lehetővé teszi bármely modem bármely számítógép-csatornához vagy bármely monitorhoz, illetve ellenőrző berendezéshez való kapcsolását. A kapcsolat során nemcsak az óra- és adatjeleket, hanem a teljes aktív EIA interfészt átkapcsolják. Egy hatékony vezérlő logika biztosítja az adatátviteli sebességet és a modem, illetve a számítógép-csatorna vezérlési prioritását.

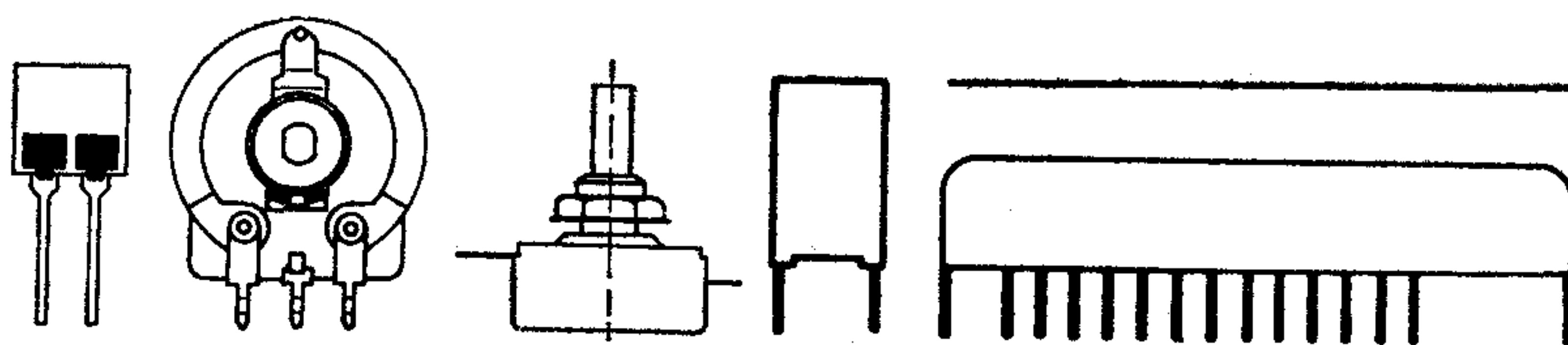
A kapcsolómező két csatornánként egészen az 512×512 méretű teljes konfigurációig bővíthető. A mátrix a TST (time-space-time) multiplexelési eljárást alkalmazza, mellyel teljes transzparencia biztosítható az adatátviteli berendezés és az adatvégeberendezés között. A kapcsoló mező RS-232 és V.25 adatsebességekkel egyaránt működhet. (Computer Product News)

Világszerte megélénkült az elektronikus építőelemek iránti kereslet, s ennek üteme még a japán termelőket is szinte felkészületlenül érte. Az irányzat kialakulására két tényező volt a legnagyobb hatással, ezek egyidőben léptek fel. Egyrészt számos országban — elsősorban az USA-ban és Kelet-Ázsiában — a konjunkturális fellendülés a vártnál gyorsabban és erősebben következett be. Másrészt érezhetően meggyorsult a legkülönbözőbb elektromos eszközök elektronizálásának üteme. A japán termelők gyorsított ütemben megtesznek mindent, hogy a rájuk zúduló keresletet megfelelő többtermeléssel ellensúlyozzák. 1984-ben kerekén 16 milliárd márkának megfelelő értékű integrált áramkört állítanak elő, 29 százalékkal többet, mint egy évvel korábban. A növekedés típusonként erősen eltér. 40 százalékkal több MOS félvezető készül. Mintegy 20 százalékkal több bipoláris áramkört állítanak elő és a lineáris áramkörök mennyisége is átlagon felül nő. A szakmának Japánban 1983-ban 13 milliárd márká volt a termelési értéke és ez 14,5 százalékkal volt több az előző évinél.

A félvezetőgyártás oroszánrészt Japánban kilenc nagyvállalat tartja kézben. Ezek a vállalatok 1983-ban 342 milliárd jen értékű beruházást végeztek, 1984-ben befektetéseik valószínűleg elérik az 500 milliárdot.

1978-ig bezárólag Japán mindig több integrált áramkört importált, mint amennyit kivitt. Ez a viszony 1979 óta fordított arányban alakult, 1983-ban már 424 milliárd jen értékű integrált áramkört exportáltak, 153 milliárdos importértékkel szemben.

(Blick durch die Wirtschaft, 1984. március 6.)



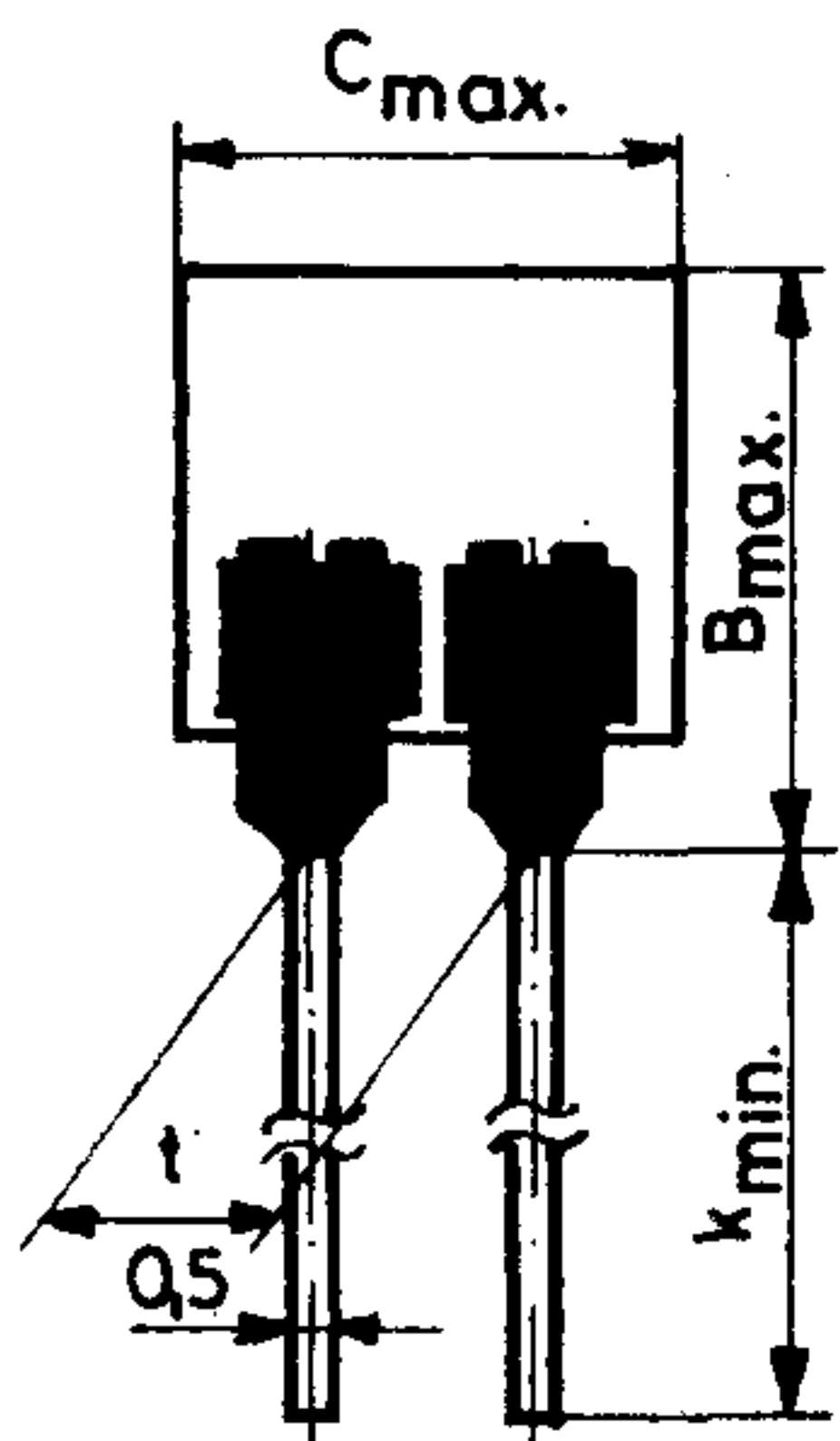
MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

Tipus	Terhelhetőség [W]	Ellenállások száma db.	Rezisztencia tartomány [Ω]	Sor	Tűrés [%]	Határfeszültség [V=]
R5362	0,25/70°C	1	10 ... 33M	E6	± 20, ± 10	120
R5366	0,4/40°C	1				
R 5363 (Nem perspektivikus)	—	1	2,2 M ... 150 M	E6	± 20, ± 10	táblázat szerint
R5364	1	1	1 M ... 100 M	E6	± 20, ± 10, ± 5	5 k
	2		10 M ... 1000 M			15 k
W9045	62,5 mW ellenállásonként	9	10 ... 1 M	E12	± 5	—
W90451		8				
HPR-506	160 mW ellenállásonként	5	150, 220, 560, 1,2 k 2,2 k, 3,9 k, 8,2 k, 33 k	—	± 5	—
		4	33, 47			
HPL-512	100 mW ellenállásonként	15	10 ... 390 k	E12	± 5	—
HPL-515		8				
HPL-513		13				
HPL-516		7				
HPL-514		11				
HPL-517		6				

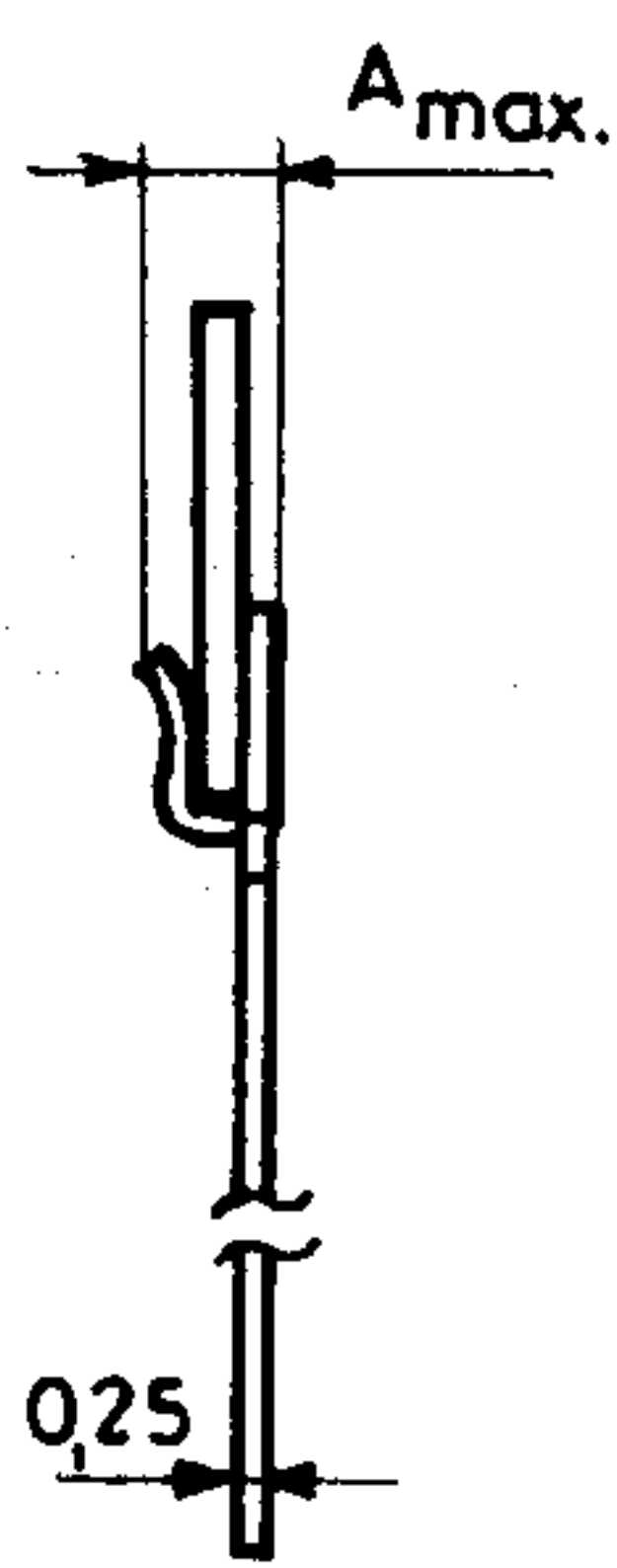
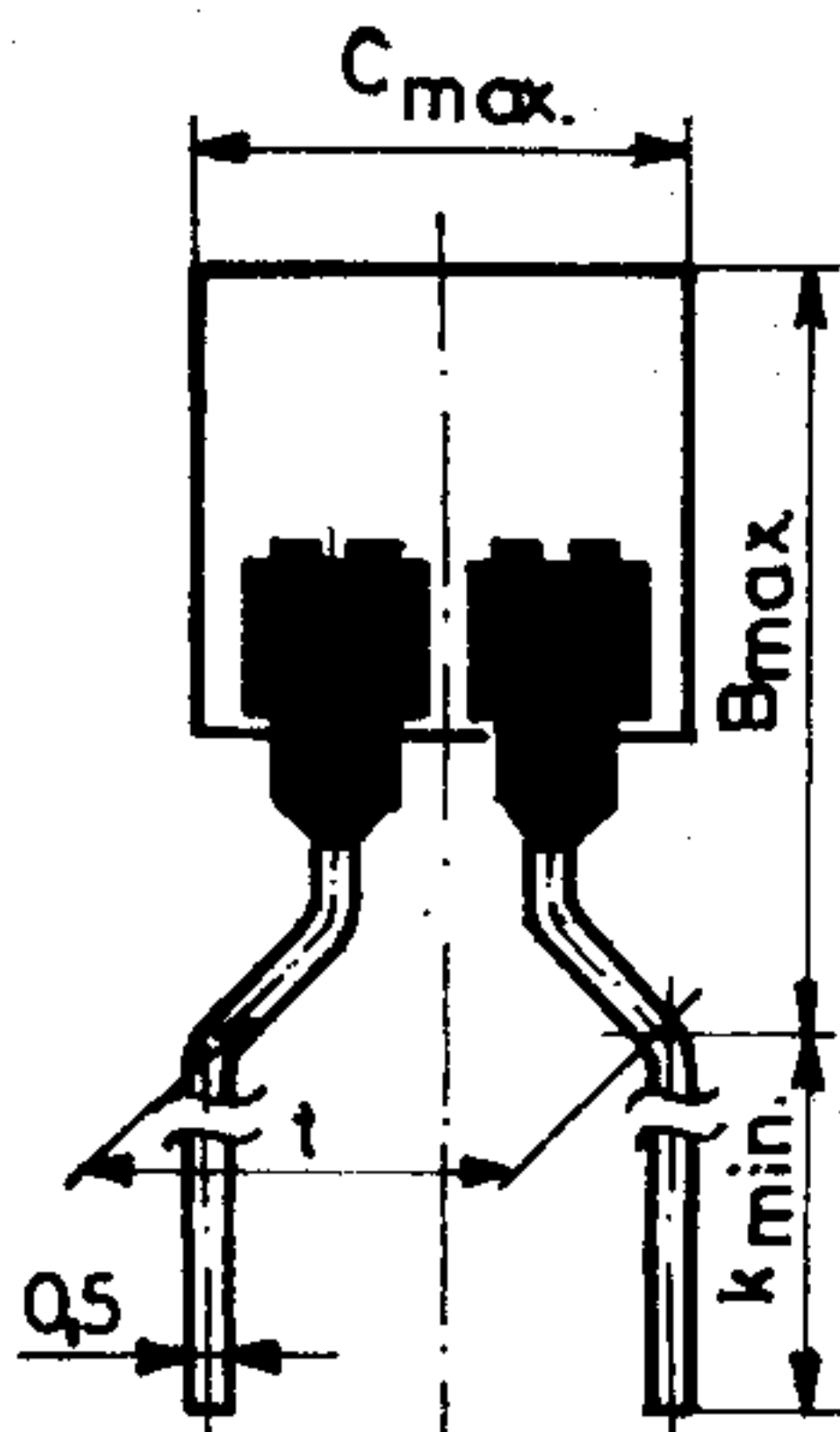
VASTAGRÉTEG ELLENÁLLÁSOK ÉS ELLENÁLLÁS HÁLÓZATOK AJÁNLOTT TERMÉKVÁLASZTÉKA

