



**A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET
FOLYÓIRATA**

**XXXV. évfolyam
B U D A P E S T**

1984

12

HÍRADÁSTECHNIKA

A HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET FOLYÓIRATA

XXXV. évfolyam 1984. 12. szám

BHG ORION TERTA

MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

XXX. évfolyam 1984. 12. szám

MEV REMIX TKI

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

II. évfolyam 1984. 12. 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. Gosztonyi Géza, Honti Ottó, Klug Miklós,
Laczkó Endre, Tölgyesi László

MEV

Rovatvezető: Kászonyi László
Tudományos szerkesztő: Dr. Kormány Teréz
Balogh Albert, Csornai László, Czermann
Mihály, Hidas György, Huszka Zoltán,
dr. Ligeti Róbertné, dr. Mátay Géza,
dr. Motál György, Schödl Ervin

ORION

Rovatvezető: Jakubik Béla
Tudományos szerkesztő: Dr. Frigyes István
Csernoch János, Froemel Károly, Szabó
Károly, Szász Gerő

REMIX

Rovatvezető: Rippel Géza
Tudományos szerkesztő: Dr. Kormány Teréz
Bodnár László, Kovács Gyula, Mészáros
Sándor, Molnár László

TKI

Rovatvezető: Dr. Baranyi András
Tudományos szerkesztő: Dr. Lajtha György
dr. Henk Tamás, dr. Kása István, Megyesi
Csaba, dr. Sárkány Tamás, dr. Simonyi Ernő

TERTA

Rovatvezető: Bánsághi Pál
Tudományos szerkesztő: Dr. Gordos Géza
Baján Tibor, Benedek Elek, Halmi Gábor,
Hutter Mihály

*

Szerkesztőségi ügyekben
és kéziratokkal kapcsolatban
felvilágosítást ad: Szöllősi Györgyné,
telefon: 495-098

ROVATOK

Egyesületi élet
Rendszertechnika
Kapcsolástechnika
Vezetékes technika
Fénytávközlés
Vezeték nélküli technika
Adástechnika
Vételtechnika
Mikroelektronika
Alkatrésztechnika
Hálózatelmélet
Elektromágneses problémák

ROVATGAZDÁK

HTE (H)
TKI (□)
BHG (#)
TERTA (↔)
ORION (*)
MEV (Λ)
REMIX (Δ)

ROVATTÁRSÁK

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

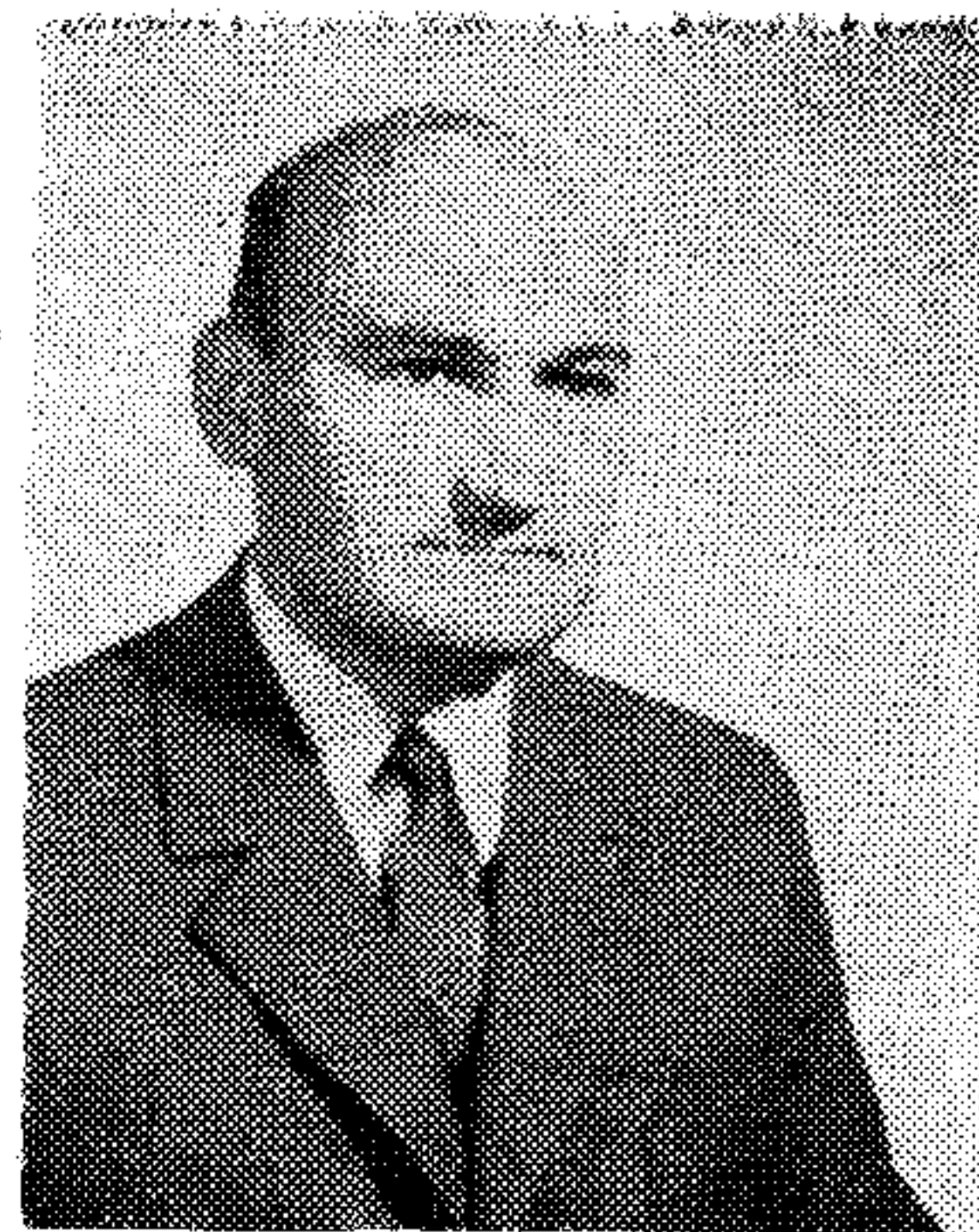
TARTALOM

KESSELYÁK PÉTER—VARGA GÁBOR: AR típusú távbeszélő- központok alkatrészbázisára vonatkozó megbízhatósági tapasztalatok	529
Szemle	535
Beszámoló a IV. Nemzetközi Megbízhatósági és Karbantarthatósági Konferenciáról (Franciaország, 1984. május 21—25.) (Balogh Albert)	536
DR. GEFFERTH LÁSZLÓ: Specifikáció-érzékenység és gyártási specifikáció	538
Compstat '84 szimpózium (Prága, aug. 27—31.) (Kovács János) ...	543
DR. KOCSIS FERENC: Gyors eljárások a diszkrét Fourier-transzfor- máció számítására. I. rész	544
Könyvismertetés	549
DR. VESZELY GYULA—DR. ZOMBORY LÁSZLÓ: Monolit integ- rált áramkörök adalékolási és oxidálási technológiai lépéseinek kétdimenziós szimulációja. Összefoglaló	550
DR. EISLER PÉTER—GÁTMEZEI JÓZSEF: Új módszerek a ha- gyományos kapcsolóberendezések üzemfelügyeletére és karban- tartására	559
Constronic '84 (Budapest, okt. 9—11.) (Bánsághi Pál)	563
REMIX: Fémezett polipropilén kondenzátorok ajánlott termék- választéka '84	564
KONTAKTA: Miniatur és szubminiatur billenőkapcsoló-család ...	568
Beszámoló a IV. Energiaipari Távközlési Szemináriumról (Siófok, szept. 19—21.) (Halász Miklós)	572
Alkatrész-szeminárium '84 (Siófok, szept. 26—28.) (Bráda Ferenc)	573
Tartalmi összefoglalások	575

AR típusú távbeszélő-központok alkatrészbázisára vonatkozó megbízhatósági tapasztalatok

KESSELYÁK PÉTER—VARGA GÁBOR

BHG Fejlesztési Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

Viszonylag kevés hazai tapasztalat áll rendelkezésre üzemelő berendezésekben működő alkatrészek számszerű megbízhatósági mutatóira vonatkozóan, pedig ezek ismerete nélkülözhetetlen a gyártmány-fejlesztésben, valamint a karbantartás és tartalékellátás gazdaságos tervezéséhez. A cikk ismerteti a BHG és a Szegedi Postaigazgatóság együttműködésében az LME licence alapján gyártott AR típusú távbeszélő-központok 5 éves megbízhatósági referenciamegfigyelésének — alkatrészbázisra vonatkozó — legfontosabb számszerű adatait, továbbá rövid ismertetést ad magáról az adatgyűjtő és feldolgozó rendszerről is.

A hazai híradástechnikai alkatrész- és berendezésgyártó iparnak viszonylag kevés tapasztalata van arról, hogy termékei a gyárkaput elhagyva, az üzemeltetés során milyen számszerű megbízhatósági mutatókkal jellemezhetők. Ennek ismeretére pedig a piaci versenyképesség felméréséhez, a gyártmány-fejlesztéshez, a karbantartás és tartalékellátás hatékony és gazdaságos megtervezéséhez elengedhetetlenül szükség van.

A BHG Híradástechnikai Vállalat a Szegedi Postaigazgatósággal együttműködve 5 éves megbízhatósági referencia megfigyelést folytatott LME licence alapján gyártott crossbar rendszerű és postai üzemben működő ARF, ARM és ARK típusú központjain, többek között egy 1200 ívpontos ARM tranzitközponton és egy 11 000 vonalas ARF városi központon — abból a célból, hogy a beépített áramkörök és alkatrészek megbízhatósági mutatóit, valamint a karbantartás jellemzőit meghatározza.

Az 1982 decemberében befejeződött — több száz milliárd alkatrészből álló — adatgyűjtés központjaink nemzetközileg korszerű megbízhatósági szintjét tanúsította, áramköri és alkatrész szinten egyaránt. Nem célunk foglalkozni a speciálisan telefontechnikai alkatrészválasztékkal — így a jel-fogókkal, kapcsológépekkel és sávyszerelvényekkel —, hanem csupán néhány, a híradástechnikai ipar egészét érdeklő alkatrészféleség megbízhatósági adatait kívánjuk közrebocsátani.

1. A vizsgált központok alkatrészbázisának jellemzése

A vizsgált központok alkatrészbázisa javarészt BHG gyártású jelfogókból, kapcsológépekből, sávyszerelvényekből, egyoldalas nyomtatott áramköri lapokból és 20 pólusú dugaszokból tevődik össze, másodszorban tartalmaz hazai alkatrészgyártó ipar által

KESSELYÁK PÉTER

A Szegedi Tudományegyetem matematika-fizika szakán 1958-ban szerzett diplomát. 1959 óta a BHG Híradástechnikai Vállalat fejlesztő mérnöke. Államközi műszaki-tudományos együttműködés keretében éveken át dolgozott szakértőként Dél-Kínában, majd Kubában híradástechnikai gyártmányok trópusállósági és megbízhatósági vizsgálatait végezve. E témában számos szakmai

cikk és konferencia-előadás szerzője. Tagja az Európai Minőségügyi Szervezet és az IEC 56. Megbízhatósági Szakbizottságai hazai munkacsoportjának. Fő érdeklődési területe a rendszer-megbízhatóság, beleértve ennek hardware- és software összetevőit. A hibakapacitás, mint új rendszer-megbízhatósági jellemző bevezetéséért megkapta az Európai Minőségügyi Szervezet 1983. évi nívódíját.

előállított termékeket és csak elenyészően csekély mértékben import alkatrészeket. Importból származtak a hazai ipar által nem gyártott speciális félvezető eszközök, valamint a telefontechnika igényeit kielégítő, nagy megbízhatóságú elektrolit kondenzátorok. A központokba beépülő alkatrészbázis az alkatrészgyártó ipar 1976-os évjáratát képviselte. Ettől az alkatrész-generációtól senki sem várt túlzottan magas megbízhatósági szintet. Az eredmények várakozáson felülinek bizonyultak, és ezt több körülmény magyarázza.

2. Alkatrész-megbízhatóságot javító tényezők

Vegyük sorra ezeket:

- 2.1. A referencia megfigyelés kezdetekor már 1 éves postai üzemelés állt a központok „háta mögött”, így a kezdetben hibás alkatrészek kiszűrése még a referenciába vétel előtt megtörténhetett.
- 2.2. A központok 25 °C körüli légkondicionált gépteremben, 45–75% relatív légnedvesség mellett üzemeltek, ami kedvező környezeti feltételt jelent.
- 2.3. Az alkatrészek áramköri alkalmazásának fizikai feltételei (terhelés, hőmérséklet stb.) jelentős redundanciát tartalmaznak. A központok állandó, éjjel-nappali üzemmódban működtek. Az áramkörök üzemi egyenfeszültsége — a csengető áramkörök kivételével — néhány millivolttól 48 V-ig, míg a kapcsolt áramok zöme 1 mA-tól 200 mA-ig terjedt. Az érintkezők bontásakor keletkező káros induktív feszültségcsúcsok ellen — minden kritikus he-

Beérkezett: 1984. III. 20. (#)

lyen — szikraoltó RC-tagok, illetve diódák nyújtottak megfelelő védelmet. Az áramköri tervezés gondoskodott arról, hogy a beépített alkatrészek névleges terhelhetőségüknek legfeljebb 60%-áig legyenek üzemszerűen kihasználva.

- 2.4. Külön ki kell emelni, hogy az alkatrészek megbízhatóságát kedvezően befolyásoló tényezők közül a legdöntőbb és leghatékonyabb a telefontechnikai áramkörökbe tervezett funkcionális hibatűrő képesség. Ennek a lényege az, hogy az alkatrész minősítésének alapjául szolgáló hibakritérium és az alkatrész kritikus paraméterének funkcionális áramköri hibát okozó küszöbértéke között minél nagyobb biztonsági sáv helyezkedjék el. Ha ezt a sávot sikerül elég nagyra tervezni, akkor ezáltal az áramköri megbízhatóságot és vele együtt az alkatrész-megbízhatóságot másfél—két nagyságrenddel fokozhatjuk anélkül, hogy ehhez az alkatrészek fizikai megbízhatóságát fokozni kellene. A telefontechnikai áramkörökben nagyon sok ilyen jellegű redundancia található, ami kedvezővé teszi az alkatrészek megbízhatóságáról nyerhető tapasztalati képet [1], [2].

Fentiek előrebocsátása után nem lesz meglepő az az adatsor, amelyet itt be kívánunk mutatni a 8 évvel ezelőtti hazai és import alkatrész-bázis telefontechnikai alkalmazásban tapasztalt megbízhatóságáról.

3. A referenciamegfigyelés terjedelme

Az egyes alkatrészféleségekre vonatkozó megfigyelések terjedelmét alkatrészóránként kifejezve az 1. táblázat foglalja össze. Megjegyezzük, hogy a táblázat nem tartalmazza a jelfogókat, crossbar gépeket és speciális telefontechnikai szerelvényeket, amelyek együttes megfigyelési volumene további 100 milliárd alkatrészóra nagyságrendet tesz ki.

4. Az eredmények értelmezése

Feltételezve, hogy az alkatrészek meghibásodása időben exponenciális eloszlású, eredmény gyanánt mindenütt az alkatrészek meghibásodási rátájának 60%-os felső konfidencia-határát adtuk meg, hiba-



VARGA GÁBOR

Diplomáját 1976-ban a Budapesti Műszaki

Egyetem Gépészmérnöki Kar Műszertechnika Ágazatán szerezte. Diplomamunkájának témája elektromechanikus rendszerek megbízhatósági értékelése volt. 1976 óta a BHG Híradástechnikai Vállalat dolgozója. 1979-ben szakmérnöki oklevelet szerzett. Jelenleg a BHG Fejlesztési Intézetében telefonközpontok megbízhatósági kérdéseivel foglalkozik.

intenzitás egységben, FIT-ben kifejezve. (1 FIT = 10^{-9} hiba/óra.) A 60%-os felső konfidencia-határ azt jelenti, hogy ha a megfigyeléssorozatot más, de felépítésében azonos AR központokon, hasonló alkalmazási feltételek között megismételnénk, akkor az esetek 60%-ában jobb (kisebb) valódi hibarátát értéket tapasztalhatnánk, mint a konfidencia-határként megadott hibarátáérték.

Az eredményeket azért nem átlagértékben adtuk meg, mert sok alkatrészféleség esetében egyáltalán nem fordult elő hiba a megfigyelés során ($r=0$), így ezeknél a meghibásodási ráta átlagértékének ($\lambda=0$) nem volna értelme. A 60%-os konfidenciahatár azonban ekkor is értelmezhető, és ez a tény egységes, összehasonlítható értékelést tesz lehetővé a különböző alkatrészféleségek megbízhatósága között. Az $r=0$ hiba alapján számított eredményeket szaggatottan aláhúzva megjelöltük, figyelmeztetve arra, hogy a megfigyelés továbbfolytatása esetén feltehetően jobb (alacsonyabb) hibarátát kaphatnánk.

5. Konkrét eredmények

Az 5 éves referencia legfontosabb tapasztalatait alkatrészfajtánként táblázatokba tömörítettük, amelyek a 2—5. táblázatban láthatók. A 2. táblázat az R 527 típusú szénréteg-ellenállás meghibásodási rátáját mutatja — az ellenállás névértékének nagyságrendje szerint ohm-tartományokra bontva. Az első tartományba a 31 ohm alatti ellenállások tartoz-

1. táblázat

AR típusú elektromechanikus crossbar-központok 5 éves postai MEGBÍZHATÓSÁGI REFERENCIA megfigyelésének TERJEDELME a beépített főbb ALKATRÉSZ-csoportok vonatkozásában (Telefontechnikai jelfogót, kapcsológépet, tekercseket és sávszerelvényeket kivéve)

	db	Alkatrészóra-volumen
Forrasztási pont	5 000 000	188 milliárd
R 527 szénréteg-ellenállás	581 000	25,4 milliárd
1N 4007 dióda	227 000	9,9 milliárd
C223 poliészter kondenzátor	61 000	2,8 milliárd
M9001 RC szikraoltó	57 200	2,5 milliárd
LME 20-pólusú dugasz	21 700	950 millió
Olvadó biztosíték betét	12 800	563 millió
Miniatűr 1-oldalas NYÁK-lap	19 000	(95 m ²) 835 millió
RIFA PEG 124 elektrolit kond.	10 700	470 millió
Egyéb kondenzátor és félvezető	16 600	730 millió
Reed jelfogó	1 280	57,3 millió

R 527 szénréteg-ellenállás megbízhatósága

R 527 szénréteg-ellenállás (REMIX) OHM-tartománya	5 éves megfigyelés volumene alkatrészóra	Spektrális százalék	Hibák száma, r			λ meghibásodási intenzitás 60%-os felső konfidenciahatára FIT		
			ARM	ARF	összes	ARM	ARF	összes
(1)+(10)	299,4·10 ⁶	1,17	0	0	0			3,17
(100)	9,71·10 ⁹	38,2	6+10	2	18	14,8	0,36	2,04
(1 k)	9,81·10 ⁹	38,9	3	3	6	2,62	0,51	0,74
(10 k)	5,35·10 ⁹	21,0	0	2	2	0,74	0,76	0,58
(100 k)+(M)	180,9·10 ⁶	0,73	0	0	0	12,9	8,84	5,25
Együtt	25,44·10 ⁹	100	19	7	26	4,73	0,40	1,10

nak, az utolsóba a 31 kilohm felettiek. A három középső tartományban a 100 ohm, 1 kohm, illetve 10 kohm névérték a logaritmikus sávközép értéket jelenti.

Ha a felső névértéktartományt az $r=0$ hibából eredő „megfigyelési elégtelenség” miatt figyelmen kívül hagyjuk, vagy a szomszédos névértéktartományba beolvasztjuk, akkor látható, hogy — ARM és ARF központokra összesítve — a meghibásodási ráta növekvő névérték mellett csökken. Központonként külön vizsgálva: az ARM központ esetében a meghibásodási ráta viszonylag magasabb, mint az ARF központnál. Ennek oka kettős:

Egyrészt az 1200 ívpontos ARM tranzitközpont áramköreinek működési gyakorisága — a nagy tranzitforgalom következtében — fajlagosan kb. 8–10-szer akkora, mint az ARF központ áramköreié, márpedig a meghibásodási rátának van egy — a forgalommal arányos — összetevője.

Másrészt az ARM központ egy bizonyos áramkörében 10 esetben tapasztaltunk szisztematikus ellenállás-meghibásodást (ezt a táblázatban is külön feltüntettük). Mivel az ellenállások megbízhatósága általában jónak bizonyult, azért már egyetlen ilyen szisztematikus hibaforrás is képes volt a statisztikai összképet jelentősen befolyásolni. Úgy is mondhatjuk, hogy nagy megbízhatóságú alkatrészeknél a véletlenszerű meghibásodások elenyészően kicsi „hátterzajából” minden szisztematikus hiba hatása élesen kiugrik és a megbízhatósági jellemzők számszerű értékét elronthatja.

Ha a 10 db szisztematikus hibát leszámítjuk, akkor az ARM központban az R 527 ellenállás meghibásodási rátája — a táblázatban közölt 4,73 FIT helyett — 2,38 FIT lesz, ami még mindig közel hatszorosa az ARF központban érvényes 0,4 FIT értéknek. Ez a 6:1 arány a forgalmi terhelés különbözőségének terhére írandó, és arra figyelmeztet, hogy egy-ugyanazon alkatrésztípus megbízhatósága különböző alkalmazási feltételek között nagyon különbözőnek mutatható.

A 3. táblázat kondenzátorok, a 4. táblázat félvezetők meghibásodási rátáit mutatja, az ellenállásokéhoz hasonló rendszerezésben. Az ARM—ARF alkalmazás közötti különbség kondenzátoroknál durván 2:1, diódáknál 6:1 meghibásodási intenzitásarányt mutat.

Az 5. táblázatban a különféle elektromechanikai szerelvények megbízhatósági mutatóit foglaltuk össze. Igen jó eredmény született a forrasztási pontok megbízhatóságára (0,26 FIT). A többi elem megbízhatósága nem zárkozott fel az elektronikai elemek megbízhatóságához, bár az eredmények abszolút értékben nem rosszak. A reed jelfogók megbízhatósága nem kielégítő.

Külön megjegyzendő, hogy az ezüstnikkel érintkezőjű, 20 pólusú csatlakozó dugaszokon egyetlen olyan hiba sem fordult elő, ami dugaszcserét tett volna szükségessé, az érintkezési hibák száma azonban nem volt elhanyagolható. Azt tapasztaltuk, hogy a katasztrofális hibára vonatkozó meghibásodási ráta (=1 FIT) legalább 2 nagyságrenddel alacsonyabb az érintkezési hibára vonatkozó hibarátánál (104 FIT per 20 érintkező).

A nyomtatott áramköri lapra kapott megbízhatósági adatok nem a mai modern, 2-oldalas BHG nyákgyártási technológiára vonatkoznak.

Valamennyi elektromechanikus szerelvénynél megfigyelhető, hogy meghibásodási intenzitásuk magasabb az ARM központban, mint az ARF-ben, jól lehet a különbség nem olyan éles, mint az elektronikai elemek esetében.

6. Néhány következtetés

- 6.1. A referenciamegfigyelés eredményei bebizonyították, hogy ismeretlen vagy bizonytalan megbízhatóságú alkatrészekből is lehet korszerű megbízhatósági követelményeknek eleget tevő berendezést gyártani, ha az alkatrészek működési feltételeit gondosan választjuk meg, alkalmazva a fizikai alátérhelés, az áramköri hibatűrőképesség-növelés, a kezdetben hibás alkatrészek kiszűrése és a légkondicionált környezet nyújtotta lehetőségeket.
- 6.2. A mikroelektronika korszakának küszöbén fokozott figyelmet kell fordítani a mikroelektronikai alkatrész-bázis elektromechanikai elemeinek megbízhatóságára, mert ezek az elemek a berendezésgyártás műszaki fejlődésének jelenleg fékező erejét képezik. A reed jelfogók, biztosítékok és alacsony feszültség-szinteket, kis áramokat átvivő dugaszérintke-

Különböző kondenzátorok megbízhatósága

Alkatrész	5 éves megfigyelés volumene alkatrészóra	Hibák száma, r			λ meghibásodási intenzitás 60%-os felső konfidenciahatára FIT			
		ARM	ARF	összes	ARM	ARF	összes	
REMIX M9001 RC szikra- oltó 600 Ω , 470 nF	$2,5 \cdot 10^9$	2	1	3	3,13	1,32	1,68	
REMIX C223 poliészter kondenzátor 250 V, 2,2 μ F	$2,83 \cdot 10^9$	0	0	0			0,34	
RIFA PEG 124 elektrolit kondenzátor 10 μ F, 64 V	$470,7 \cdot 10^6$	1	1	2	11,4	6,77	6,59	
RIFA PFE 216 polisztirol 39,2 nF, 200 V	$106,0 \cdot 10^6$	0	0	0			8,96	
REMIX C220 polisztirol kondenzátor 39,2 nF, 63 V	$89,2 \cdot 10^6$	0	0	0			10,65	

4. táblázat

Diódák és tranzisztorok megbízhatósága

Alkatrész	5 éves megfigyelés volumene alkatrészóra	Hibák száma, r			λ meghibásodási intenzitás 60%-os felső konfidenciahatára FIT			
		ARM	ARF	összes	ARM	ARF	összes	
TUNGSRAM 1N4007 dióda 1000 V, 1 A	$9,97 \cdot 10^9$	1	3	4	2,0	0,47	0,53	
TUNGSRAM AA 117 dióda 90 V, 15 mA	$57,5 \cdot 10^6$	0	0	0			16,5	
Egyéb diódatípusok összesen	$132,0 \cdot 10^6$	1	0	1			15,2	
Összes diódatípus együtt	$10,11 \cdot 10^9$	2	3	5	2,92	0,46	0,62	
2 N2905A tranzisztor 60 V, 3 W	$66,0 \cdot 10^6$	0	0	0			14,4	
Összes tranzisztortípus együtt	$105,7 \cdot 10^6$	0	1	1			18,9	

5. táblázat

Elektromechanikai szerelvények megbízhatósága

Alkatrész	5 éves megfigyelés volumene alkatrészóra	Hibák száma, r			λ meghibásodási intenzitás 60%-os felső konfidenciahatára FIT			Megjegyzés
		ARM	ARF	összes	ARM	ARF	összes	
LME RAG 601, RAG 602 REED-jelfogó	$57,3 \cdot 10^6$	1	2	3	102,6	81,9	73,3	
BHG/LME 20-pólusú csatlakozó dugasz ezüst- nikkel érintkezővel	$950,4 \cdot 10^6$	49	46	95	163,5	77,1	104	érintk. hiba
		0	0	0	2,99	1,50	1,0	dugasz csere
BHG olvadó biztosíték betét, 0,5—5 A	$563,7 \cdot 10^6$	4	3	7	33,1	10,4	14,9	
Forrasztási pont	$1,88 \cdot 10^{11}$		46			0,26		
BHG 1-oldalas NYÁK-lap, 50 cm ²	$836,5 \cdot 10^6$	4	2	6	15	6,38	8,73	
Átlag 79,6 m ² NYÁK-felületen évente 1 hiba								

zők megbízhatóságát fel kell zárkóztatni a mikroelektronika többi alkatrészeinek megbízhatósági szintjéhez. Ehhez elsősorban az szükséges, hogy a mikroelektronikai jelfogók, kapcsolók és csatlakozók élettartam-vizsgálatuk során tegyenek eleget olyan új, adoptált megbízhatósági követelményeknek, amelyek kifejezetten millivoltos feszültségek és mA nagyságrendű áramok biztonságos és stabil átvitelére vonatkoznak.