Hőmérsékleti tényező [$10^{-6}/K$]	Zajfeszültség [$\mu V/V$]	Kulcsszám	Szabvány
max. ± 250	$R_n \leq 33 k\Omega$ max. 1 $33 k\Omega \leq R_n \leq 330 k\Omega$ max. 5 $R_n > 330 k\Omega$ max. 50	55/125/56	Rx-74.261/27
max. ± 250	—	55/155/56	Rx-74.261/28
$-55 \dots +25^\circ C$ $1 M\Omega - 33 M\Omega = \pm 250$ $22 M\Omega - 1000 M\Omega = \pm 400$ $+25 \dots +125^\circ C$ $1 M\Omega - 1000 M\Omega = \pm 150$	—	55/125/21	Rx-74.261/32
max. ± 500	$R_n < 10 k\Omega$ max. 3 $10 k\Omega \leq R_n \leq 470 k\Omega$ max. 10 $R_n > 470 k\Omega$ max. 50	10/070/21	Rx-74.318/10
max. ± 500	—	0/125/10	Rx-74.318/22
max. ± 200	$R_n < 10 k\Omega$ max. 3 $10 k\Omega \leq R_n \leq 390 k\Omega$ max. 10	25/085/21	Rx-74.318/21

R5362

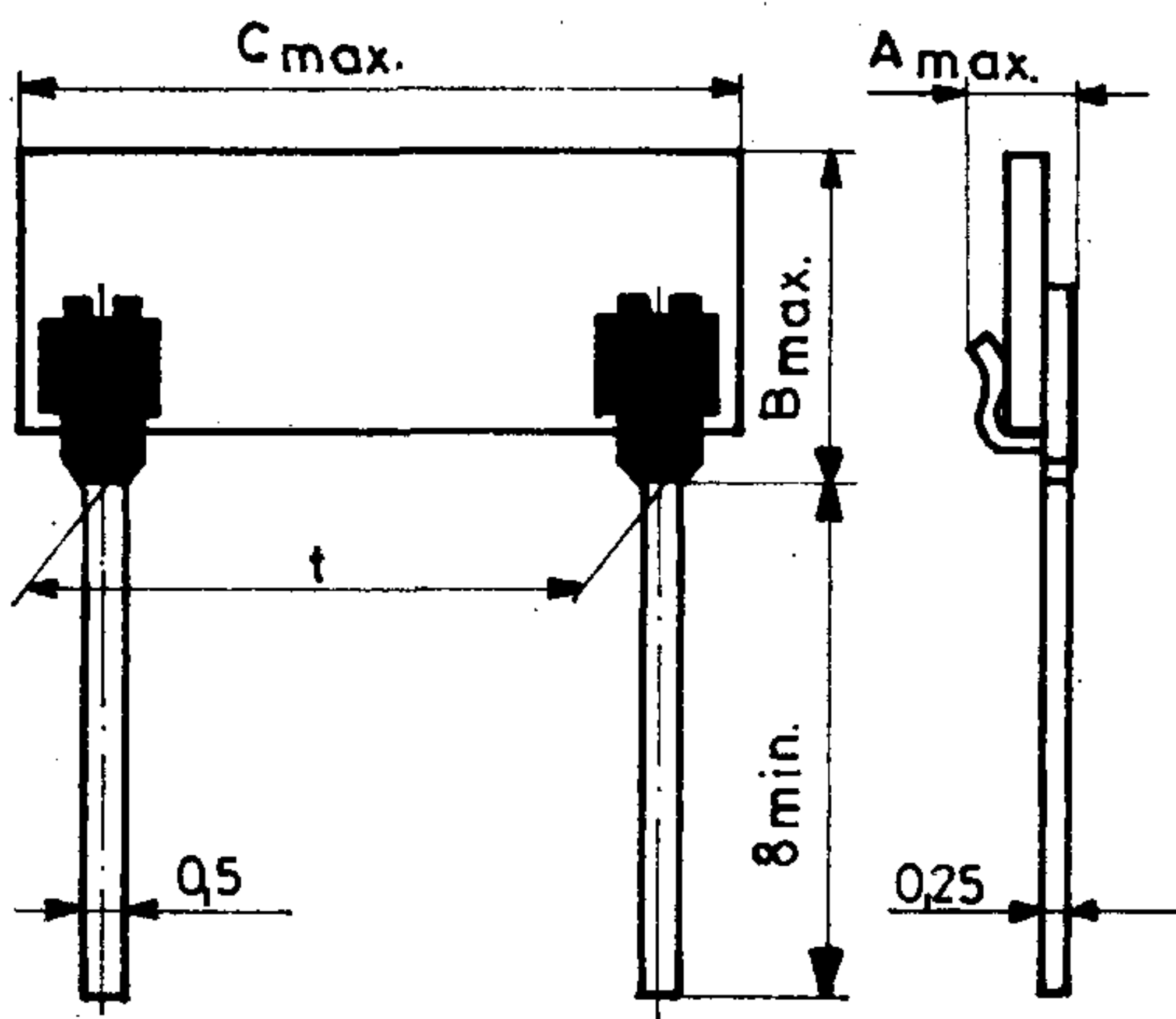


R5366



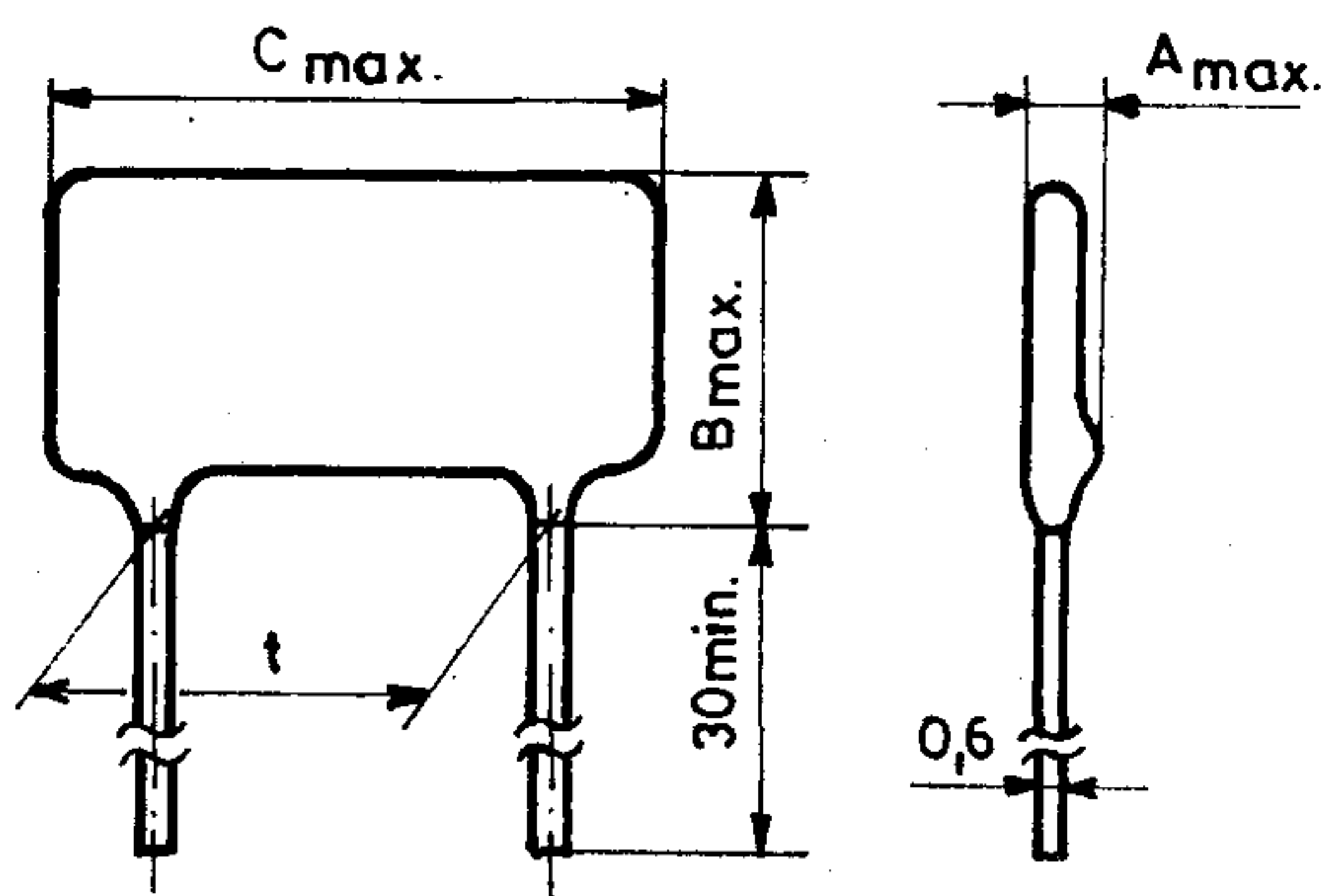
Katalógus jel	A _{max}	B _{max}	C _{max}	k _{min}	t ± 0,2
	Méretek mm-ben				
R 5362	1,8	6,7	5,4	8	2,54
R 5366		9		6	5,08