- 6.3. Szeretnénk eloszlatni azt az illúziót, hogy egy berendezésbe beépített valamennyi alkatrész-típusra külön megbízhatósági mutatót lehet meghatározni. A hazai viszonyok között nagy volumenűnek számító AR megbízhatósági referenciamegfigyelés bebizonyította, hogy — ha a rendszer megbízható — akkor a hibák száma alkatrészfajtánként csak nagyon lassan gyűlik. Márpedig a meghibásodási ráta kellő konfidenciaszintű meghatározásához típusonként legalább 4–5 hiba „termelődésére” lenne szükség. Több száz beépített alkatrész-féleséget figyelembe véve, ez több ezer hiba keletkezésének kivárását igényelné, ami a berendezések mai megbízhatósági színvonala mellett — szerencsére — lehetetlen. Így meg kell elégednünk azzal, hogy a több száz típus közül csak 15–20 típushoz tudunk konkrétan hibarátát hozzárendelni (azokhoz, amelyek igen nagy számban vannak beépítve, vagy amelyek gyakran hibásodtak meg). A többi alkatrészféleségből összevontan alkatrész-családokat kell képezni és csak az egyes családokra vonatkozóan lehet megbízhatósági mutatókat meghatározni.

A legfontosabb meghibásodási intenzitás-értékeket (alkatrésztípusonként, illetve családonként, vegyesen) nagyság szerint sorba rendezve a 6. táblázatban adtuk meg. Az adatok itt *átlagértékeket* jelentenek — kivéve a C223 poliészter kondenzátor hibarátáját. (Ennél $r=0$ hiba miatt itt is a 60%-os felső konfidenciahatárt tüntettük fel.)

A megbízhatósági adatok közrebocsátása után nem érdektelen röviden áttekintést nyújtani arról az adatgyűjtő rendszerről, amelyben az eredmények megszülettek.

7. A megbízhatósági adatgyűjtés és feldolgozás módszere

A hazai üzemeltető, karbantartó vállalatok és a berendezésgyártók szervizszolgálatai az elhárított hibákat általában csak az anyagköltség és munkaidő-ráfordítás elszámolása céljából adminisztrálják, de a gyártmánymegbízhatóság értékeléséhez szükséges kiegészítő és háttéradatokat nem gyűjtik. Arra is több példa adható, hogy az adminisztratív úton, általánosan elrendelt megbízhatósági adatgyűjtés megbukott, mert a karbantartók

- irtóztak a „papírmunkától”;
- nem voltak érdekeltek abban, hogy — akár csekély mértékű — többletmunkát végezzenek;
- feladatukat alacsony szakmai színvonalon, hiányosan végezték;
- az adatokat meghamisították, hogy mulasztásaikat „kozmetikázzák”, vagy hogy többletjövedelemre tegyenek szert.

A BHG a megbízhatósági adatgyűjtés megszervezésekor kezdettől fogva két szempontot tartott szem előtt:

- adatgyűjtést csak megfelelő szakmai színvonalú, rátermett és személy szerint kijelölt karbantartó végezhet, adott megbízhatósági referencia körzetben; személy- és helyválogatás nélkül, általánosan elrendelt adatgyűjtés nem célravezető;
- a kijelölt karbantartókat az adatgyűjtéssel járó többletmunkáért évente anyagi ösztönzésben kell részesíteni; kiemeltségük és anyagi ösztönzésük erkölcsi megbecsülést is nyújt számukra, és kikapcsolja az adatok „túltermelésében”, „kozmetikázásában” vagy elhallgatásában való esetleges érdekeltségüket.

Ilyen feltételek mellett került sor a szegedi AR góckörzet sikeres megbízhatósági referenciamegfigyelésére 14 postai karbantartó bevonásával. Az adatgyűjtés és feldolgozás módszerét a BHG Fejlesztési Intézet rendszerfejlesztési főosztályán dolgoztuk ki. Az adatok R 20 számítógéppel történő feldolgozásához a BHG Számítóközpont nyújtott segítséget. A kitöltés többnyire a megfelelő „előregyártott”

6. táblázat

Alkatrészek rangsorolása meghibásodási rátájuk szerint

1. MEGHIBÁSODÁSI INTENZITÁS ÁTLAGÉRTÉKEK RANGSORA

REED JELFOGÓ (LME)	52,3 FIT
BIZTOSÍTÉK BETÉT (BHG)	12,5 FIT
TRANZISZTOR (TUNGSRAM+IMPORT)	9,5 FIT
DIÓDA (1N4007 NÉLKÜL), (TUNGSRAM+IMPORT)	7,6 FIT
MINIATŰR NYOMTATOTT ÁRAMKÖRI LAP (BHG)	7,2 FIT
DUGASZ-ÉRINTKEZŐ (LME), (érintkezési zavar)	5,0 FIT
ELEKTROLIT KONDENZÁTOR (RIFA)	4,3 FIT
RC SZIKRAOLTÓ (REMIX)	1,2 FIT
R 527 SZÉNRETEG-ELLENÁLLÁS	1,0 FIT
1N4007 DIÓDA	0,4 FIT
C 223 POLIÉSZTER KONDENZÁTOR	0,34 FIT
FORRASZTÁS	0,125 FIT

A felsorolt tapasztalati adatok 1976. évi alkatrészbázisra vonatkoznak.

Részlet a számítógépes eredménytablók jegyzékéből

Sorszám	Tablószám	Megnevezés
1	10	Az „észlelés forrása” kódok spektruma
2	11	A hibaészlelések közti idők (TBF) eloszlása
3	14	A hibánkénti hibakeresési idők eloszlása
4	15	A hibánkénti hibakeresésre fordított összes karbantartói munkaidők eloszlása
5	18	A hibánkénti javításra és ellenőrzésre fordított idők eloszlása
6	19	A hibánkénti javításra és ellenőrzésre fordított összes karbantartói munkaidők eloszlása
7	20—11	A hibánkénti üzemkiesési idők eloszlása
8	23	A hibánkénti forgalomátesztő képesség csökkenésének eloszlása
9	30	Az „üzemzavar megnevezése” kódok spektruma
10	31	Az „üzemzavar forráshely” kódok spektruma
11	32A	A különböző áramköri jelű <i>keretekben</i> észlelt hibák aránya az összeshez képest
12	32D	A különböző áramköri jelű keretek meghibásodási intenzitása
13	34/37/41A	A különböző áramköri jelű <i>sávokban</i> tapasztalt hibák százalékos aránya
14	34/37/41B	A sáv szintű egységek „neme kódokkal” jelzett csoportjaiban előfordult hibák százalékos aránya
15	34/37/41D	A különböző áramköri jelű sávok meghibásodási intenzitása
16	35/38/42/45A	A különböző <i>szervélyekben</i> tapasztalt hibák százalékos aránya
17	35/38/42/45B	A szervélyek „neme kódokkal” jelzett csoportjaiban tapasztalt hibák százalékos aránya
18	35/38/42/45C	A különböző rajzszámú szervélyekben tapasztalt hibák százalékos aránya
19	35/38/42/45D	Szervélyek meghibásodási intenzitása
20	43/44/46/47B	Az <i>alkatrészek</i> „neme kódokkal” jelzett csoportjaiban előfordult hibák százalékos aránya
21	43/44/46/47C	A különböző rajzszámú alkatrészekben tapasztalt hibák százalékos aránya
22	43/44/46/47D	A különböző rajzszámú alkatrészek meghibásodási intenzitása
23	51	A „hiba megjelenési formája” kódok spektruma
24	52	A „hiba oka” kódok spektruma
25	53	A „hiba elhárításmódja” kódok spektruma
26	14+ 18/30	Az „üzemzavar megnevezése” kódokhoz tartozó hibakeresési+jav. és ell. idők súlyozott átlaga
27	14+ 18/31	Az „üzemzavar forráshelye” kódokhoz tartozó hibakeresési+jav. és ell. idők súlyozott átlaga
28	14+ 18/51	A „hibamegjelenés formája” kódokhoz tartozó hibakeresési+jav. és ell. idők súlyozott átlaga
29	14+ 18/52	A „hiba oka” kódokhoz tartozó hibakeresési+jav. és ell. idők súlyozott átlaga
30	14+ 18/53	A „hiba elhárításmódja” kódokhoz tartozó hibakeresési+jav. és ell. idők súlyozott átlaga
31	23/30	Az „üzemzavar megnevezése” kódokhoz tartozó forg. átesztő képesség csökk. súlyozott átlaga
32	23/52	A „hiba oka” kódokhoz tartozó forg. átesztő képesség csökk. súlyozott átlaga
33	32A/14+ 18	A különböző áramköri jelű <i>keretekben</i> tapasztalt hibákhoz tartozó hibakeresési+jav. és ell. idő
34	32A/23	A különböző áramköri jelű <i>keretekben</i> tapasztalt hibákhoz tartozó forg. átesztő képesség csökk.

válasz aláhúzását igényelte csupán. Az adatgyűjtés és feldolgozás kiterjedt a rendszer- és áramköri megbízhatóság, a karbantarthatóság és használhatóság szempontjaira. Ezen kívül az áramköri és alkatrész-megbízhatósági mutatók meghatározásához szükség volt számos, ún. *háttéradat* gyűjtésére és feldolgozására. Ki kellett dolgozni emellett a hibák helyének egyértelmű behatárolását és számítógépi kódolását lehetővé tevő hierarchiarendszert, amely egyúttal alkalmas a központokba beépített elemek darabszámainak pontos meghatározására is.

A megfigyelt nagy bonyolultságú telefonközpontok indokolták, hogy rendszertechnikailag szintekre bontva kezeljük azokat. Ötszintes hierarchiarendszert dolgoztunk ki ahhoz, hogy a meghibásodások helyét egyértelműen megjelölhessük. Ez alapkérdés volt a meghibásodási referencia adatgyűjtés beindításához. A hierarchiaszintek a következők: 1. keret szint; 2. áramkör szint; 3. sáv szint; 4. szervély szint; 5. alkatrész szint. A szinteken belül egység, illetve alkatrész családokat határoztunk meg. A telefonközpontokban levő összes egységet és alkatrészt feltérképeztünk, és minden hardware elemet valame-

lyik szinten valamelyik családba besoroltuk. Ezeknek a családoknak adtunk egy ún. „neme” kód jelet. Például az alkatrész szinten a papír kondenzátorok a „CP”, az elektrolit kondenzátorok a „CE”, a teljesítmény diódák a „DT”, a forrcsúcs az „FC” stb. „neme” kódokat kapták. A hibajelentő lapon beérkező információt számítógépes feldolgozásra alkalmas formába kellett hozni. Erre a célra egy ún. „Telefontechnikai hibakódoló lap” szolgált, melynek minden rovata megfelelt a hibajelentő lap megfelelő rovatának. Ez az átkódolás egyben adatellenőrzési fázis is volt. A kódlap kitöltője, aki nem az üzemeltető, hanem a BHG dolgozója, ellenőrizte a meghibásodási adatokat, és pótolta a hiányzó információkat. Ezek általában a szervély és az alkatrész BHG rajzszáma voltak. Az ellenőrzéshez és az átkódoláshoz szükség volt minden referenciába vont központ esetében helyszíntől függő áramköri kódkatalógusra. Ilyen áramköri kódkatalógus nem része a helyszíntől függő dokumentációnak, ezért a megbízhatósági mutatók meghatározása érdekében ezek elkészítése is elengedhetetlenné vált. Az általunk létrehozott áramköri kódkatalógusok speciális formában az öt

hierarchia szintre besorolva tartalmazták a központ hardware-jét áramköri jelek, rajzszámok, „neme” kódok és darabszámok feltüntetésével. A darabszámok közlése lehetővé tette, hogy az áramköri kód-katalógust egy másik fontos feladat megoldásához, az egységek, szerelvények, alkatrészek berendezésben működő darabszámának meghatározására is fel lehessen használni.

Az egység, szerelvény, alkatrész meghibásodási intenzitások meghatározásához szükség van a megfigyelési volumenek kiszámítására, alkatrészek esetén tehát a darab x óra volumenek meghatározására. Ehhez ismerni kell az alkatrészek előfordulási darabszámát a rendszerben, az idő függvényében. A különböző hierarchiasintű és „neme” kódú, áramköri jellel vagy rajzszámmal azonosított tételek darabszámait a referenciaközpontokra vonatkozóan az áramköri kód-katalógusok alapján meghatároztuk, és erre alkalmas kódlapokon rögzítettük.

A referencia meghibásodási adatok először lyukkártyára, majd közvetlenül mágnesszalagra kerültek. A számítógépes adatfeldolgozás R 20-as számítógépen történt. A számítógépes feldolgozás eredményei ún. egyszeres és kétszeres rendezések formájában

ban táblázatosan, tablókon jelentek meg. Központként több, mint 40 tabló készült, melyekre példaként a 7. táblázat mutat. Mindezzel csupán érzékeltetni akartuk azt, hogy milyen volumenű háttér munkát igényelt az előzőekben közrebocsátott megbízhatósági adatok meghatározása.

8. Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton szeretnének köszönetet mondani a Szegedi Távbeszélő Üzem karbantartóinak lelkiismeretes munkájukért, valamint Hont László programozónak, aki az R20 számítógépi programok kidolgozásában jelentős részt vállalt.

I R O D A L O M

- [1] BHG Műszaki Közlemények 1975. 5. szám: *Kesselyák P.*: „Telefonközpontokban alkalmazott alkatrészek és szerelvények megbízhatósági törvényszerűségei”.
- [2] Fernmeldetechnik 1976. 3. szám: *Kesselyák P.*: „Gesetzmässigkeiten der Zuverlässigkeit von Bauelementen und Baugruppen in Fernsprechzentralen”.

Szemle

Összeállította: GÁL FERENC

A BRG salgótarjáni rádiótelefongyára idei 635 millió forintos szocialista kivitelének zöme a Szovjetunióba irányul, ahova főleg URH-rádiótelefonokat szállítanak. Az adóvevők új generációja integrált áramkörökre épül és automatikus távjelző, ill. távkezelő berendezéssel van kiegészítve.

(*Világgazdaság*, 1984. február 11.)

*

Az USA és Japán közösen szándékozik lefektetni egy 12 ezer kilométer hosszú üvegszálkábel a Csendes-óceánon keresztül, ez a kábel az évezred végéig ki tudná szolgálni a kommunikáció szükségleteit. Nyolcezer méterig terjedő mélységben a tenger felszíne alatt a kábel egyik része összeköti az USA szárazföldjét Hawaii-val, másik része pedig innen Japánig és Guam szigetéig húzódik el. A munka elkészültét 1988-ra tervezik, költségei körülbelül 468 millió dollárra rúgnak. A két nagykapacitású kábel üzembe helyezésével a meglevő összeköttetés 40-szeresére növekszik az átviteli kapacitás.

(*Reuter*)

*

Az amerikai Strategic Inc. cég szerint a CMOS technológiával készülő áramkörök világméretű piaca 1990-re elérheti a 26,8 milliárd dollárt. A legjelentősebb változást az IC-iparban az NMOS dinamikus RAM-ok megjelenése és ipari elfogadása jelentette. Az elkövetkező néhány évben a CMOS technológia az NMOS helyébe lép minden alkalmazási területen. A CMOS előnye a sebességben, a teljesítményben, a megnövekedett hibaérzékenységekben (az alfa részecskék bevezetése következtében), és nem utolsósorban a funkciókra számított alacsonyabb költségekben jelentkezik. Az amerikai és japán vállalatok ma már nagyteljesítményű CMOS-chipeket gyártanak. Japán azonban lemarad az USA-tól abban, hogy az USA a CMOS-technológiát a mikroprocesszorokra is alkalmazza.

(*Prodinform Tájékoztató* — VHi-52/83)

*

Piacutatást végeztek az NSZK-ban a felhasználói áramkörök piacának várható alakulásáról. 1982 és 1992 között a felhasználói áramkörök piaci részesedése 24%-ról 37%-ra növekszik. Ezen belül vizsgálták a két alapvető eljárással, a saját kialakítású logikai cellákkal és a szabványos cellák alkalmazásával készülő áramkörök jövőjét is. Míg a saját fejlesztésű logikai cellákkal épülő felhasználói integrált áramkörök részesedése 1982-ben 75% volt, ez 1992-re 35%-ra csökken. Ugyanezen időszakban a szabványos cellákból építkező áramkörök részaránya 1%-ról 28%-ra emelkedik. Ez 5,5 milliárd dollárnak felel meg. Erre a piacra az jellemző, hogy csak kevés olyan vállalat van, mely egynél több eljárást tud alkalmazni. Így a felhasználók egy meghatározott szállítótól nagyon nehezen kaphatnak semleges értékelést, hogy sajátos lehetőségeikhez melyik eljárás lenne a legalkalmasabb. Jellemző továbbá, hogy a szabványos cellákkal építkező felhasználói integrált áramkörök gyártóinak jelenleg a kis konkurrencia következtében még viszonylag szabad kezük van az árak alakításában.

(*Der Elektroniker*, 1983. 13.)

*

A Motorola cég piacáttekintő anyaga szerint a félvezetők piacára 1987-re várható a következő visszaesés. Az előrejelzés az 1982. évi (15%) növekedéshez hasonló, 16% körüli növekedést vár 1984-ben Európára vonatkozólag. Jelenleg az európai részesedés a világtermelés 21%-át teszi ki és 1987-re a termelésben való részesedés kismértékű csökkenése ellenére, a jelzett növekedési ütem mellett a termelés megkettőszereződik az 1982. évi adatokhoz viszonyítva. Az 1983. évre várt növekedési mutatókat legnagyobb mértékben Nagy-Britanniában sikerült a cégnek túlszárnyalni, ahol 30%-os növekedést értek el. Az erőteljes növekedés területei — egész Európára érve — a gépkocsi-alkalmazás, az adatfeldolgozás és távközlés, valamint a közfogyasztói cikkekben való alkalmazások, beleértve a digitális TV-készülékeket.

(*Elektronics Industry*, 1983/12.)

*

Beszámoló a IV. Nemzetközi Megbízhatósági és Karbantarthatósági Konferenciáról (Franciaország, 1984. május 21–25.)

A franciaországi Perros-Guirec-ben negyedik alkalommal rendezték meg a nemzetközi részvételű megbízhatósági konferenciát. Ez a rendezvény több vonatkozásban — a tématerületeket és az egyes résztvevő szakemberek személyét is figyelembe véve — szoros kapcsolatban van a hazai hasonló témájú konferenciával (Megbízhatóság az elektronikában szimpózium). Ezért a francia konferencia szervezésével és lebonyolításának technikai kérdéseivel kapcsolatos tapasztalatok, amelyekre jelen beszámoló nem tér ki, közvetlenül hasznosíthatók az 1985-ben megrendezésre kerülő Relectronic '85 szimpóziumon. A francia konferencia műszaki-tudományos eredményeinek rövid összefoglalásában meg kell említeni, hogy a konferencián 26 ország több, mint 600 szakembere vett részt. Az elhangzott 120 előadás (hagyomány előadás, poszter-előadás és ún. „találkozó” előadás) témaválasztása, az előadásokat követő igen élénk vita és a neves külföldi szakemberek véleménye alapján megállapítható volt, hogy a *szakterület legfontosabb fejlődési irányai a következők:*

- integrált áramkörök minőségének és megbízhatóságának biztosítása és az elért szint igazolására vizsgálati rendszer kidolgozása,
- elektronikai alkatrészek és alapanyagok vizsgálata a gyártónál és a felhasználónál egyaránt, a felhasználók követelményei,
- hibafizikai vizsgálatok a hibamechanizmusok feltárására,
- rendszerek megbízhatóságának, karbantarthatóságának és használhatóságának értékelése költségtényezők függvényében,
- a Bayes-módszer és a faktorális analízis módszerének alkalmazása a megbízhatósági jellemzők meghatározására,
- software megbízhatósági modellek kidolgozása,
- megbízhatóság előrejelzése és az üzemeltetési megbízhatóság értékelése.

Az előzőekben felsorolt tématerületek közül ki kell emelni az integrált áramkörök megbízhatósági kérdéseivel foglalkozó előadásokat. Ezek a beszámolók részletesen tárgyalták többek között a DIFOX 1 technológiával megvalósított gyors bipoláris integrált áramkörök megbízhatóságának értékelését, a VLSI és gate-array áramkörök minőségének meghatározási módszerét, valamint az integrált áramkörök felhasználóinál végzett vizsgálatokkal kapcsolatosan eljárásokat ismertettek az LSI áramkörök (64 Kbites EPROM-ok és 64 Kbites dinamikus RAM-ok) felhasználói szempontú megbízhatósági értékelésére vonatkozóan.

A DIFOX 1 technológiával készített bipoláris integrált áramkörök magas hőmérsékleten (275 °C réteghőmérsékleten) végzett 8000 órás vizsgálataiból $2 \cdot 10^{-7}$ /óra meghibásodási ráta értéket határoztak meg. A legfontosabb hibamechanizmus — a francia előadók megállapítása szerint — az elektronmigráció volt. Baiget (Franciaország) gate-array áramkörök 125 °C hőmérsékleten végzett 2000 órás vizsgálatairól számolt be. A CMOS technológiával előállított áramkörök megbízhatóságát a technológia folyamat szigorú ellenőrzésével biztosították, így érték el, hogy a megbízhatósági vizsgálatok már az eszközök kiváló minőségét igazolták.

Számos japán (Ihata, Kawanaka, Yoshida) és olasz (Brambilla, Benedini, Pollino) felhasználó vállalatnál dolgozó megbízhatósági szakember foglalkozott a főként műholdakban alkalmazásra kerülő mikroelektronikai eszközök megbízhatóságának vizsgálatával. Megállapították, hogy az eszközök szállítóinak minősítésén túlmenően szűrővizsgálatokat, hibaanalízis vizsgálatokat kell a felhasználónak elvégeznie az üzemi megbízhatóság biztosítása érdekében. A 64 Kbites EPROM-ok 200 °C és 250 °C hőmérsékleten végzett 3000 órás vizsgálatából, a töltés elvesztés hibamechanizmusához tartozó 0,7 eV aktiválási energia figyelembevételével, 55 °C-ra extrapolálták az eredményeket, így $50 \text{ fit} = 5 \cdot 10^{-8}$ /óra meghibásodási ráta értéket kaptak, amely a felhasználási követelményeknek megfelelő érték.

CMOS integrált áramkörök esetében mind a gyártóknál, mind a felhasználóknál végzett vizsgálatok közül legfontosabbnak a 85 °C hőmérsékleten, 85% relatív légnedvesség-tartalom melletti vizsgálatokat tekintették, mivel ezek a legalkalmasabbak az alumínium fémmezés korróziója okozta hibák kimutatására (Rooney [USA], ITO [Japán]).

Az integrált áramkörök megbízhatóság- és minőség-biztosítási tevékenysége különös jelentőséggel szerepelt a minőségbiztosítással foglalkozó kerekasztal-vitában is. Arciszewski (Franciaország) vitaindító előadásában külön kitért a nagy bonyolultságú memóriák minőség- és megbízhatóság biztosításának fontosságára már a technológia folyamatok ellenőrzése során, majd ismertette a nemzetközi szervezetekben (például IECQ) kidolgozott vizsgálati rendszereket és javasolt szűrővizsgálati módszereket. Az előadást követő vitában a hozzászólók szükségesnek tartották, hogy az egyes minősítő jellegű vizsgálati sorozatokhoz — az USA-ban kidolgozott rendszerhez hasonlóan — Európában is rendelkezzen hozzá minőségi osztályokat, illetve minőségi tényező értékeket.

Rubat (Franciaország) a VLSI áramkörök minőségbiztosítás során feltétlenül szükségesnek tekintette a scanning elektronmikroszkóp használatát. Birolini (Svájc) egy független vizsgáló intézetben végzett tevékenység tapasztalatairól számolt be. Rámutatott arra, hogy az IC-felhasználóknak kereskedelmi minőségű eszközök esetében 100%-os idegenáru ellenőrzést és szűrővizsgálatot kell elvégezniük. LSI és VLSI eszközök esetében azonban a bonyolultságból adódó mérési nehézségek miatt és az újabb — miniaturizálásból adódó — hibamechanizmusok feltárása érdekében a vizsgálatok elvégzésére a független vizsgáló intézeteket kell felkérniük.

Az előadások egy jelentékeny része foglalkozott a megbízhatóság előrejelzés kérdéseivel, valamint az üzemeltetési adatok értékelésével. A felhasználói tapasztalatok fontosságát emelte ki Degrave (Franciaország) és rámutatott arra, hogy a gyártó és felhasználó közötti együttműködés hogyan csökkentheti az üzemeltetés során megfigyelt meghibásodások százalékos arányát. A telefonközpontok és az azokban felhasznált elektronikai alkatrészek üzemeltetési megbízhatóságát értékelte több előadás, így RYDBECK (Svédország), DUTT (NSZK), és LELIEVRE-MONFORT (Franciaország). Megállapították többek között, hogy még LSI áramkörök esetében is 10^{-8} /óra nagyságrendű meghibásodási rátát figyeltek meg. A

műanyag tokozású eszközök esetében a meghibásodások oka az esetek 60%-ában a korrózió volt.