R5363

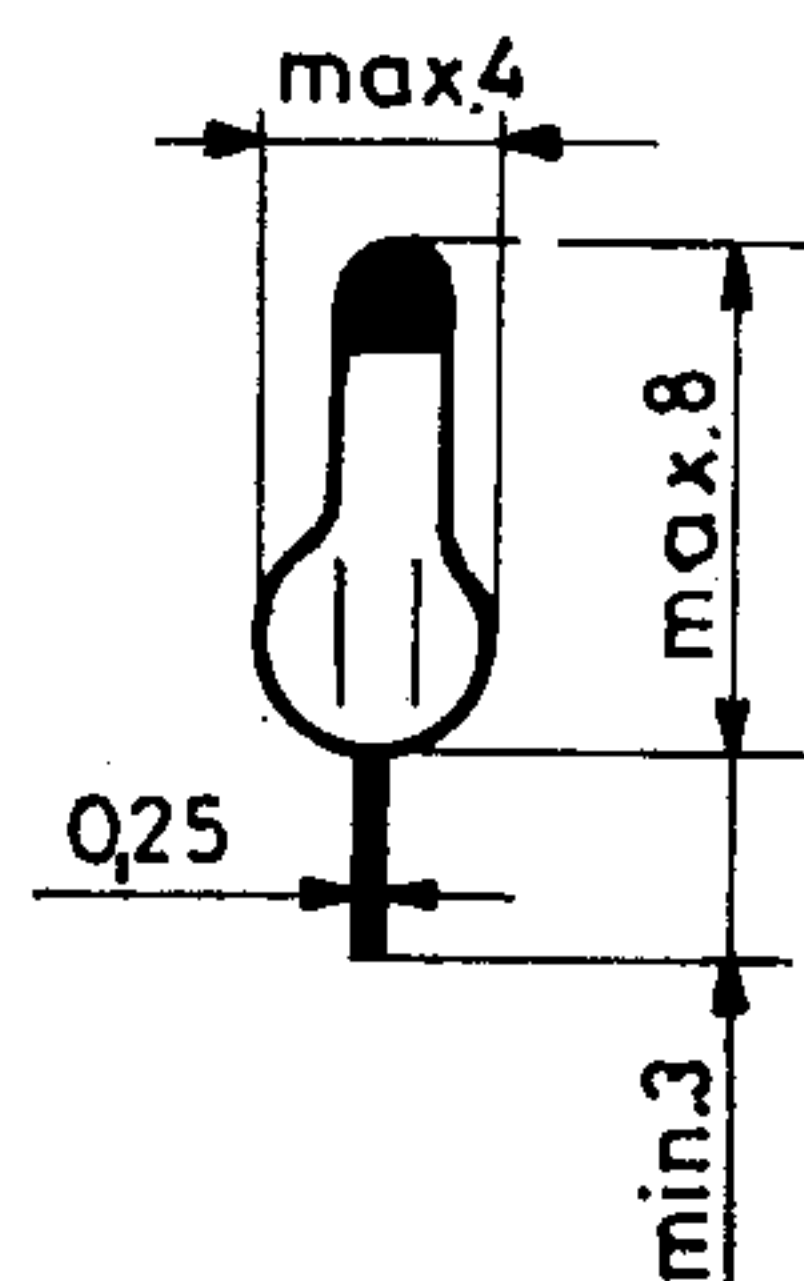
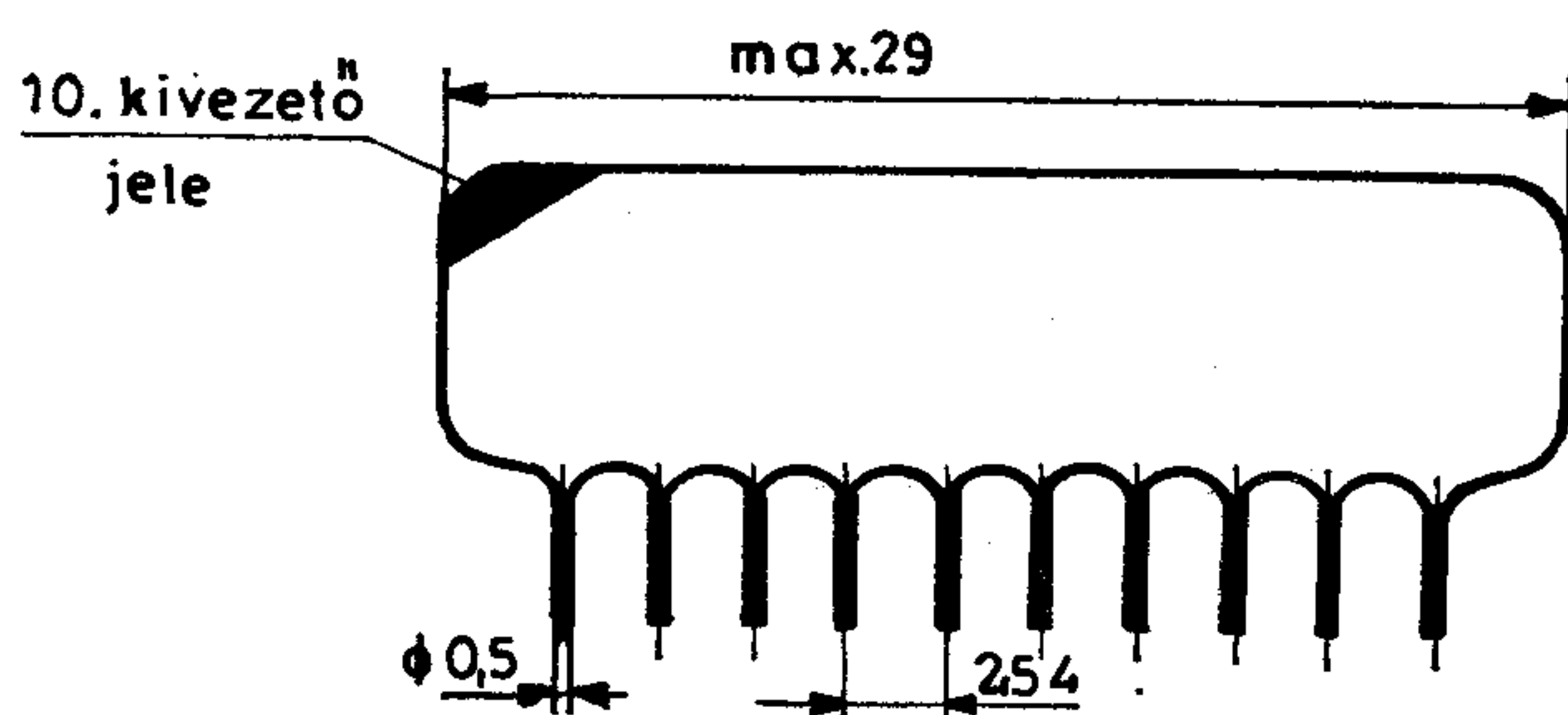


Névleges rezisztencia [MΩ]	A _{max}	B _{max}	C _{max}	t ± 0,2	Határ- feszültség [V=]
	Méretek mm-ben				
2,2 és 22	1,8	6,7	13	10,16	1000
33 és 33					1100
47 és 47		8			1500
68 és 68		10,1			2000
10 és 100					2500
15 és 150					14,3

R5364

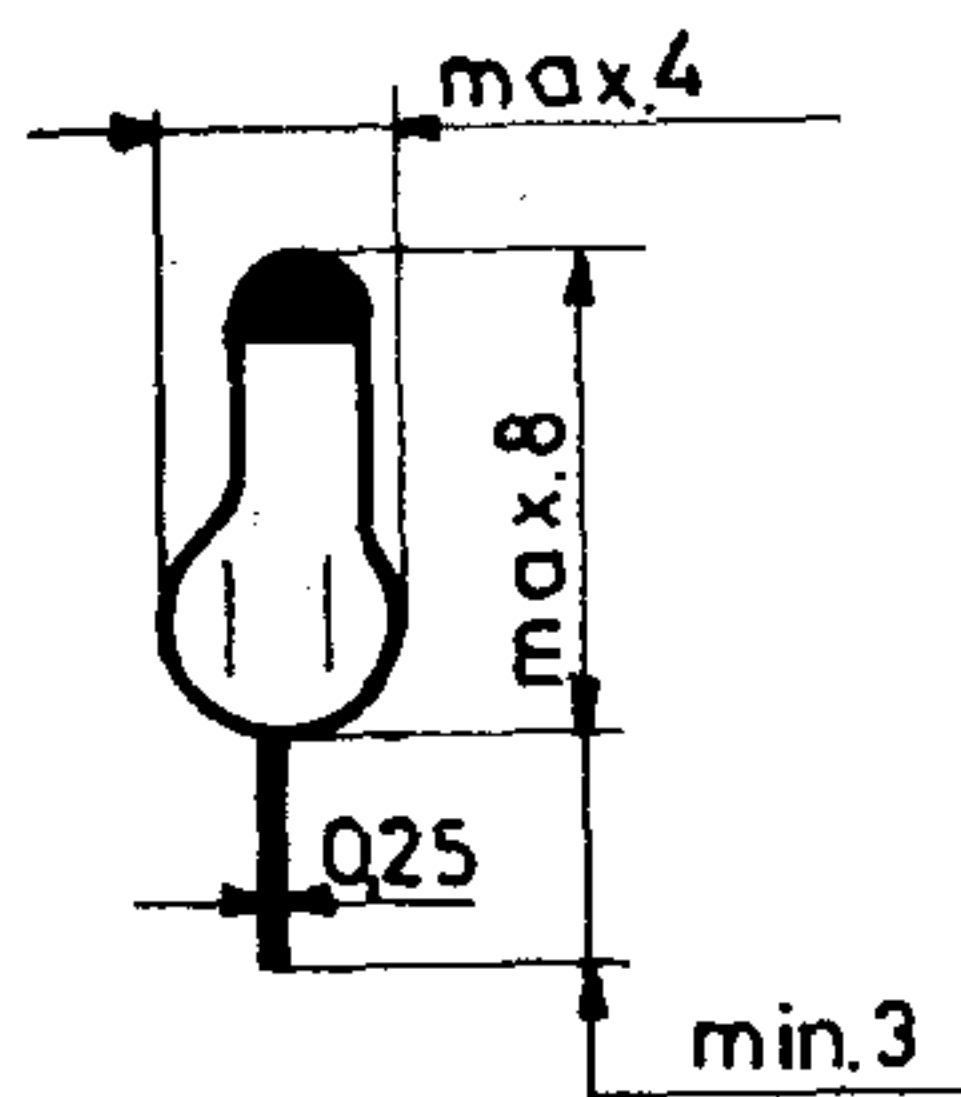
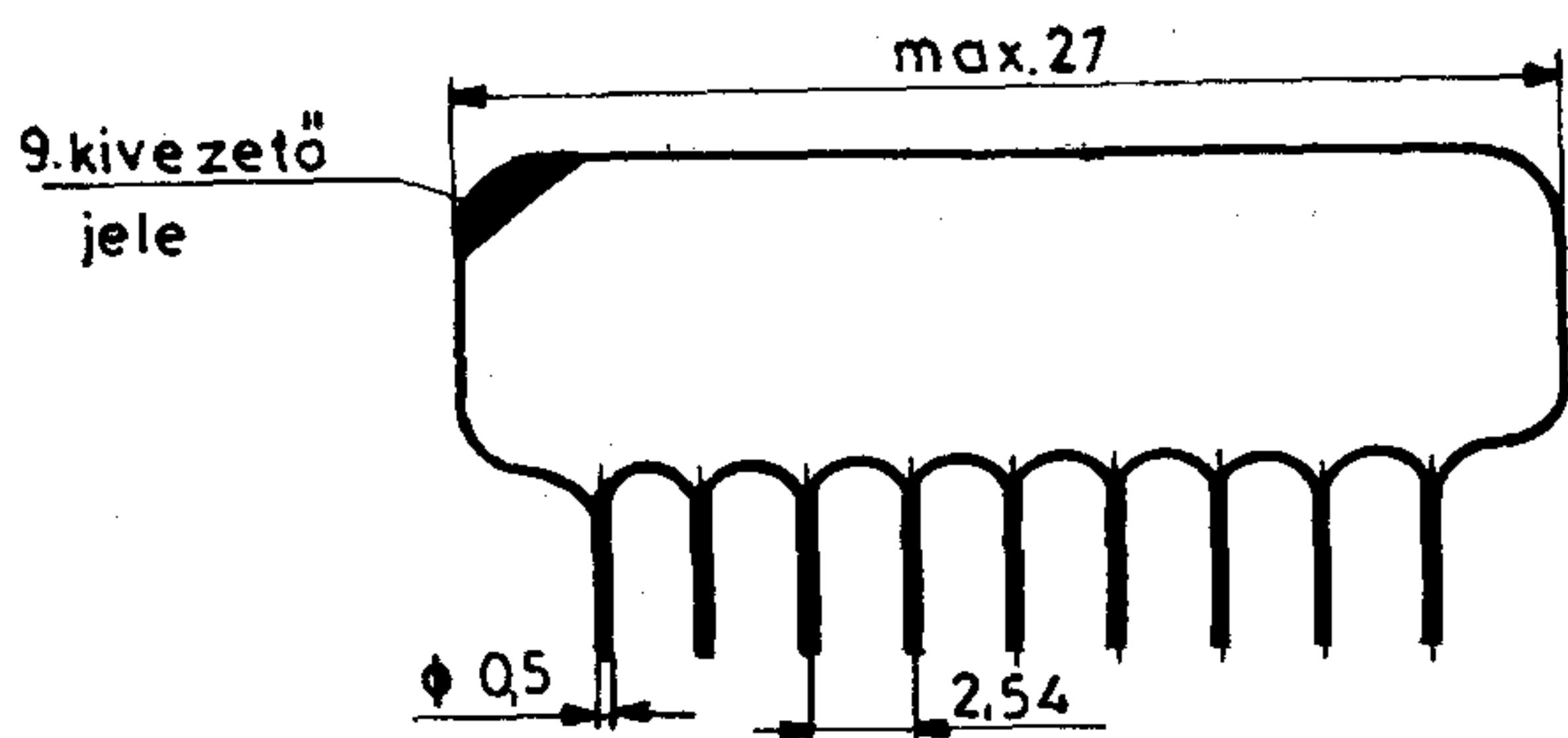


Névleges terhelhetőség [W]	A _{max}	B _{max}	C _{max}	t ± 0,2
	Méretek mm-ben			
1	3	12	27	20,3
2			52	45,7