Az elméleti tématerületeken, így a matematikai-statisztikai módszerek alkalmazása területén egyre fontosabb szerepet kap a Bayes-módszer és a faktoriális analízis módszerének alkalmazása (l. HRYNIEWICZ [LNK], Carlotti [Olaszország], Boulet [Franciaország]). Masude (Japán) egyszerű módszert ismertetett a Weibull-eloszlás paramétereinek becslésére rendezett mintaelemekből.

A rendszer-megbízhatóság értékelése területén a rendszer hatékonyság számításával foglalkozott Behmann (Kanada), Fischer (NDK), az angol Featherthorne pedig a rendszer-megbízhatóság szimuláció kérdéseit tárgyalta.

Végezetül a software megbízhatóságát jellemző modellekkel kapcsolatos előadást kell megemlíteni, amelyben a japán Ohba a nem-homogén Poisson-folyamatok felhasználásával modellezte a software hibákat. Decroix (Franciaország) pedig a software és hardware megbízhatóság értelmezése közötti különbségre mutatott rá. Hangsúlyozta, hogy a software megbízhatóság meghatározása során figyelembe kell venni azt a tényt, hogy degradációs meghibásodásokkal ez esetben nem kell számolni.

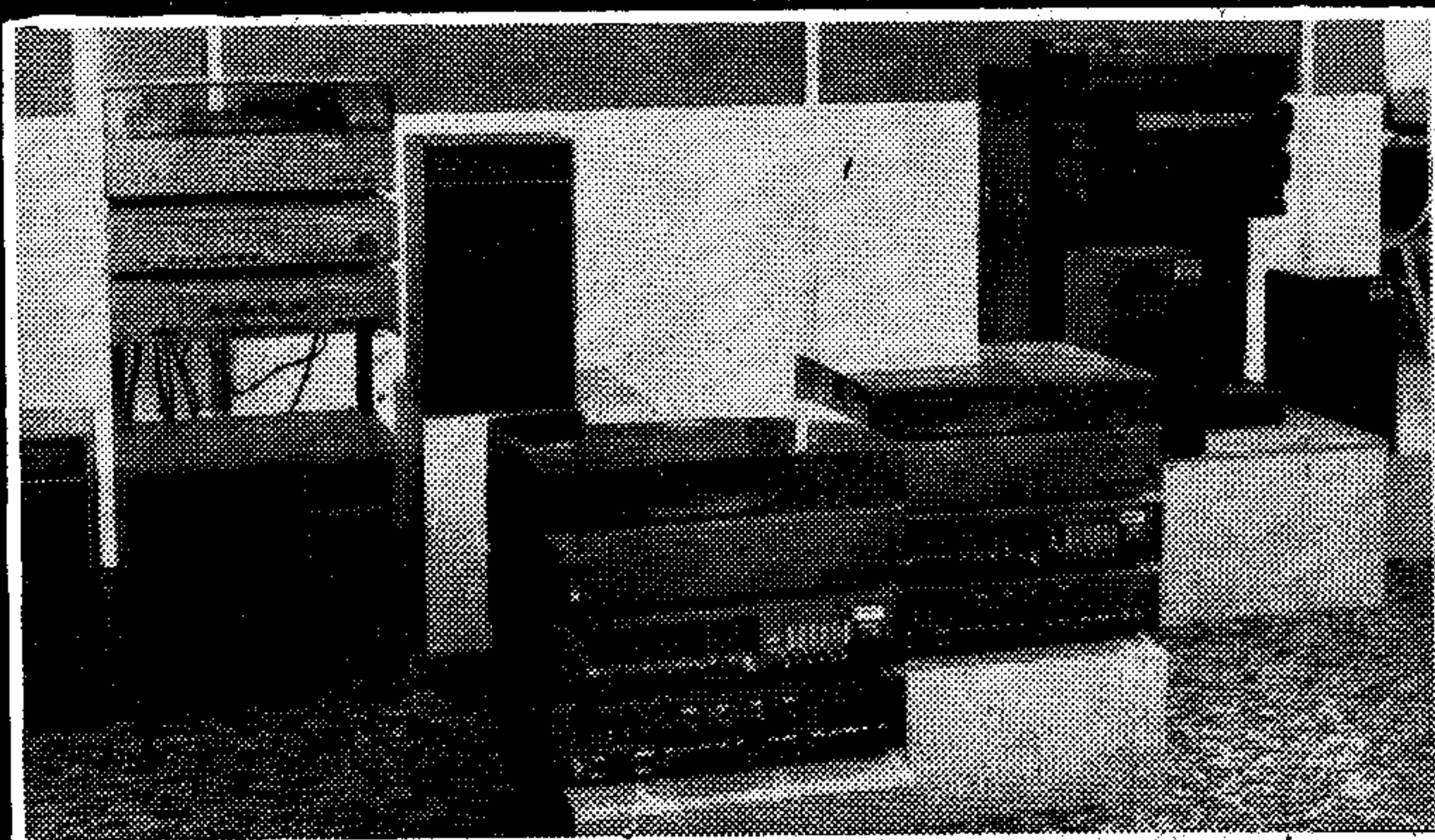
Balogh Albert

TELEKOM TELECOM

„Telekom” rádióelektronikai és hírközlő eszközöket, híradástechnikai alkatrészeket és műszereket exportáló és importáló külkereskedelmi társaság.
Külföldön végzett műszaki szolgáltatás a következők: komplett objektumok, létesítmények és iparvállalatok alaptevékenységével kapcsolatos kutatás, tervezés, szállítás, üzemeltetés, „know-how” juttatás és műszaki karbantartás.
Licencek és szabadalmak, valamint a velük kapcsolatos berendezések vásárlása és eladása.

VTIO „TELEKOM”

Szófia — Bulgária
Washington u. 17.
Telefon: 86-181
Telex: 022075, 022076

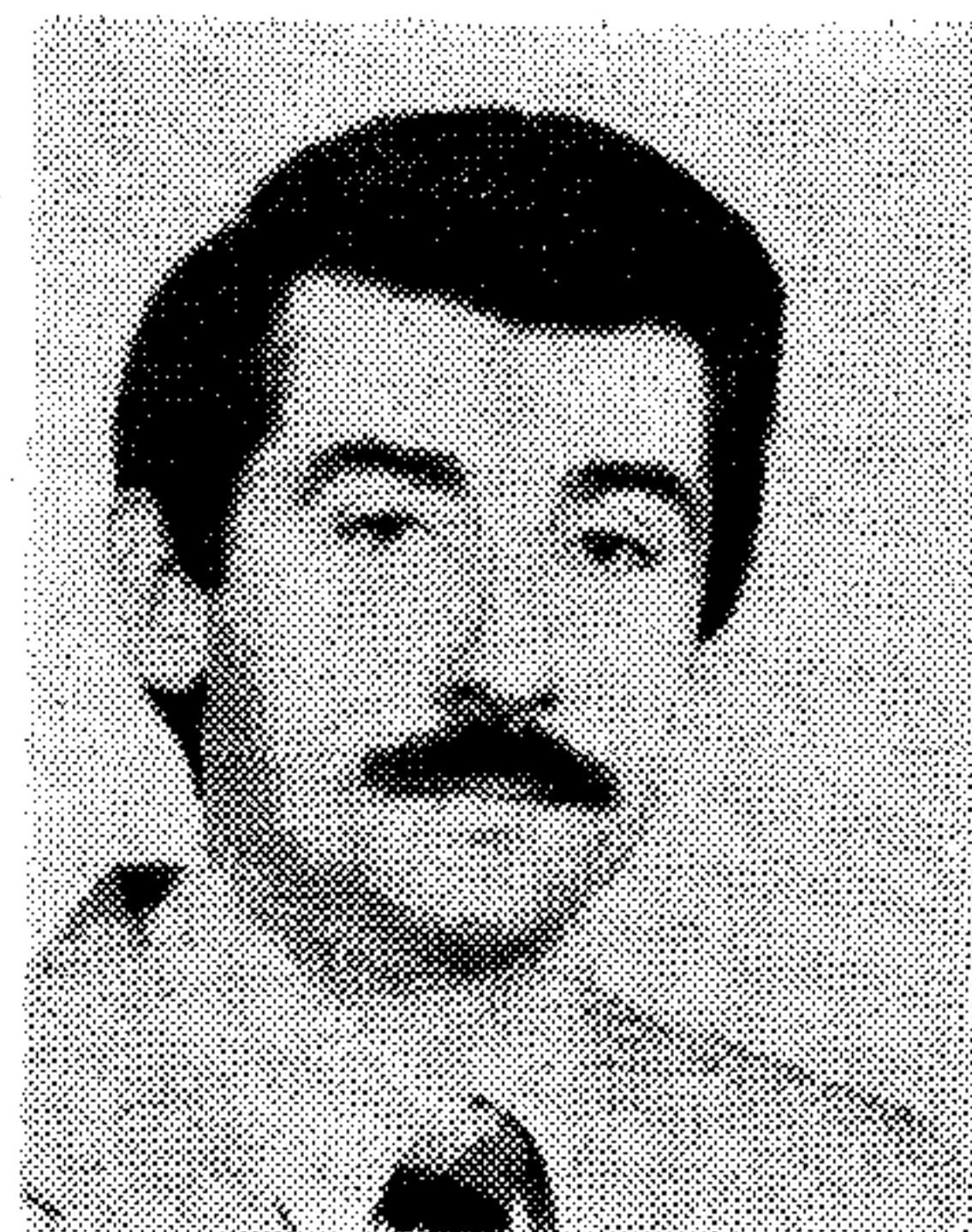


Specifikáció-érzékenység és gyártási specifikáció

DR. GEFFERTH LÁSZLÓ

Budapesti Műszaki Egyetem

Híradástechnikai Elektronika Intézet



A specifikáció-érzékenység a kihozatalnak a specifikáció szerinti érzékenysége, segítségével a kihozatal megváltozása különböző specifikációbeli változtatások hatására anélkül számítható ki, hogy újabb és újabb statisztikus analízist kellene végezni. A környezeti hatásoknak kitett áramkörök jellemzői megváltoznak, ezért az eredetnél szűkebb, úgynevezett gyártási specifikációt kell előírni, hogy a bekövetkező változásoknak tartalékot képezzünk. E gyártási specifikációt szintén a specifikáció-érzékenység segítségével határozzuk meg algoritmikus módon az eddigi heurisztikus megérzések helyett.

Elektronikus áramkörök gyártását gazdaságosabbá tevő egyik lehetőség a tolerancia-központosítás [1–3], amelyet alkalmazva úgy változtatjuk meg az áramköri elemek névleges értékét és toleranciáját, hogy a kihozatal a lehető legnagyobb, a költség a lehető legkisebb legyen. A tolerancia-központosítással tehát az áramkörtervező mindent megtett azért, hogy a leg gazdaságosabb áramkört állítsa elő az adott fix, változtathatatlan specifikációhoz.

A rendszertervező oldaláról azonban más a helyzet, a specifikáció változtatható. Egy rendszer különböző áramkörökből áll, amelyek specifikációit sokféleképpen írhatjuk elő oly módon, hogy az egész rendszerre nézve a specifikáció ugyanaz maradjon. Éppen ezért hasznos lehet a rendszertervező számára olyan információ, hogy melyek azok a kritikus frekvenciák, amelyeken a specifikációt nehéz tartani. Ezek azok a frekvenciák, amelyek a kihozatalt erősen befolyásolják. Amennyiben a rendszertervező számszerű információt is kap arról, hogy a specifikáció megváltoztatása milyen mértékben hat a kihozatalra, eldöntheti, hogy szükséges-e, ill. lehetséges-e a specifikációt megváltoztatni.

A következőkben először a kihozatalnak a specifikáció megváltozása szerinti érzékenységét (röviden specifikáció-érzékenységet) definiáljuk, s megadjuk a kiszámítási módot differenciális és nagy változású esetben [4–6].

A specifikáció-érzékenység fontos alkalmazása az úgynevezett gyártási specifikáció meghatározása. A környezeti hatásnak, hőmérséklet-, nedvességváltozásnak, ill. öregedésnek kitett áramkörök paramétereinek értéke megváltozik a gyártáskori értékhez képest. Emiatt azonban az áramkör jellemzői is megváltoznak. Ebből következik, hogy gyártáskor szigorúbb specifikációt, az ún. gyártási specifikációt kell teljesítenie az áramkörnek, mint az eredetit, hogy tartalékot képezzünk a fent említett változások számára.

Az eddigi heurisztikus módszerek helyett a specifikáció-érzékenység segítségével a gyártási specifikáció

DR. GEFFERTH
LÁSZLÓ

1968-ban szerezte meg villamosmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki Egyetemen, majd ugyanitt lett dr. techn. 1977-ben. 1969 óta a Budapesti Műszaki Egyetemen dolgozik, a Híradástechnikai Elektronika Intézet adjunktusa. Kutatási szakterülete a számítógépes tervezés, ezen belül az elektronikus áramkörök

gyártási selejt csökkentésének algoritmikus módszereivel foglalkozik: hibalokalizálással és tolerancia-központosítással. 1979–80 telét Londonban az Imperial Collegeban töltötte, ahol tolerancia-központosítással foglalkozott. 1977-ben a hibalokalizálásról, 1982-ben a tolerancia-központosításról írt cikkéért Pollák–Virág díjat kapott.

szisztematikusan, algoritmikus módon számolható ki, s ezáltal a gyártás gazdaságosabbá tehető, mert csökken a specifikációt környezeti hatásra nem teljesítő áramkörök aránya.