W9045

Méretek mm-ben

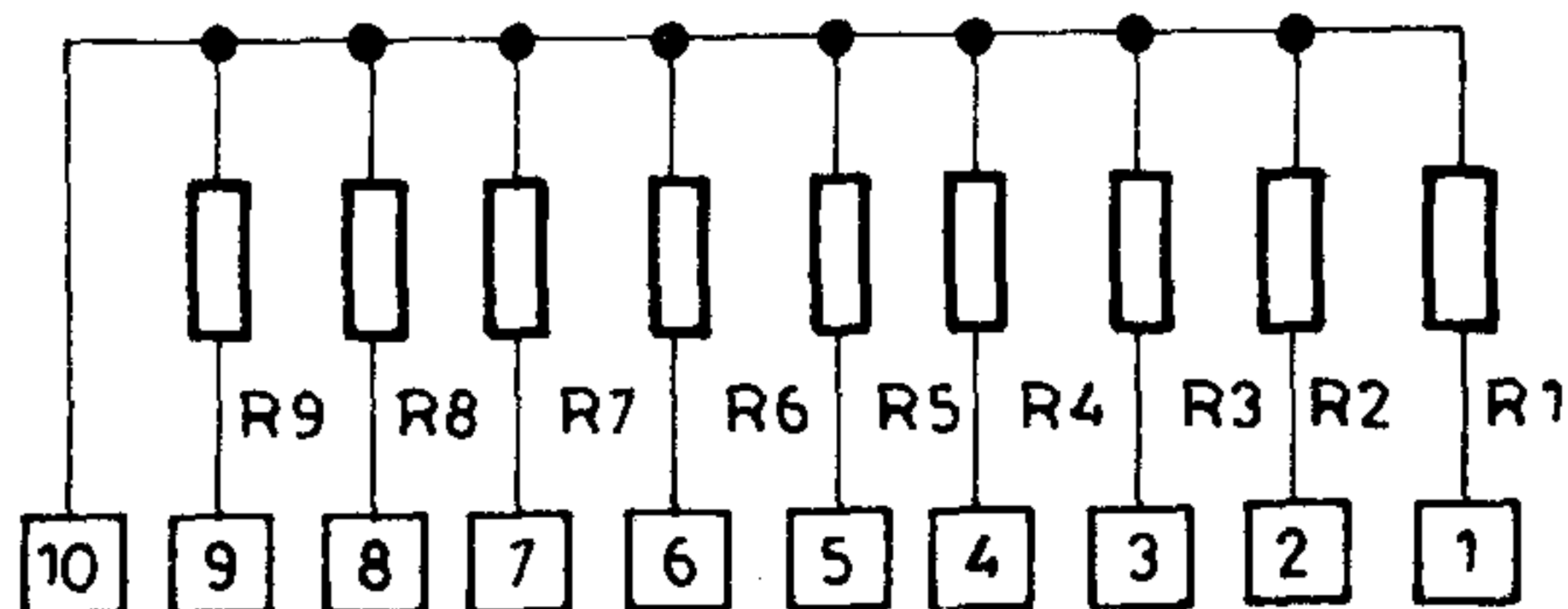


W90451

Méreték mm-ben

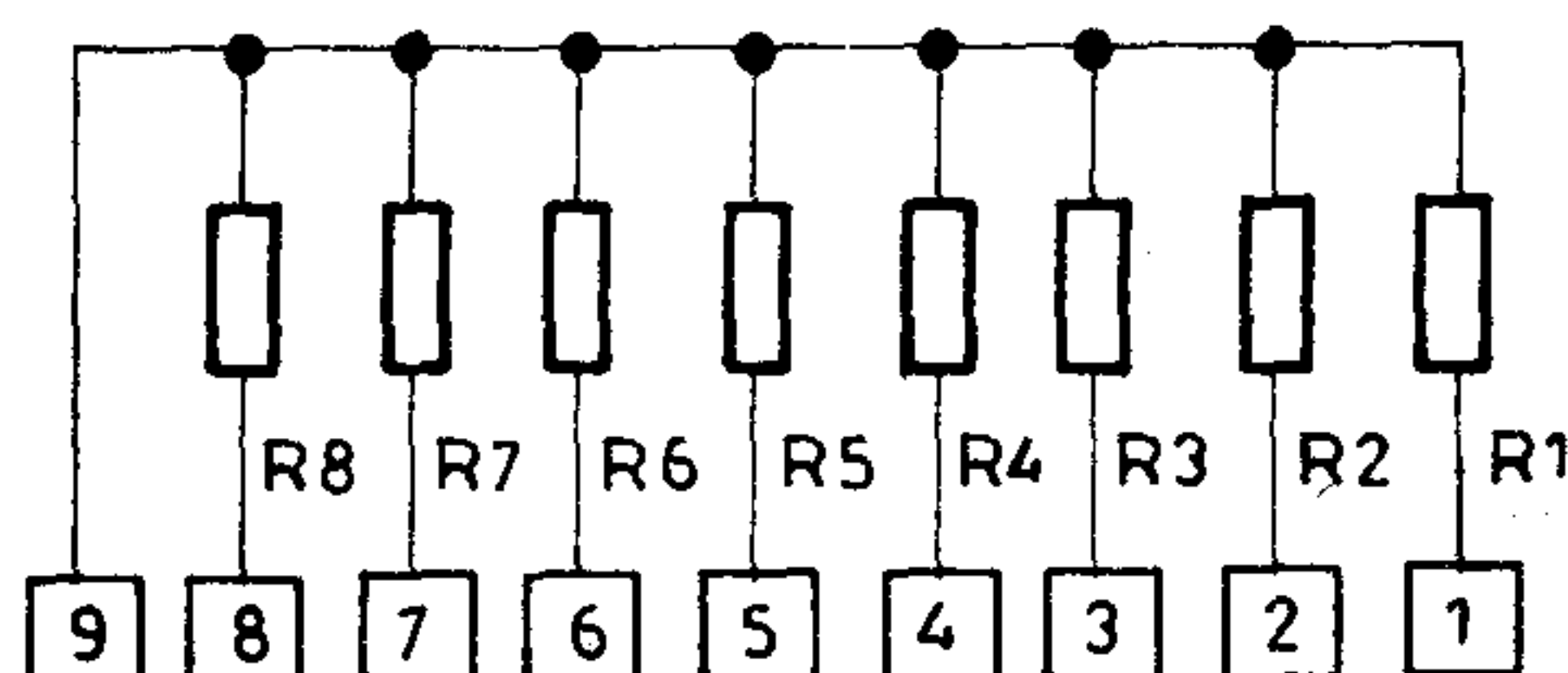
Elvi kapcsolás

W9045

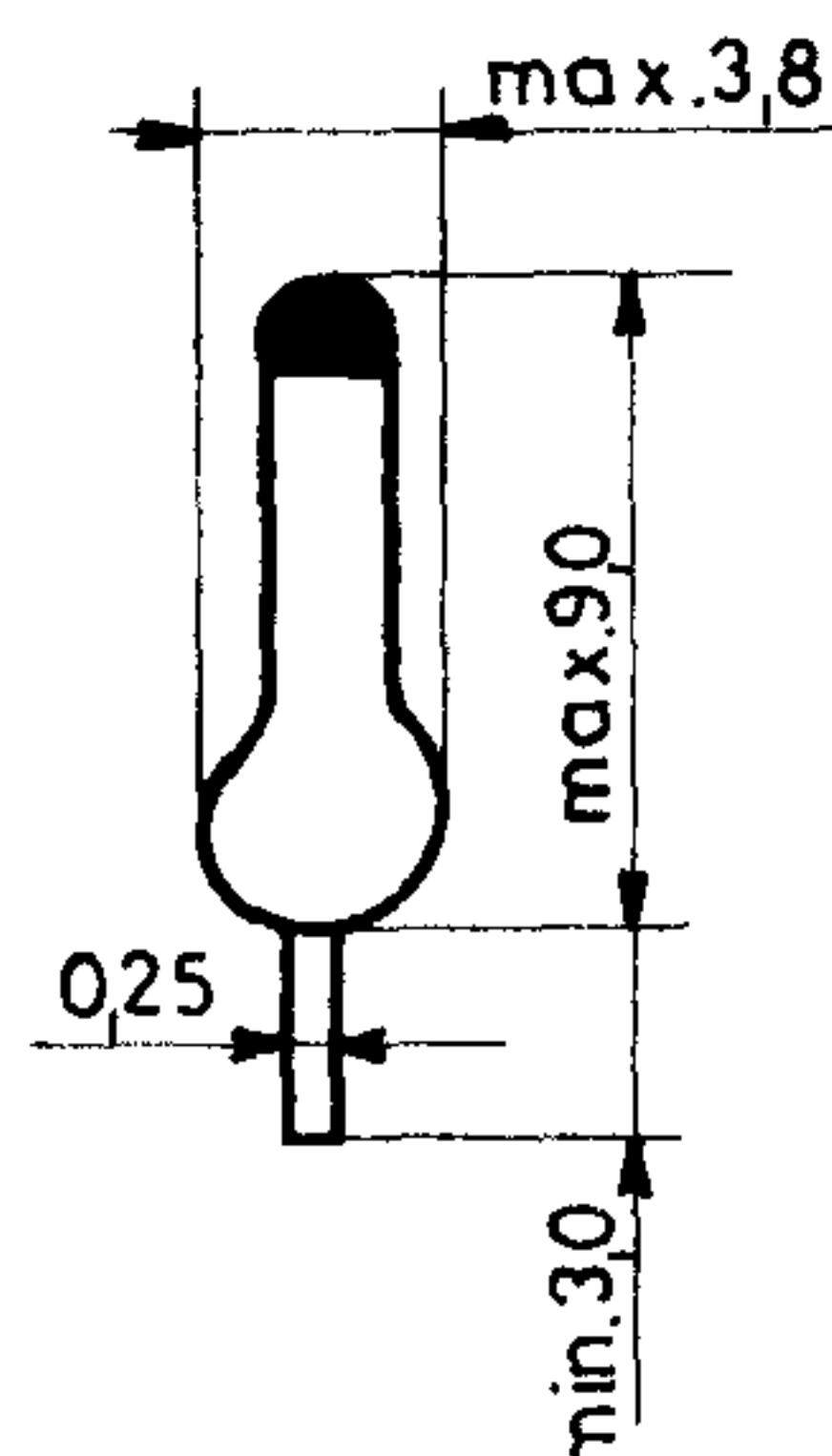
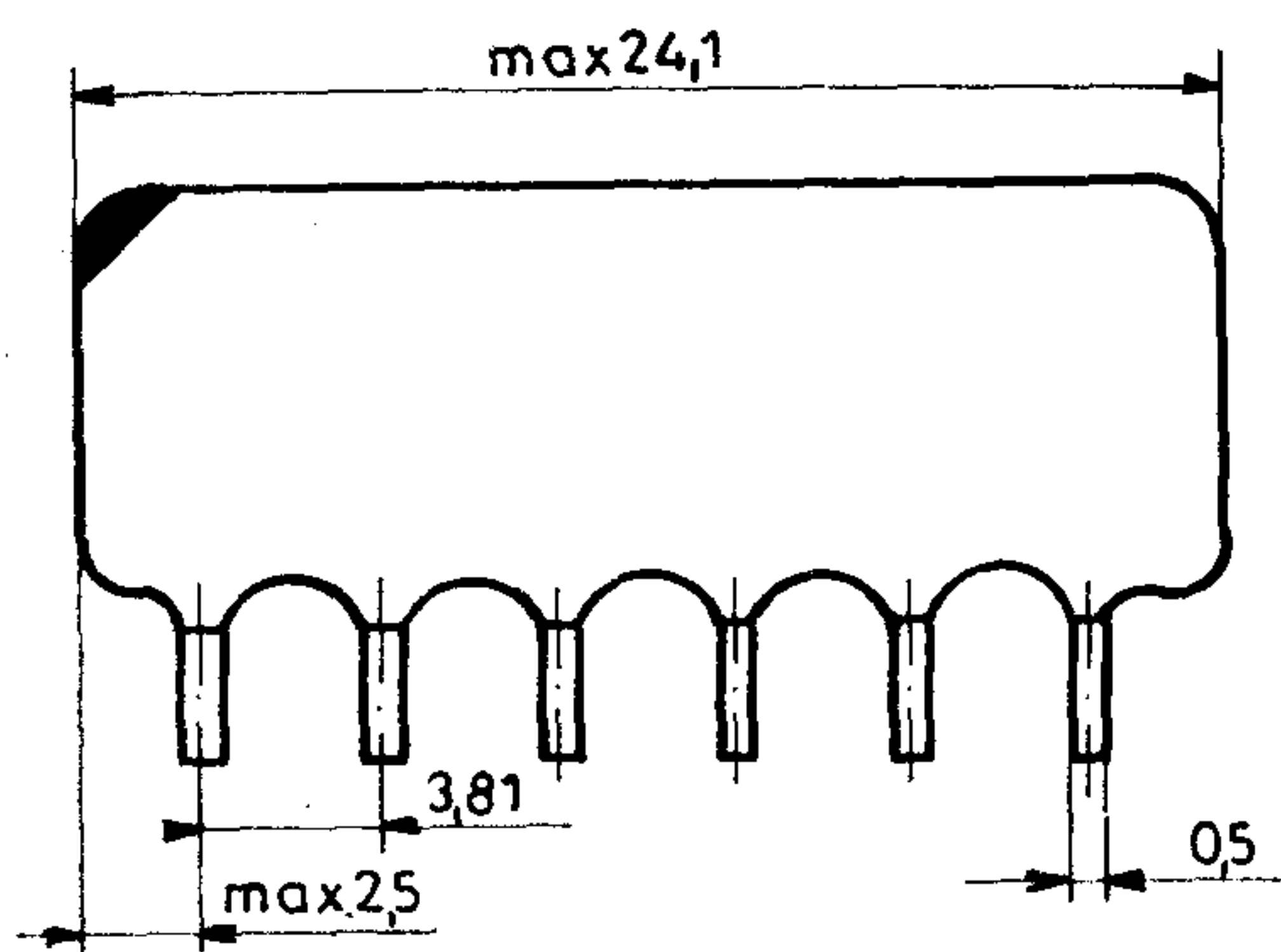


$R1 = R2 = \dots = R9$

W90451



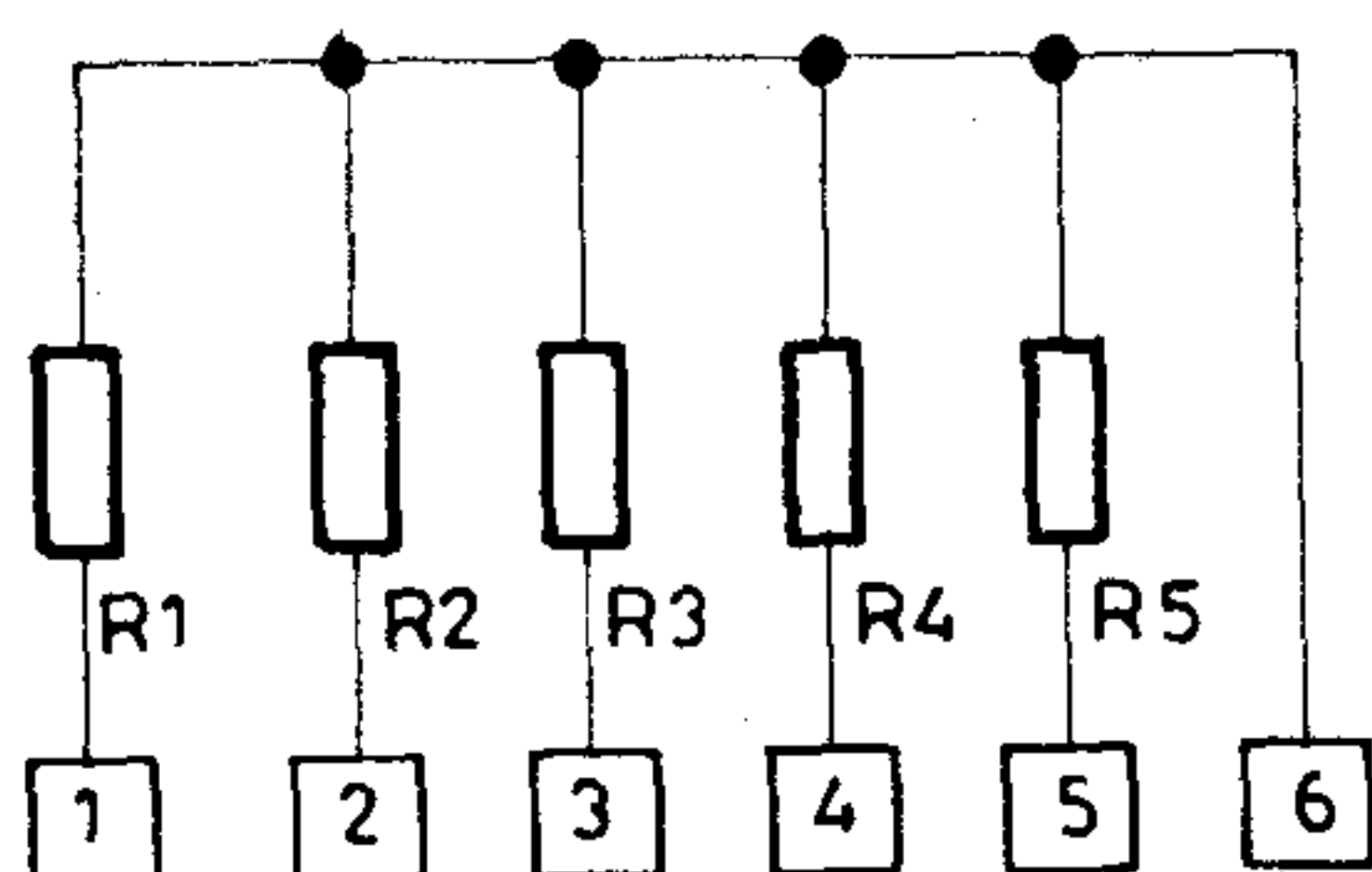
$R1 = R2 = \dots = R8$



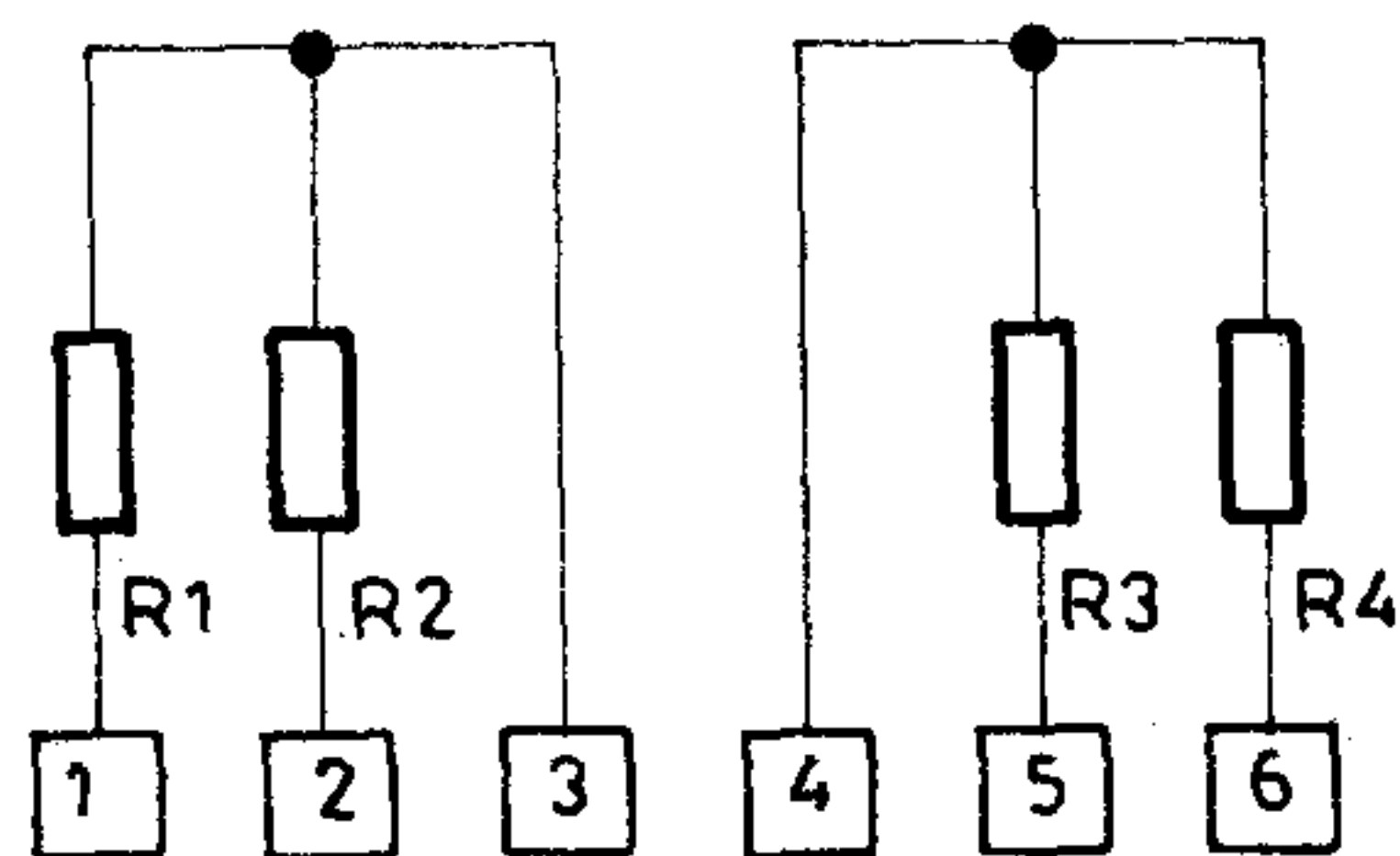
HPR-506

Méreték mm-ben

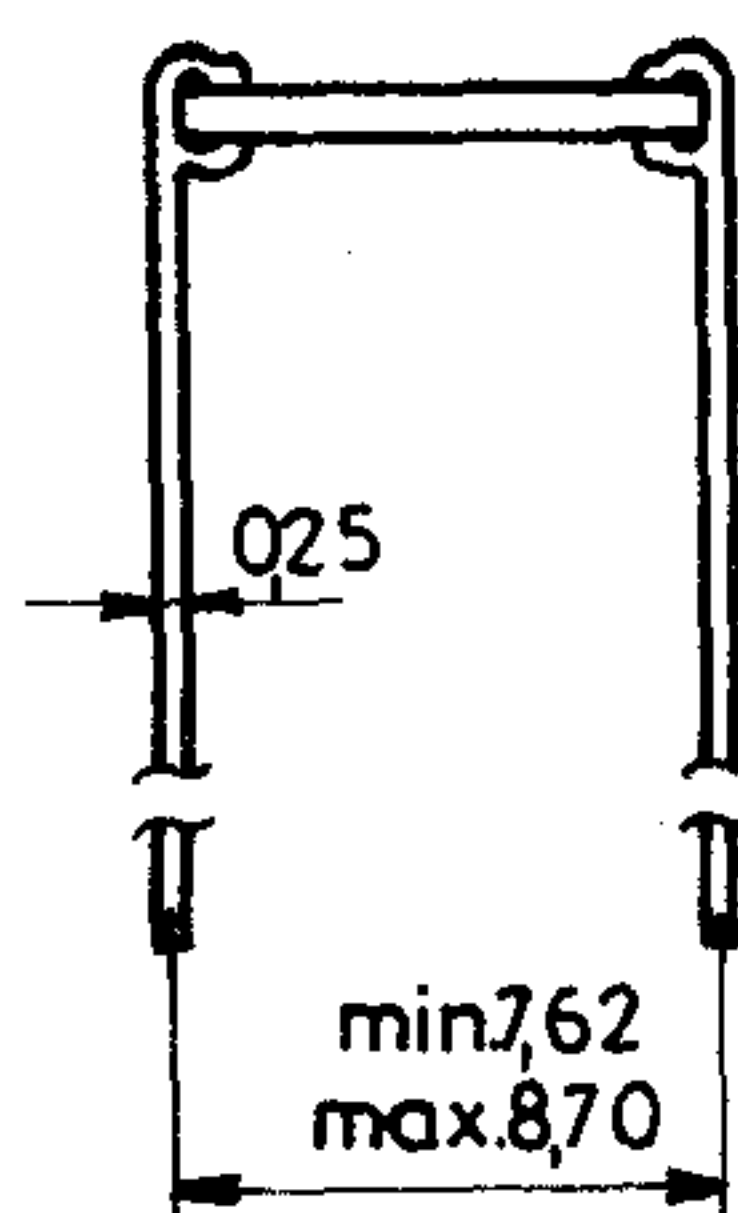
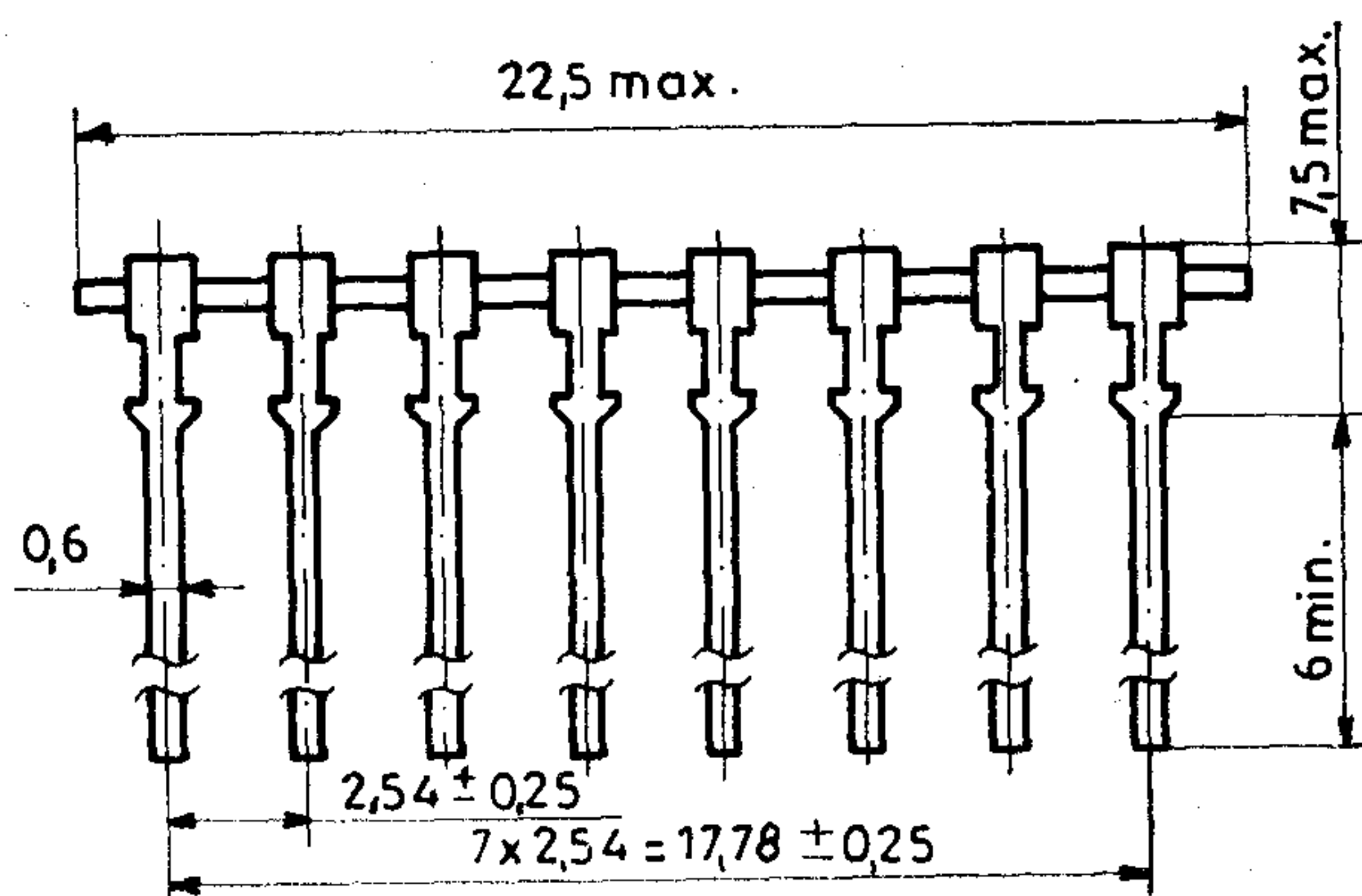
Elvi kapcsolás