1. A specifikáció érzékenysége

Bármely elsőrendű érzékenységet definiálhatunk a következő módon (abszolút érzékenység):

$$S_i = \frac{\partial Y}{\partial p_i}, \quad (1)$$

ahol $Y = f(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_N)$ és p_i a független változó. A definíció csak azt kívánja meg, hogy az Y függvény deriválható legyen p_i szerint. Esetünkben Y a kihozatal, a független változó pedig a specifikáció. Könnyen belátható, hogy a kihozatal a különböző frekvenciákon a specifikációnak folytonosan deriválható függvénye. Így a definíció alkalmazható.

Ugyancsak definiálható a gyakorlat számára fontosabb eset, amikor is a specifikációt véges nagy Δp_i -vel változtatjuk meg:

$$S_i^\Delta = \frac{\Delta Y}{\Delta p_i}, \quad (2)$$

ahol ΔY a kihozatalnak a tényleges megváltozása akkor, ha a specifikációt Δp_i -vel változtattuk meg. S_i^Δ -t nagyváltozású érzékenységgnek nevezhetjük.

Az $Y = f(p_1, \dots, p_N)$ összefüggés megadása explicit formában szinte lehetetlen, nehézségi fokában összevethető az $Y = f(e_1, \dots, e_M)$ összefüggés felírásával. Ez utóbbi a kihozatalt mint az áramköri elemek és toleranciák függvényét adja meg. E függvény a tolerancia-központosítás célfüggvénye. A tolerancia-

központosításnál sem törekedtünk arra, hogy a kihozatalt explicit formában felírjuk, hanem közelítő módszereket alkalmaztunk: statisztikus és determinisztikus eljárásokat. Mivel a statisztikus módszerek a tolerancia-központosításban beváltak, itt is ezeket fogjuk alkalmazni.

2. Differenciális specifikáció-érzékenység

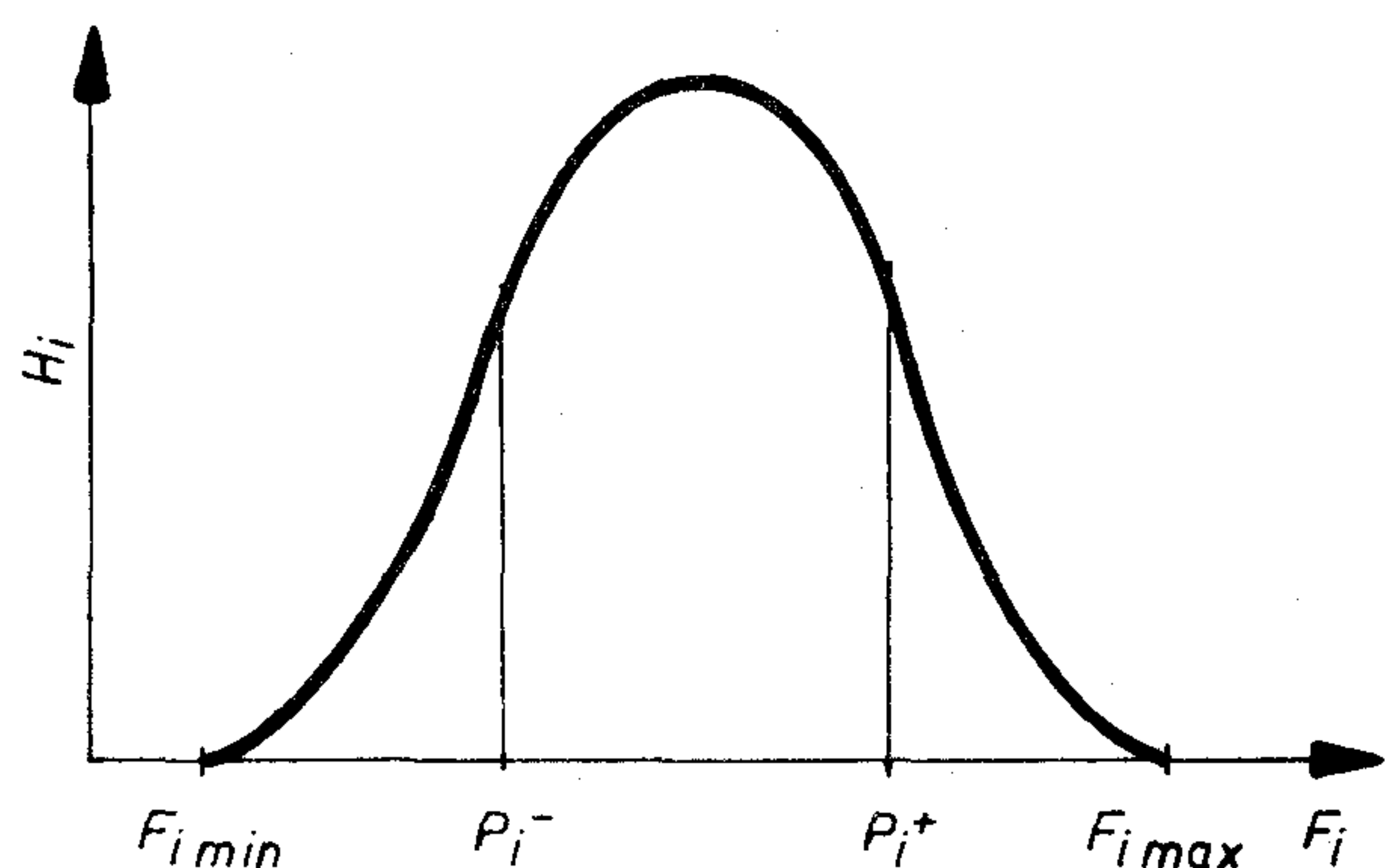
Vizsgáljuk a kihozatalt az i -edik frekvencián! Legyen egy p_i^- alsó és egy p_i^+ felső specifikációs pont! Tekintsük ezen az i -edik frekvencián az F_i hálózatfüggvény H_i valószínűségi sűrűség függvényét (1. ábra). A specifikációs pontokat szintén feltüntettük. Az F_i hálózatfüggvény $F_{i \min}$ minimum és $F_{i \max}$ maximum értékei az áramköri elemek és toleranciák ismeretében határozhatók meg.

Tételezzük fel átmenetileg, hogy csak ezen az i -edik frekvencián van specifikáció és a többin nincs! Ebben az esetben a kihozatal az alábbi módon fejezhető ki:

$$Y = \frac{\int_{p_i^-}^{p_i^+} H_i(F_i) dF_i}{\int_{F_{i \min}}^{F_{i \max}} H_i(F_i) dF_i}, \quad (3)$$

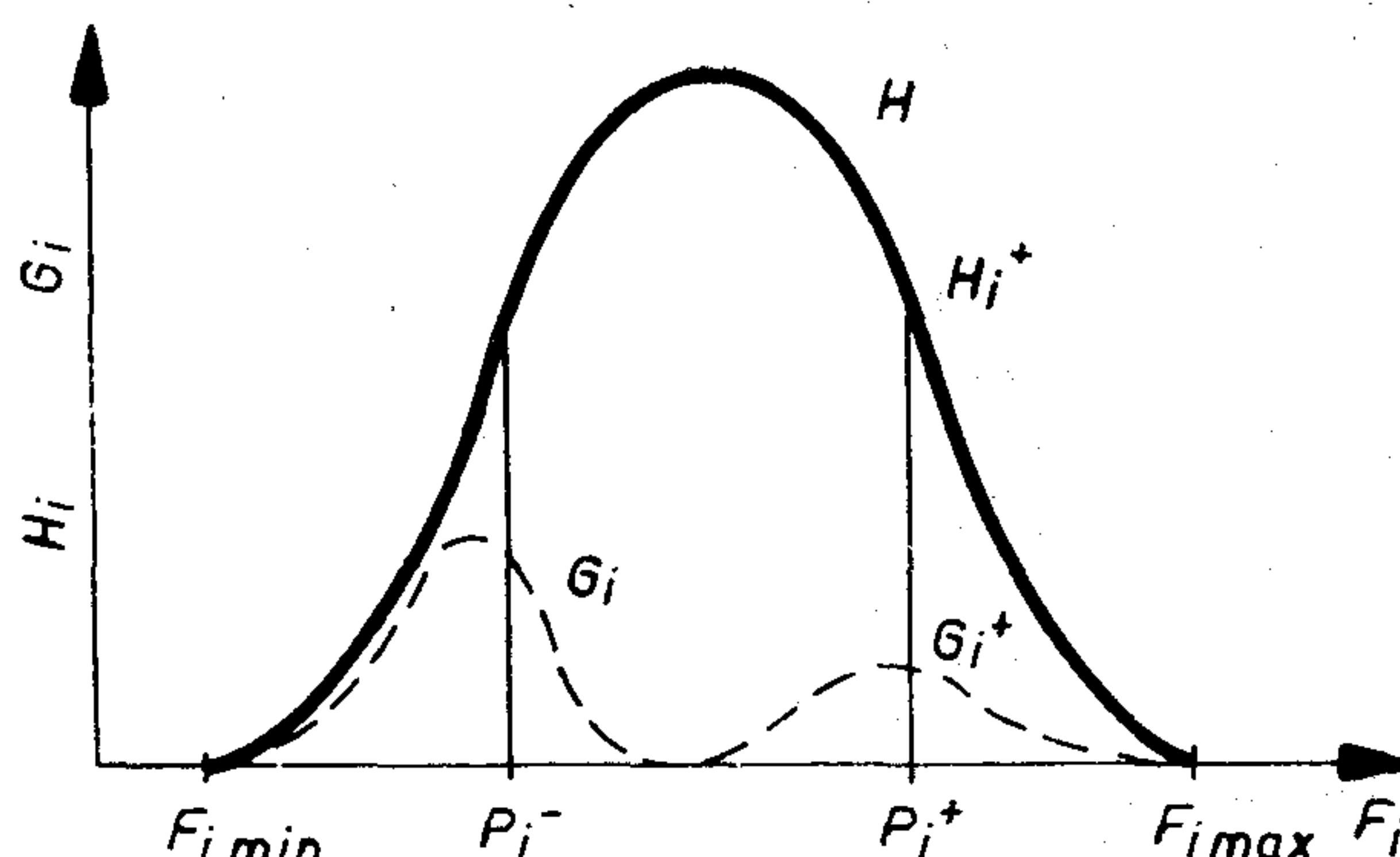
azaz a p_i^- és p_i^+ specifikáción belül levő jó áramköröket arányítjuk az összes áramkörhöz végtelen sok legyártott áramkört feltételezve. Normalizáljuk a H_i valószínűségi sűrűség függvényt az áramkörök összességéhez, azaz a nevező legyen egységnyi!

Terjesszük ki most már a specifikációt a többi frekvenciára is! Ezért be kell vezetnünk az 1. ábrába és a (3) kifejezésbe azt, hogy vajon a többi specifikációt teljesíti-e az áramkör vagy sem. E célból egy második, G_i -vel jelölt valószínűségi sűrűség függvényt vezetünk be, amely azt tartalmazza F_i bármely értékére, hogy milyen valószínűségi sűrűséggel sértik meg az áramkörök a többi, egy, kettő vagy az összes specifikációt. G_i -t szintén az áramkörök összességére normalizáljuk. G_i bevezetésével így az összes speci-



H969-1

1. ábra. Az F_i hálózatjellemező függvény H_i valószínűségi sűrűség függvénye



H969-2

2. ábra. A H_i és G_i valószínűségi sűrűség függvények

fikációt figyelembe vettük: az i -ediket H_i -vel, az összes többit összegezve G_i -vel (2. ábra).

A kihozatalt egyetlen frekvencián H_i -vel és G_i -vel kifejezve kapjuk az

$$Y = \int_{p_i^-}^{p_i^+} \{H_i(F_i) - G_i(F_i)\} dF_i \quad (4)$$

összefüggést, azaz az i -edik frekvencia specifikációt teljesítő áramkörökből le kell vonni azokat, amelyek legalább egy másik specifikációt megsértenek.

A kérdés most az, hogyan változik meg a kihozatal, ha az i -edik frekvencián megváltoztatjuk az egyik specifikációt, miközben a másik nem változik. A kihozatal egyetlen frekvencián, mint egyetlen specifikáció (vagy az alsó, vagy a felső) függvénye megkapható, ha csak az egyiket tekintjük változó-nak, a másikat rögzítjük:

$$Y = f(p_i^-) |_{p_i^+ = \text{áll}}; \quad Y = f(p_i^+) |_{p_i^- = \text{áll}}. \quad (5)$$

A (4) kifejezésből a specifikáció-érzékenység az alsó specifikációra:

$$S_i^- = \frac{\partial Y}{\partial p_i^-} = H_i^- - G_i^-, \quad (6)$$

a felsőre:

$$S_i^+ = \frac{\partial Y}{\partial p_i^+} = H_i^+ - G_i^+, \quad (7)$$

ahol H_i^- a H hisztogram, míg G_i^- a G_i hisztogram értékét jelöli a p_i^- helyen stb.