$R1 = R2 = \dots = R5$



$R1 = R2 = \dots = R4$



HPL-512

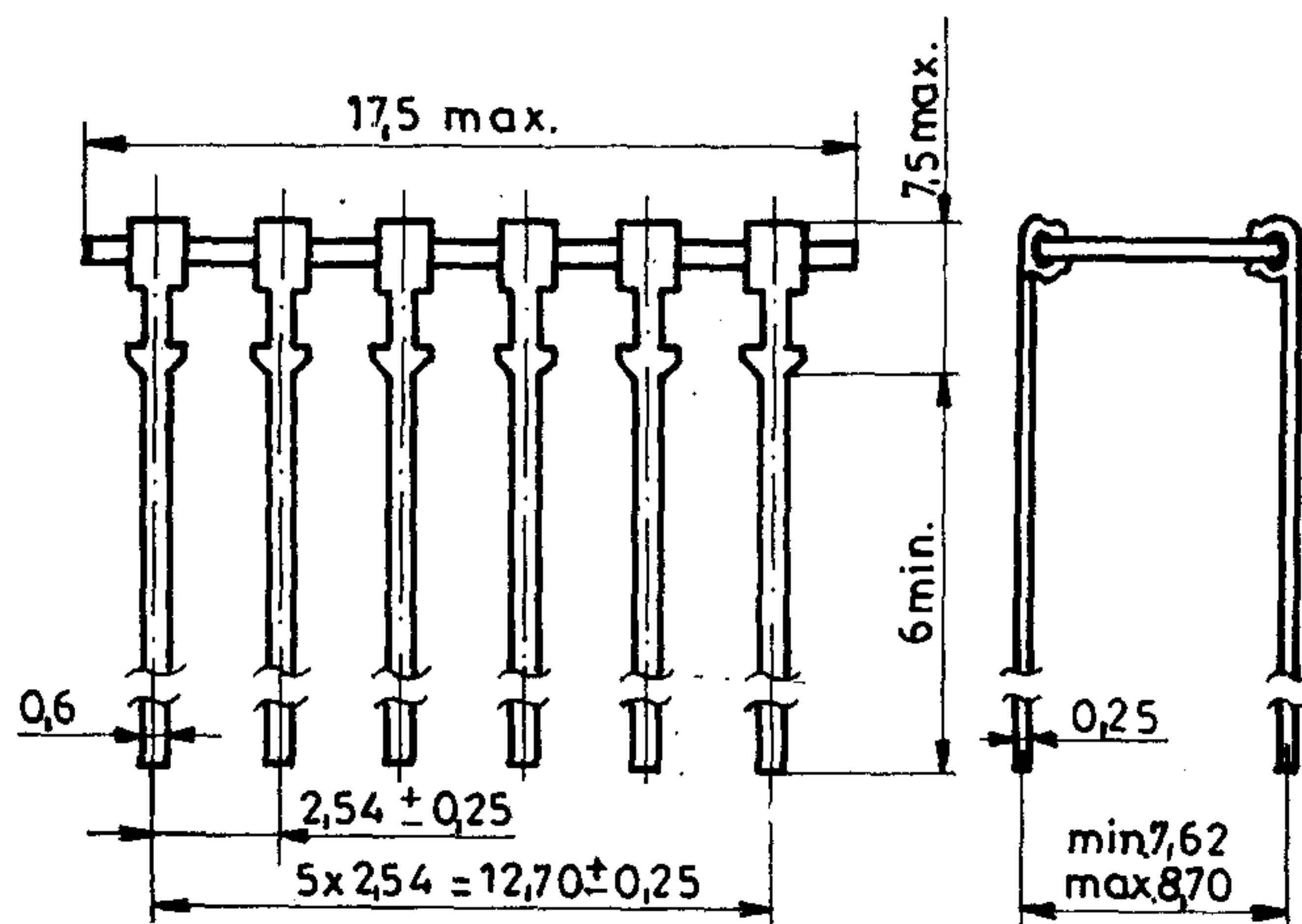
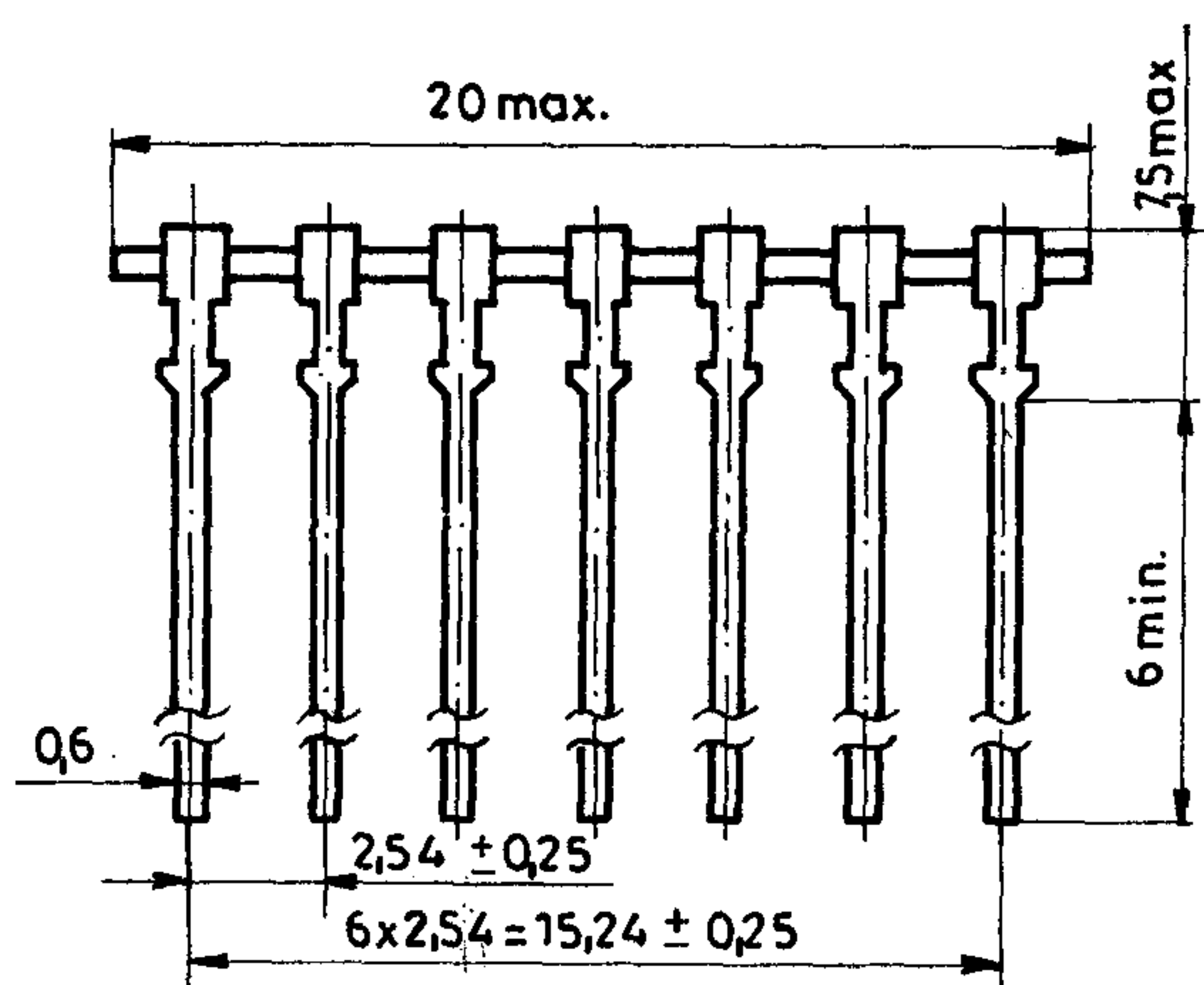
HPL-515