3. Nagyváltozású specifikáció-érzékenység

Az előző pont eredményeivel kapcsolatban két probléma merül fel. Az egyik az, hogy a valószínűségi sűrűség függvényt nem ismerjük. A másik az, hogy a specifikációt csak véges értékekkel változtathatjuk, hiszen csak ennek van értelme. Ily módon a véges változtatás a fontosabb számunkra. Szerencsére a két probléma egyszerre oldható meg.

A valószínűségi sűrűség függvényeket hisztogrammal közelítjük. Ehhez egy Monte Carlo, statisztikus

analízisre van szükségünk, amelynek során az áramkörü elemek véletlenszerűen kapnak értéket toleranciájukon belül. Minden egyes áramkörü mintának meghatározzuk az F_i hálózati függvényét, s minden frekvencián külön-külön ellenőrizzük, hogy teljesíti-e a specifikációt. Minden frekvencián felépítjük a H_i és G_i hisztogramokat, amelyekkel a H_i és G_i valószínűsűrűség függvényeket közelítjük. A hisztogramok intervallumainak Δp_i méretét a tervező adja meg. Ez egyenlő lehet azzal az értékkel, amellyel a specifikáció változtatható (3. ábra).

Jelöljük a H_i és G_i hisztogramoknak a $[p_i^+, p_i^+ + \Delta p_i^+]$ intervallumbeli értékét $H_i^{\Delta+}$ és $G_i^{\Delta+}$ -val, amelyek tulajdonképpen:

$$H_i^{\Delta+} = \int_{p_i^+}^{p_i^+ + \Delta p_i^+} H_i(F_i) dF_i, \quad G_i^{\Delta+} = \int_{p_i^+}^{p_i^+ + \Delta p_i^+} G_i(F_i) dF_i, \quad (8)$$

azaz a következő kifejezés — eltekintve a közelítés pontatlanságától — valóban a kihozatal tényleges megváltozását adja meg akkor, ha a specifikációt Δp_i^+ -szal változtatjuk meg:

$$\Delta Y = H_i^{\Delta+} - G_i^{\Delta+}. \quad (9)$$

A közelítés pontossága a minták számának növelésével fokozható.

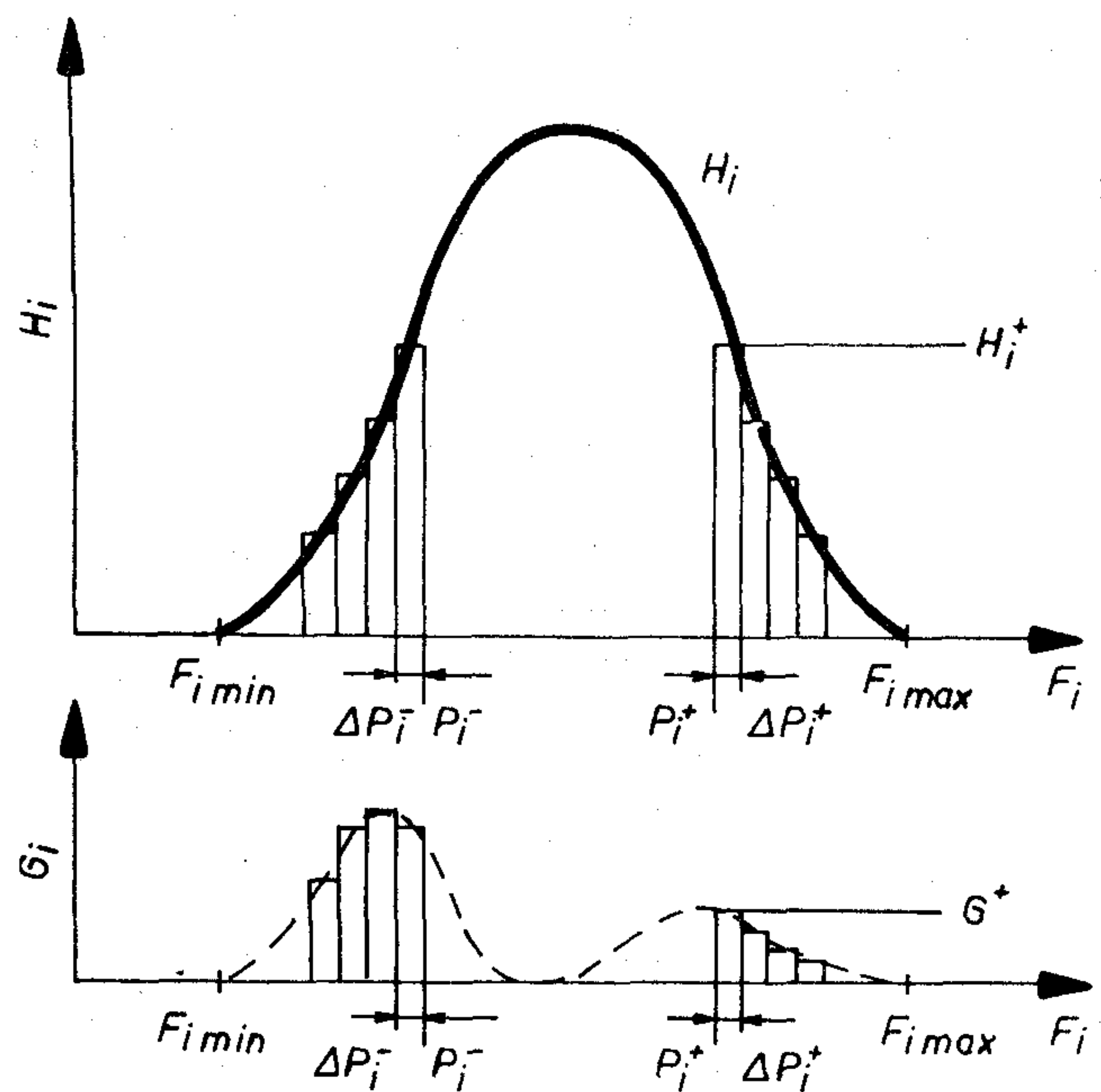
4. Illusztratív példa

Egy áramkör Monte Carlo analízise eredményeképpen 89%-ot kaptunk a kihozatal becslésére. Az áteresztő tartományban reflexiócsillapítás, míg a záróban csillapítás az előírás. Tehát csak alsó specifikáció (p_i^-) létezik, s így a kihozatal megváltozásának számításához a p_i^- előírástól balra eső intervallumok az érdekesek. Az illusztráció céljára nem a hisztogramokat, hanem az egyes intervallumokban felvett értékeit tüntettük fel az 1. táblázatban három különböző frekvencián. Az intervallumok mérete 0,5 dB, és 1-től 4-ig számoztuk őket, ahogy távolodunk a p_i^- előírástól. A kihozatal változása így módon 0,5,

1. táblázat

A kihozatal százalékos megváltozása
a specifikáció megváltoztatásának hatására

Az intervallumok százalékos értékei (méret: 0,5 dB)					A kihozatal százalékos megváltozása az alábbi értékű specifikáció- változásra			
					-2 dB	-1,5 dB	-1 dB	-0,5 dB
					ΔY_4	ΔY_3	ΔY_2	ΔY_1
H_1	0	0	0	2	1	1	1	1
G_1	0	0	0	1				
H_2	0	0	0	1	0	0	0	0
G_2	0	0	0	1				
H_3	0	1	2	6	7	7	6	4
G_3	0	0	0	2				



H969-3

3. ábra. A H_i és G_i függvények közelítése hisztogramokkal

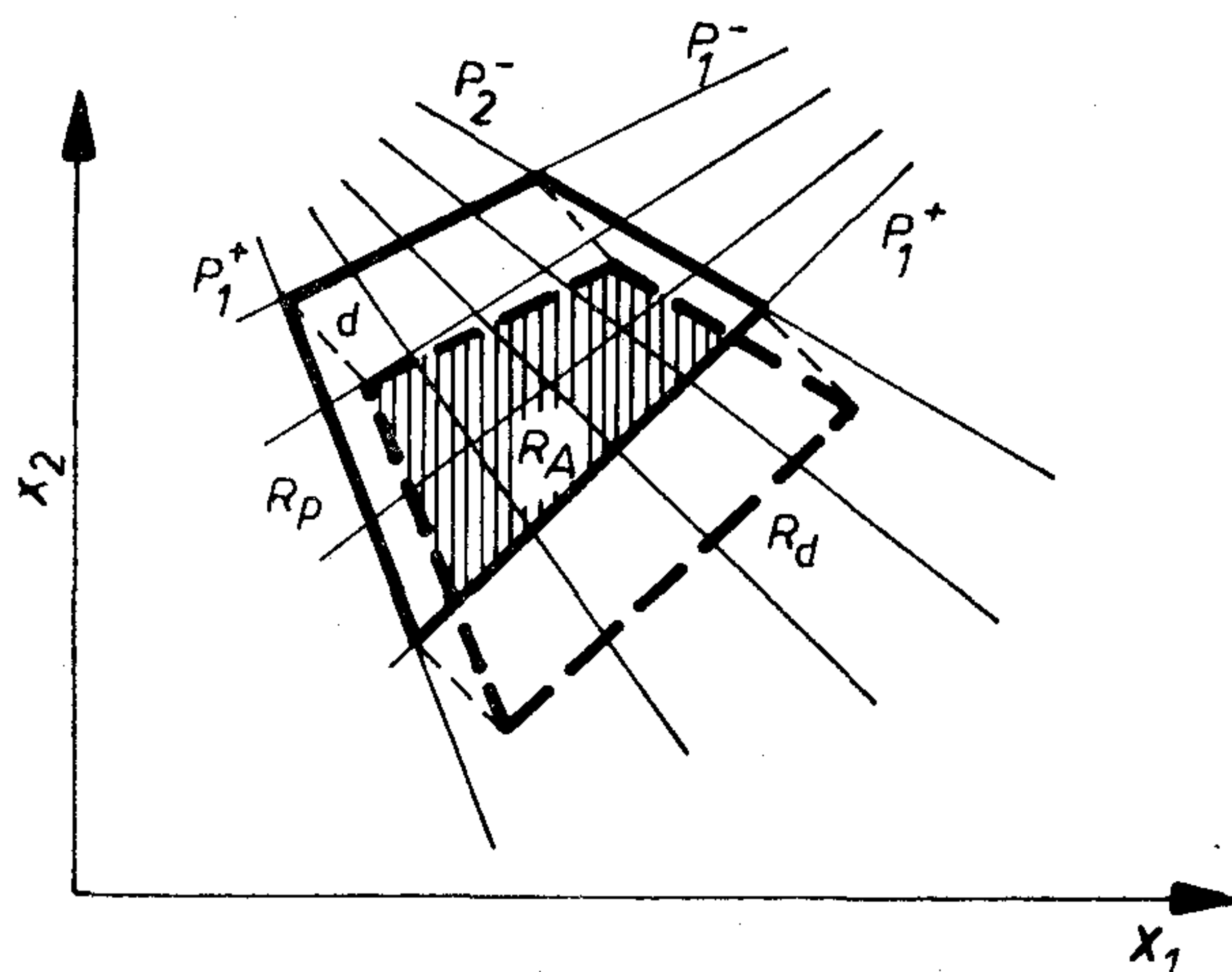
1, 1,5 és 2 dB specifikáció-változásnak felel meg. Például a 3. frekvencián 9%-a az áramköröknek sérti meg a specifikációt. E 9%-ot a H_3 hisztogram I_1 , I_2 és I_3 intervallumok értékeinek összegzésével kaptuk meg. A G_3 hisztogram I_1 intervalluma mutatja továbbá, hogy ebből a 9%-ból 2% más frekvencián sem teljesíti a specifikációt. Így tehát a kihozatal változása 4%, 6%, 7%, ha a specifikációt 0,5, 1, ill. 1,5 dB-lel enyhítjük.

5. A gyártási specifikáció

Az áramkörü paraméterek értéke környezeti hatásokra megváltozik. Ilyen hatások lehetnek pl. az áramkörü elemek öregedése, a hőmérséklet megváltozása stb. A paraméterváltozás nyomán az áramkör jellemzője, pl. a csillapítás, szintén megváltozik. Ebből azonban az következik, hogy egy adott specifikációra tervezett áramkör általában nem teljesíti azt környezeti hatások alatt. Ezért egy úgynevezett gyártási specifikációt kell meghatároznunk. A gyártási specifikációt úgy definiálhatjuk, hogy ha egy áramkör a gyártáskor, gyártási feltételek mellett — hőmérséklet stb. — teljesíti a gyártási specifikációt, akkor az eredeti specifikációt környezeti hatások alatt is teljesíteni fogja. A gyártási specifikációt a specifikáció érzékenység felhasználásával határozhatjuk meg.

Az R_A megengedett tartomány, ha a környezeti hatásokat is figyelembe kívánjuk venni, azon pontok halmaza az n -dimenziós paraméter térben, amelyekhez tartozó áramkörök mind gyártáskor, mind környezeti hatások alatt teljesítik az eredeti specifikációt. Vizsgáljuk meg, hogyan alakul ki a megengedett tartomány!

Az áramkörü paramétereknek a gyártáskori értékeit tekintjük és ábrázoljuk a továbbiakban.