Méreték mm-ben

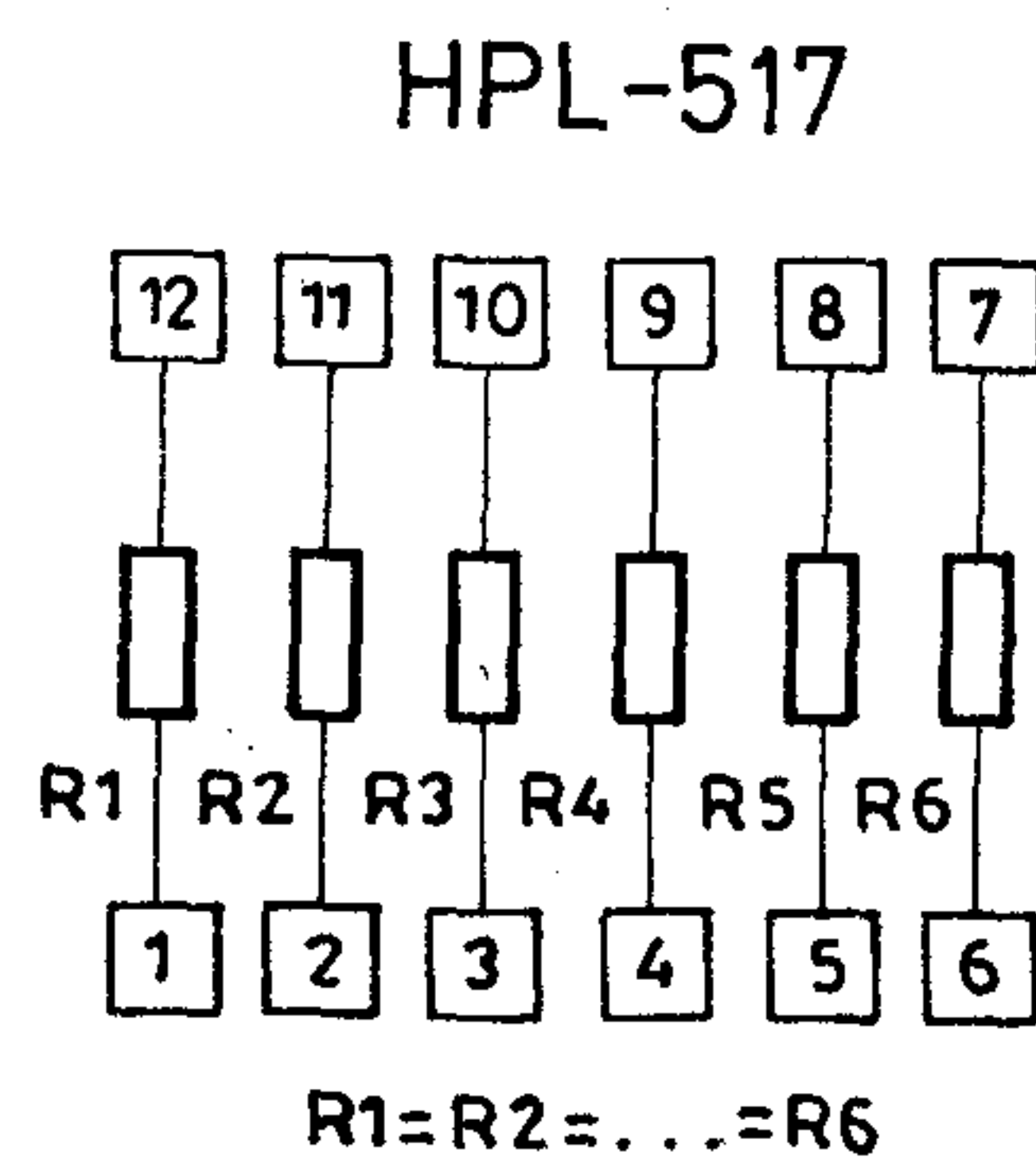
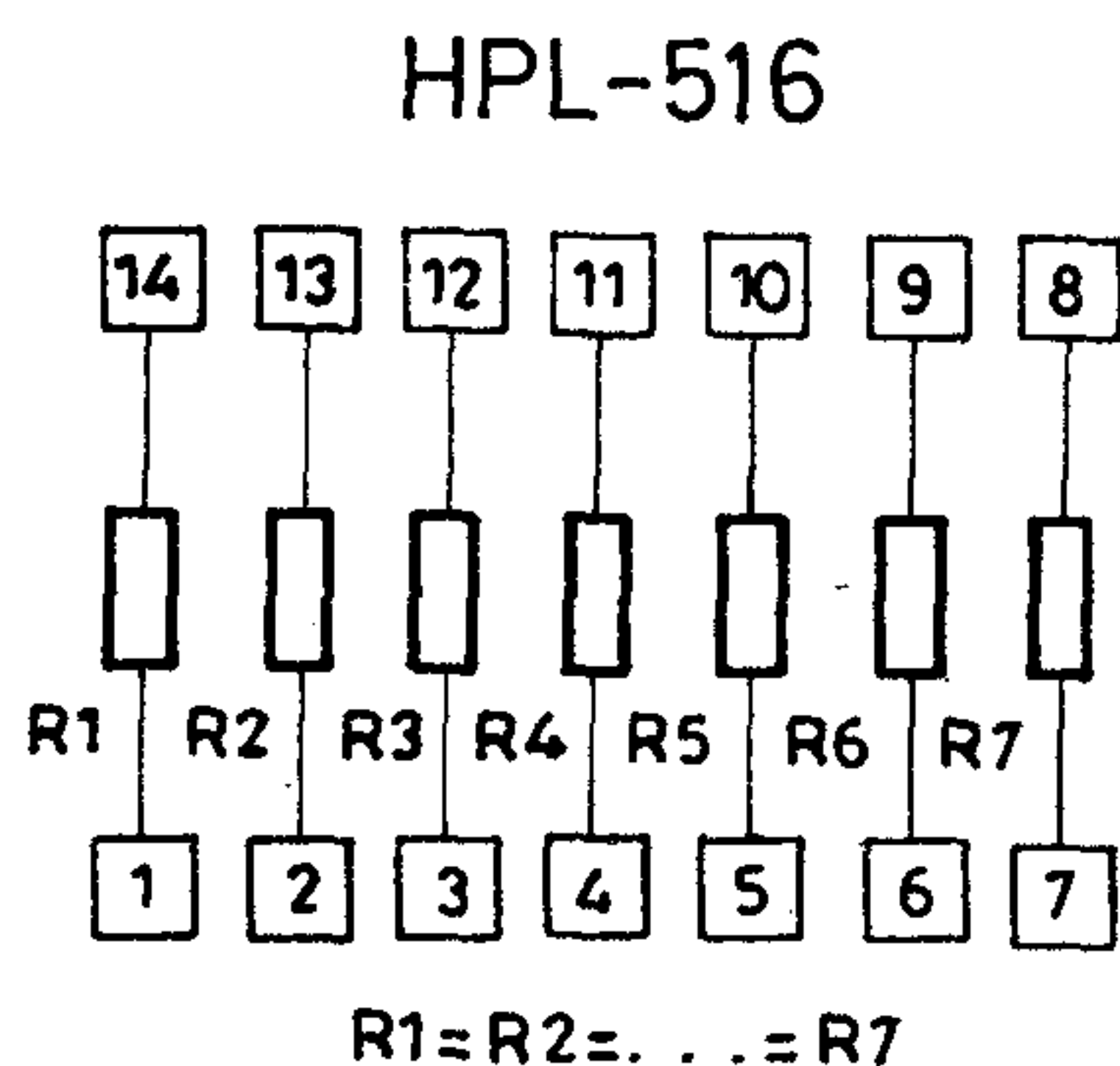
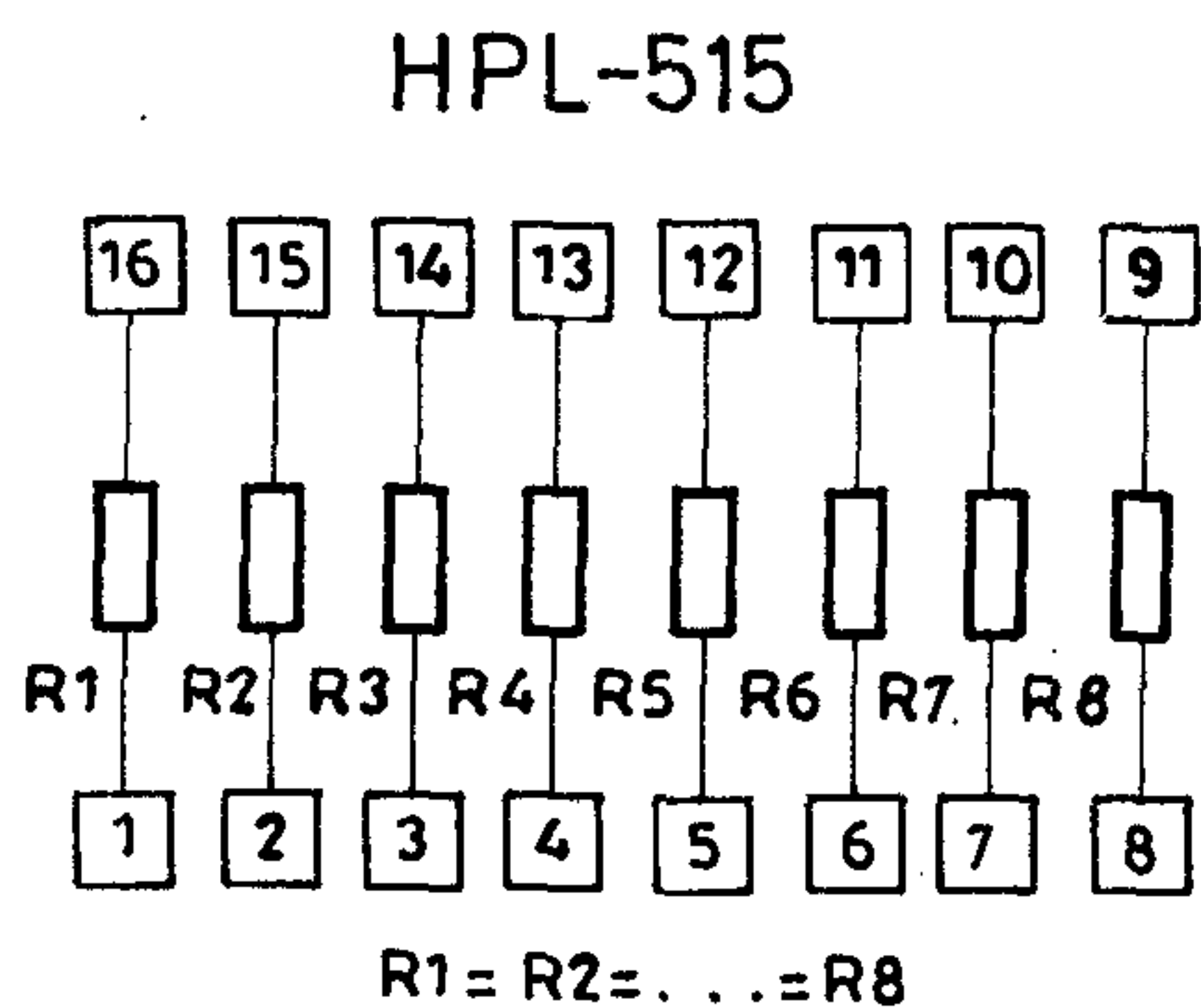
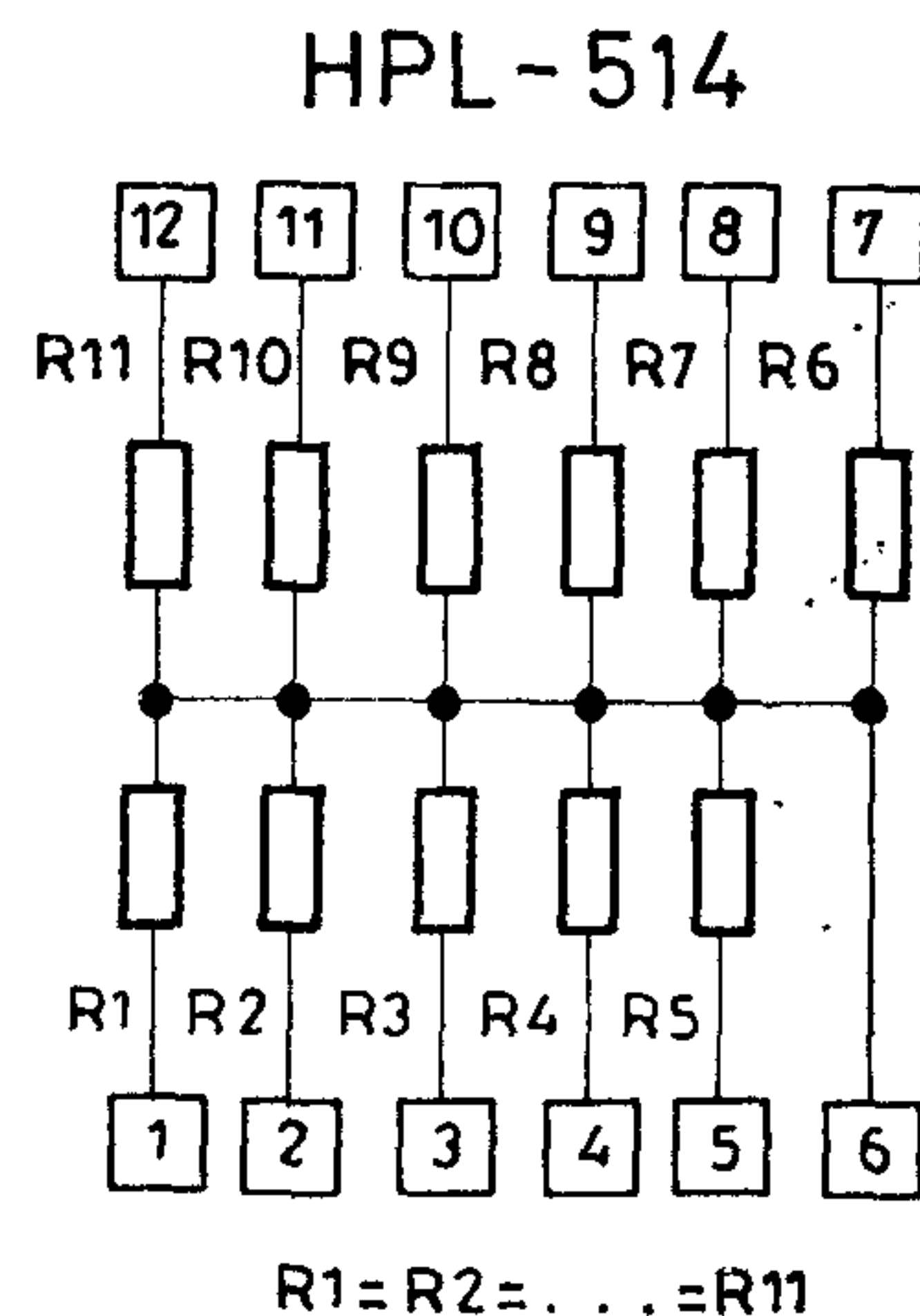
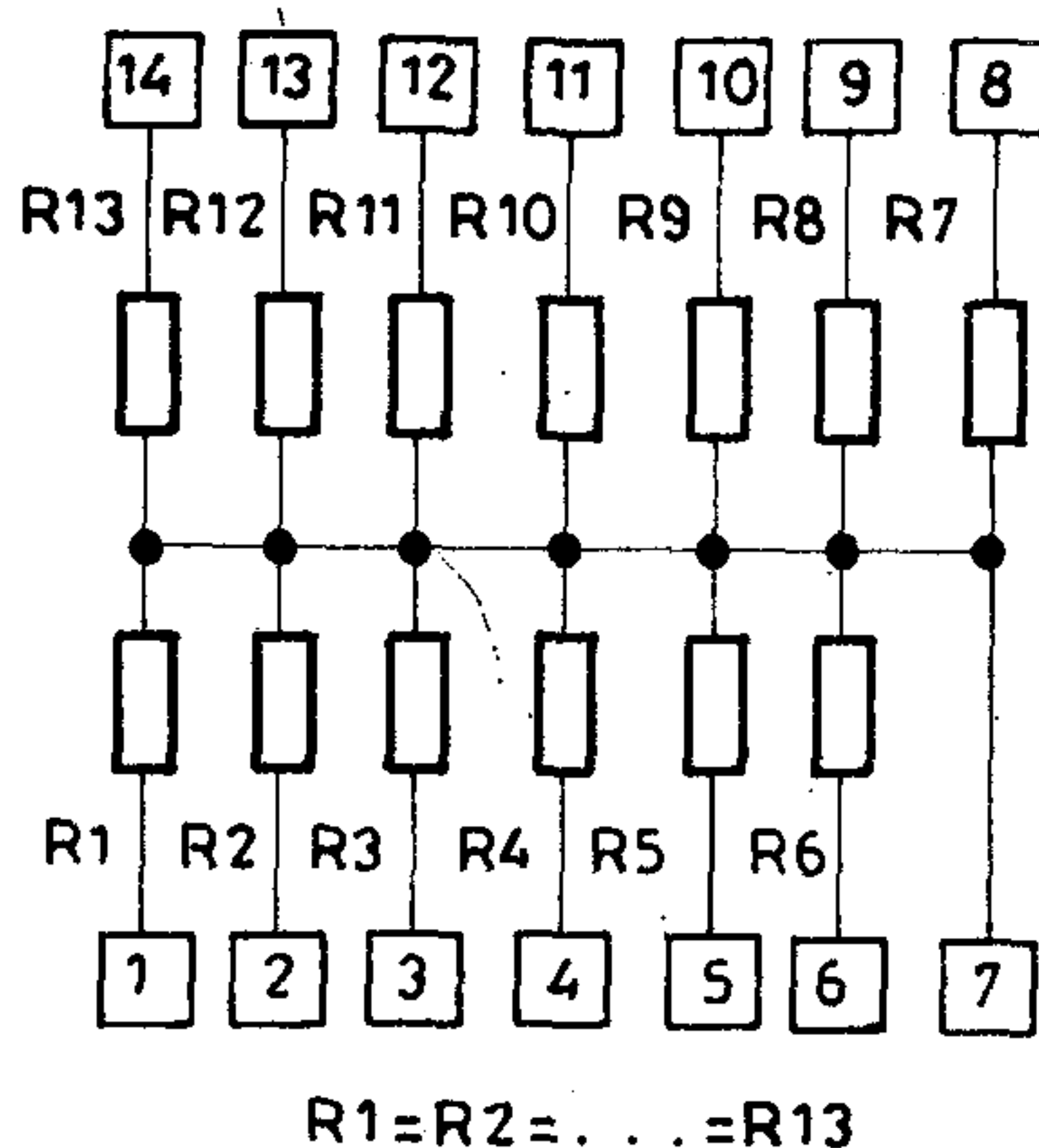
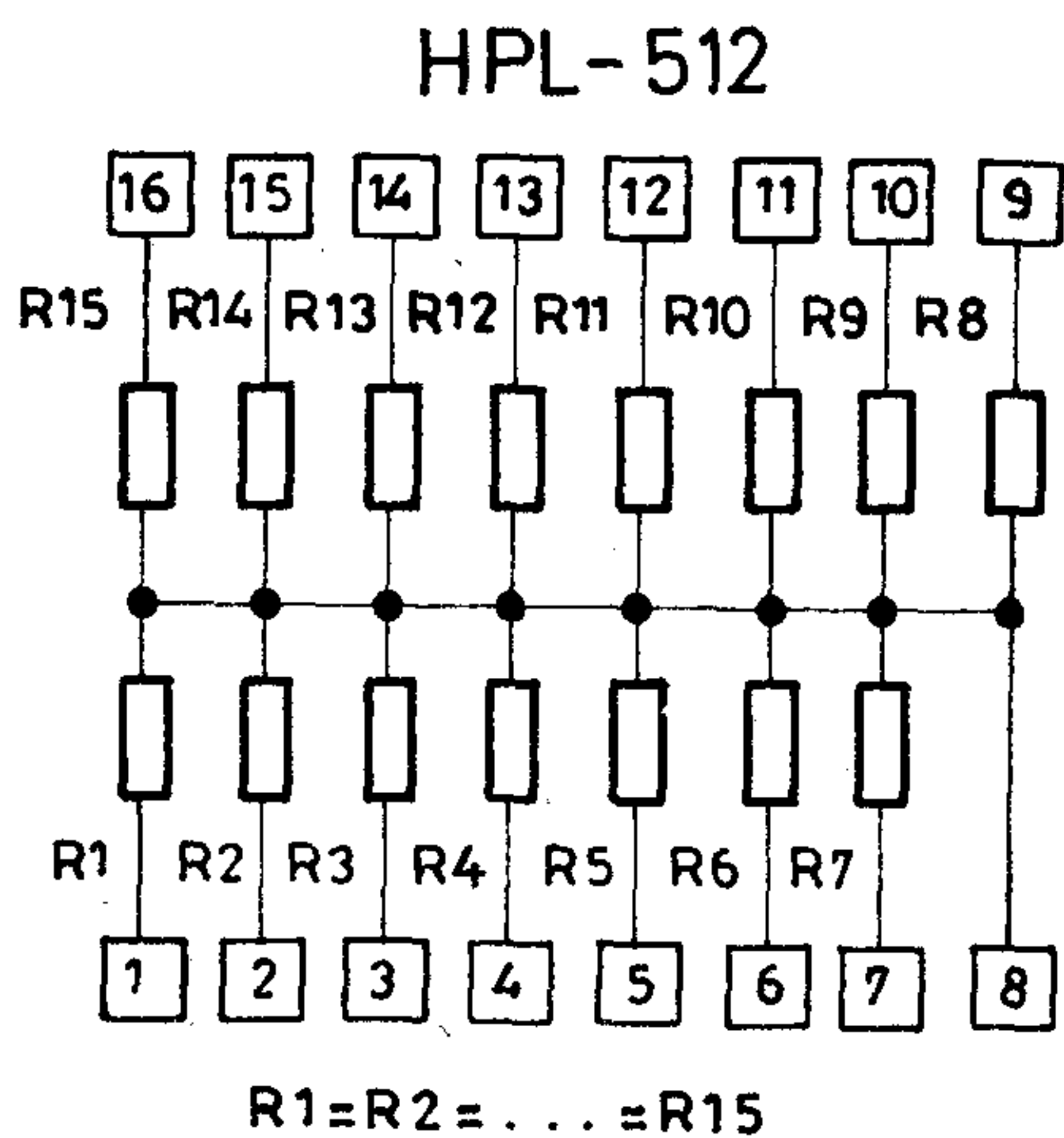
HPL-513
HPL-516

HPL-514
HPL-517

Méreték mm-ben



Elvi kapcsolás
HPL-513



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

Plavec István



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

Д-р Фридеш, И.:

Системы радиосвязи с методом распределения спектра

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 4.

В статье после определения распределения спектра описываются обычные методы распределения спектра. Исследуется влияние интерференции, возможные методы модуляции, а также возможности разведки и расшифровки. После определения названия канала с многостанционным доступом описываются привилегия деления по кодам и приманение его. Наконец, коротко описывается деление элементарно, имеющая место в распределении спектра, применяемая в технике связи и в локационной технике.

Чорнаи, Л.—Барна, Д.—Варади, Й.:

Фильтрующие испытания дискретных полупроводниковых приборов

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 4.

Рассматривается результативность испытания в значительной мере отклоняющихся друг от друга типов кремниевых планарных транзисторов, на основе начальных показателей, методами селективности и burn-in. Проведенные фильтрующие испытания на основе начальных показателей оказались отрицательными. При испытаниях методом burn-in было достигнуто приблизительно двухкратное повышение надежности.

Салаи, И.:

Проектирование усилителя параметрами „S“ на программируемом калькуляторе

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 4.

Статья излагает проектирование усилителя поддержкой калькулятором. Метод проектирования базируется на калькуляторе типа TI—59 или на его аналоге, при помощи которого предоставляется возможность проектирования оптимально линейных усилителей для любой полосы частот (используя программы, записанные на магнитных дисках). Программы выполняют одновременно наблюдение за стабильностью т. е. проведение расчета стабильности. Метод проектирования содержит также традиционные, мануальные расчеты, но эти расчеты в большой мере поддерживаются различными вспомогательными программами. В стадии проектирования, путем изменения некоторых параметров, через программы можно следить за созданием схемы. До изготовления и измерения запрограммированной, часто сложной схемы, предоставляется возможность проверки выполнения предъявляемых предписаний путем введения в калькулятор составных элементов запрограммированной схемы. (Контрольная программа.)

Пастор, Д.—Беркец, Й.—Надьне Фица, М.:

Структура тепловоспринимающего сенсора на основе принципа сопротивления распространения и вопрос термочувствительности

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 4.

На Предприятия Микроэлектроники продолжается разработка сенсора воспринимающего тепло на основе принципа сопротивления распространения. Предметом исследований является геометрическое воздействие и термокоэффициент, сопоставляя принципиальные расчеты и результаты измерений. Термозависимости сенсора воспринимающего тепла в температурном диапазоне 200—400 К.

Д-р Хангош, И.—Чертег, И.—не:

Ожидаемые изменения до конца тысячелетия качественных и количественных требований, предъявляемых к материалам специального качества, применяемых в технологии изготовления монолитных интегральных схем большой сложности

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1985. № 4.

Авторы рассматривают настоящую ситуацию в связи материалов специального качества, применяемых в технологии изготовления монолитных интегральных схем большой сложности и ожидаемое повышение т. е. уменьшение запросов к концу тысячелетия и ожидаемое повышение технических запросов к концу тысячелетия. Устанавливают, что именно в результате технических изменений увеличение объема выпуска интегральных схем большой сложности, не в каждом случае приводит к увеличению применения материалов специального качества, а в некоторых случаях остается неподвижным, в крайнем случае приводит к уменьшению их применения.

Dr. Frigyes, I.:

Спектрально расширенные системы передачи

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 4.

Nach Definierung der Spektrumausdehnung werden verschiedene Methoden erwähnt. Wirkungen von Interferenzen, Modulationsverfahren sowie Möglichkeiten der Aufklärung werden untersucht. Nach Definition der Mehrfachzugriff-Systeme sind die Vorteile des Codeverteilung sowie ihre Anwendungsgebiete dargestellt. Die Komplementarität der nachrichtentechnischen und radartechnischen Anwendungen wird kurz erwähnt.

Csornai, L.—Frau Barna, Gy.—Váradi, J.:

Ausleseprüfungen von diskreten Halbleitergeräten

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 4.

In diesem Artikel wird die Effektivität der mit Selektionsmethode und mit burn-in Methode durchgeführten Ausleseprüfungen erörtert, die bei den voneinander sehr unterschiedlichen Typen von Planartransistoren mit Plastgehäuse, realisiert wurden. Die auf Basis von Anfangsparametern durchgeführten Ausleseprüfungen waren erfolglos. Die Einführung der burn-in Methode resultierte eine Verbesserung der Zuverlässigkeit auf das Doppelte.

Szalay, I.:

Planung von Verstärkern mit S-Parameter, mittels programmierbaren Rechners

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 4.

Der Artikel erörtert ein Planungsverfahren mit Rechnerunterstützung für die Konstruktion von Verstärkern. Das Planungsverfahren ist auf einem Rechner Typ TI—59 (oder ähnlichen) basiert, mit Hilfe dessen (mit Programmen auf Magnetkarten gespeichert) die optimalisch linearischen Verstärker auf beliebiges Frequenzband geplant werden können. Mit Hilfe dieser Programme kann sogleich die Stabilität der Verstärker auch beherrscht werden und dimensioniert werden. Das Planungsverfahren beinhaltet auch traditionelle, manuelle Kalkulationen, die jedoch mit verschiedenen Hilfsprogrammen erfolgreich unterstützt werden. Während der Planungsphase können wir, mit der Veränderung gewisser Parameter, den Verlauf des Stromkreises mit Hilfe des Programms beobachten. Noch vor dem Aufbau und der Messung des geplanten Stromkreises (der oft sehr kompliziert ist) gibt es eine Kontrollmöglichkeit durch die Eingabe in die Maschine der geplanten Bauelemente, ob die vorausgesetzte Spezifikation erfüllt worden ist. (Kontrollprogramm.)

Pásztor, Gy.—Berkecz, J.—Frau Nagy, Ficza, M.:

Die Struktur des auf dem Prinzip des Ausbreitungswiderstandes basierenden Wärmefühlers, sowie die Frage der Wärmeempfindlichkeit

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 4.

Bei dem Unternehmen für Mikroelektronik ist eine Forschungsarbeit im Gange, für die Entwicklung eines Wärmefühlers, welcher auf dem Prinzip des Ausbreitungswiderstandes basiert ist. Gegenstand der Untersuchungen bestand aus folgenden Themen: die Frage der geometrischen Wirkungen und des Temperaturkoeffizienten der Vergleich zwischen der theoretischen Rechnungen und der Messergebnisse, sowie die theoretische Temperaturabhängigkeit des Widerstandes im Temperaturfühler, in einem Bereich der Temperatur von 200—400 K.

Hangos, I. Dr.—Frau Cserteg, I.:

Die bis zum Ende des Jahrtausends zu erwartenden Veränderungen in den qualitativen und quantitativen Forderungen gegenüber den Materialien besonderer Qualität, welche in der Fertigungstechnologie der monolithischen integrierten Schaltungen von grosser Kompliziertheit verwendet sind

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. Nr. 4.

Die Verfasser dieses Artikels geben uns einen Überblick auf die heutige Lage der Materialien von hoher Qualität, welche in der Fertigungstechnologie der monolithischen integrierten Schaltungen von grosser Kompliziertheit verwendet sind. Ferner wird ein Überblick auf die zu erwartende Steigerung bzw. Verminderung des Bedarfs, im Zusammenhang mit der zu erwartenden technologischen Veränderungen gegeben. Es wurde festgestellt, dass eben infolge der technologischen Veränderungen führt die Fertigung von integrierten Schaltungen von grosser Kompliziertheit, nicht in jedem Fall zur Erhöhung der Verwendung von Materialien besonderer Qualität, sondern in einigen Fällen zur Stagnation oder sogar zur Verminderung der Verwendung dieser Materialien.

Dr. Frigyes, I.:

Spread spectrum communication systems

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 4.

After defining the principle of spread spectrum systems different methods of spread spectrum communications are presented. The effects of interference, modulation methods and methods of interception are dealt with. A definition of the multiple access channel is given, and the advantages and application fields of code division multiple access systems are investigated. The complementarity of spread spectrum techniques as applied in communication and radars, are briefly outlined.

Csornai, L.—Barna, Gy.—Váradi, I.:

Tests for Selections of Discrete Semiconductor Devices

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 4.

The effectiveness of selections of plastic encapsulated silicon planar transistors of different types has been tested on the basis of the initial parameters and selection on the basis of the initial parameters has not been effective. The application of burn-in method has resulted in an improvement of about a double reliability.

Szalay, I.:

Amplifier—designing by S-parameters on programmable calculator

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 4.

The paper deals with the calculator aided design method of an amplifier with the aid of S-parameters. The planning method is based on a TI—59 or a similar type calculator by which an optimally linear amplifier can be designed for any desired frequency range. With the help of the program, stored on magnetic-cards, the stability of amplifiers can be calculated and holded on. The planning method also

contains traditional manual calculations, but these are supported by different auxiliary programs. In the period of planning by varying some parameters we can follow up the development of the circuit through the program. Before building up and testing a difficult circuit, there is a possibility of checking by in-putting the circuit elements and components into the calculator and investigating whether the aimed Specification is realised or not (Checking program).

Pásztor, Gy.—Berkecz, J.—Nagyné Ficza, M.:

**The Silicon Spreading Resistance Temperature Sensor
Questions of Structure and Sensitivity**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 4.

A development work was done in the Enterprise for Microelectronics MEV to realize the silicon spreading resistance temperature sensor. The main characteristics of this sensor were examined theoretically and experimentally. The effect of geometry to the value of resistance and the temperature coefficient were calculated and compared with measured results. The temperature characteristic of this sensor in the range of 200—400 K was determined theoretically.

Dr. Hangos, J.—Cserteg, J.-né:

**The expected change of qualitative and quantitative parameters
and need of high purity chemicals used in the manufacturing
technology of LSI circuits up to the end of this century**

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1985. No. 4.

The present state of the production and use of high purity chemicals, applied in the manufacture of monolite LSI circuits as well as the expected increase or decrease in the demands up to the end of the century as function of technological alternations have been reviewed. It has been stated, that due to technological development the increase in the production of monolite LSI circuits will not in every case bring about an increase in the demand for high purity chemicals, it will remain in many case unchanged, or even decrease.

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 — 85.3472 Budapest, 1985. Felelős vezető: Sümeghi Zoltán igazgató

Index: 25 375