H969-4

4. ábra. A megengedett tartomány kialakulása
 R_p : a környezeti hatás figyelembevétele nélkül
 R_d : a környezeti hatásra eltolódott R_p
 R_A : a megengedett tartomány a környezeti hatást is figyelembe véve

Ha eltekintünk a környezeti hatásoktól, a megengedett tartomány azon pontok halmaza lenne, amelyekhez tartozó áramkörök csakis a gyártáskor teljesítik a specifikációt. Jelöljük ezt a tartományt R_p -vel! A 4. ábrán R_p -t folytonos vonallal tüntettük fel, kétdimenziós esetre. Az R_p tartomány határait a paraméter térbe transzformált specifikáció képezi, esetünkben $p_1^-, p_1^+, p_2^-, p_2^+$. Környezeti hatásra az áramköri paraméterek értéke változik. Tegyük fel az egyszerűség kedvéért, hogy az R_p tartományban levő összes pont ugyanazzal a d drift vektorral tolódik el. Jelöljük R_d -vel azon áramköri paraméterek gyártáskori értékeinek halmazát, amelyek csak környezeti hatás után teljesítik a specifikációt. Ez van feltüntetve a 4. ábrán szaggatott vonallal. Végül az R_A megengedett tartomány az R_p és R_d tartományok közös része lesz, azaz olyan pontok halmaza, hogy a pontok által definiált áramkörök mind gyártáskor, mind környezeti hatásokra teljesítik a specifikációt, azaz:

$$R_A = R_p \cap R_d. \quad (10)$$

Az R_A megengedett tartományt a 4. ábrán a sraffozott terület adja.

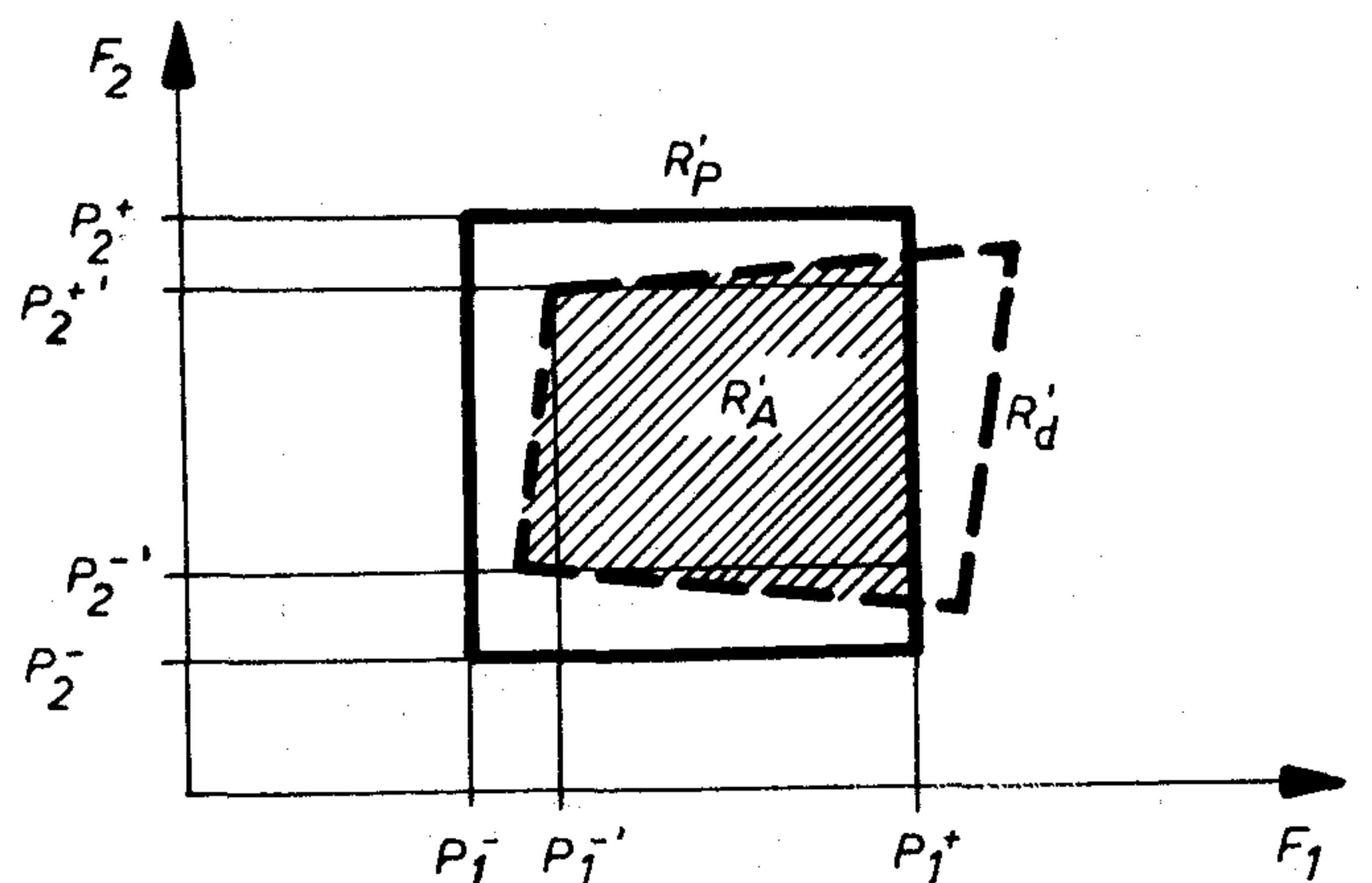
Az R_d tartomány alakja hasonló az R_p -éhez, a tartományok határai párhuzamosak. Az R_p tartományt a specifikáció határolja, azaz a határvonalak konstans hálózathatárfüggvény értékeknek felelnek meg. Ez azonban nem igaz R_d -re, s így R_A -ra sem, mivel a konstans hálózathatárfüggvényhez tartozó szintvonalak általában nem párhuzamosak a paraméter térben. Megjegyzendő, hogy a környezeti hatásra bekövetkező változás sokkal bonyolultabb. Determinisztikus változás esetén is csak a százalékos változások azonosak, azonban a változás nem determinisztikus, hanem statisztikus. A konstans d vektor feltételezésére csak az R_A megengedett tartomány kialakulásának megmagyarázását könnyítendő volt szükség. Könnyen belátható, hogy az R_A megengedett tartomány határai általában nem felelnek meg konstans hálózathatárfüggvény értékeknek.

A tolerancia-közponosítás feladata a névleges értékek és toleranciák meghatározása, más szavakkal a tolerancia test legkedvezőbb helyének és méretének meghatározása az R_A megengedett tartományban. Ez azonban csak az egyik feladata az áramkörtervezésnek, hiszen gyártáskor ellenőrizni kell, vajon az áramkörök belül vannak-e a megengedett tartományon. Ez az ellenőrzés végezhető el a gyártási specifikáció segítségével. Környezeti hatásnak kitett hangolható áramkörök esetében pedig a gyártási specifikációt írhatjuk elő hangolási utasításként.

Tekintsük most a hálózathatárfüggvények terét! Az egyszerűség kedvéért kétdimenziós esetet mutat az 5. ábra. A két dimenzió két frekvenciának, vagy két azonos frekvenciájú, de különböző függvénynek (pl. csillapítás és futási idő) felelhet meg. A $p_1^-, p_1^+, p_2^-, p_2^+$ előírásokkal határolt R_p területet a tolerancia-közponosításnál használatos „tolerancia test” mintájára „specifikáció test”-nek nevezhetjük. E test határai értelemszerűen párhuzamosak a tengelyekkel. Az ábrán feltüntetett R_d és R_A tartományok R_d és R_A transzformáltjai. R_d és így R_A határai nem párhuzamosak a tengelyekkel. Feladatunk most a gyártási specifikáció meghatározása, azaz a „gyártási specifikáció test” legjobb helyének és méretének meghatározása az R_A megengedett tartományban. Ennek a testnek a lehető legnagyobbnak kell lennie abból a célból, hogy elkerüljük a túl szigorú előírásokat. Az 5. ábrán a sraffozott terület mutatja az R_A tartományt, a „gyártási specifikáció test” méreteit pedig $p_1^-, p_1^+, p_2^-, p_2^+$.

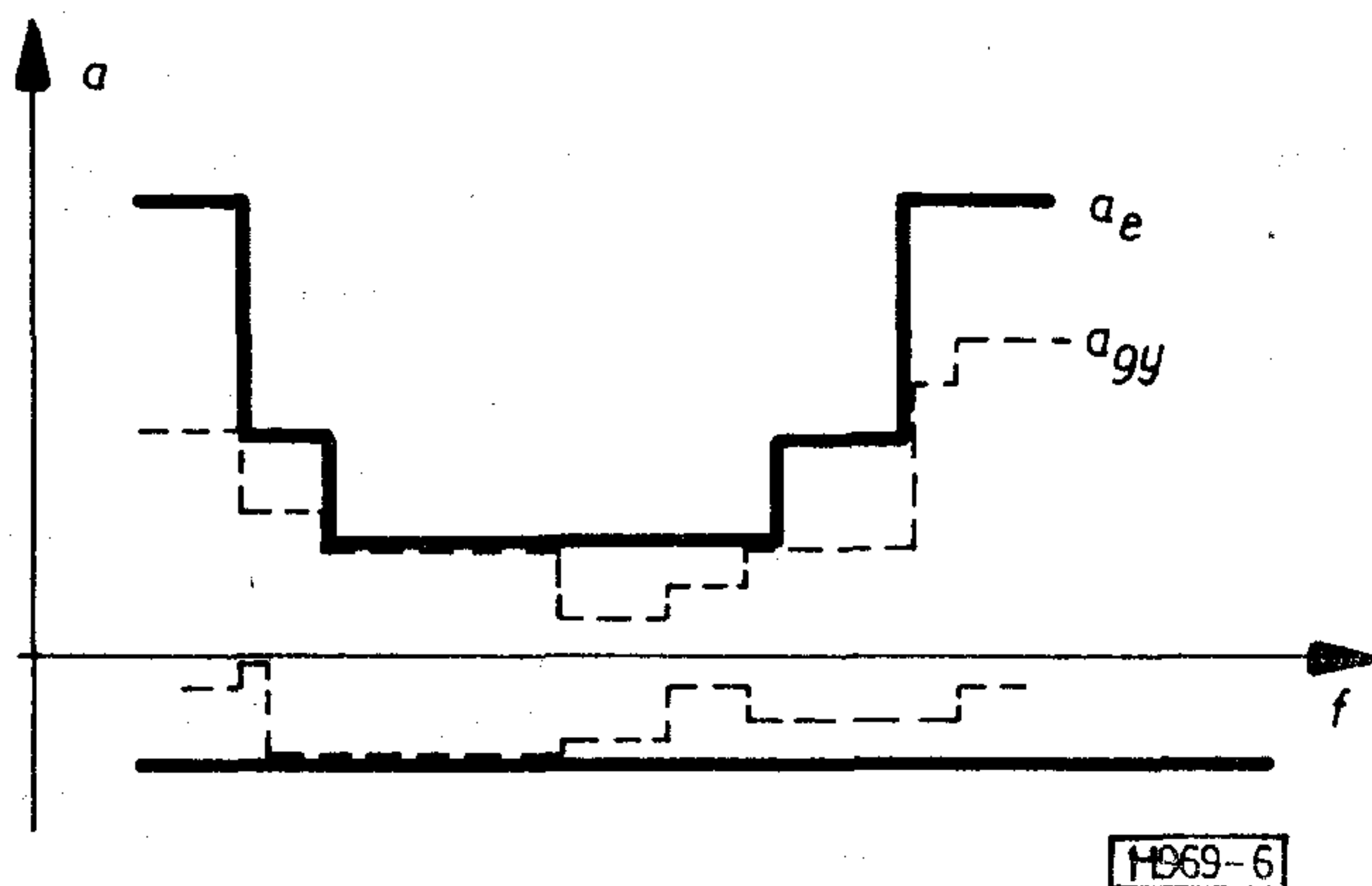
Figyeljünk fel arra, hogy a gyártási specifikációnak, mint „gyártási specifikáció test”-nek a meghatározása, nagyon hasonlít a tolerancia test meghatározására a tolerancia-közponosításban. Ily módon a tolerancia-közponosításban alkalmazott módszerek (ha nem is mindegyik) bizonyos értelemszerű átalakítások után itt is alkalmazhatók. A módszerek közül a gradiens típusú statisztikus optimalizálást választottuk. A gradienst a specifikáció-érzékenységből számítjuk ki.

Tekintettel arra, hogy feladatunk a specifikáció



H969-5

5. ábra. A gyártási specifikáció meghatározása
 R_p : eredeti specifikáció
 R_d : R_d transzformáltja
 R_A : R_A transzformáltja
 $p_1^-, p_1^+, p_2^-, p_2^+$: a gyártási specifikáció



6. ábra. A mintaáramkör gyártási specifikációja
 a_e : eredeti specifikáció, amelyet mind gyártáskor,
mind környezeti hatás után teljesíteni kell
 a_{gy} : gyártási specifikáció

szűkítése, az algoritmust azokból a mintákból indítjuk, amelyek teljesítik az eredeti specifikációt, függetlenül attól, hogy környezeti hatások alatt teljesítik-e vagy sem. A gyártási specifikáció meghatározásának algoritmusai ezek után a következők:

1. lépés: A specifikáció-érzékenység segítségével meghatározzuk a kihozatal gradiensét. Más szavakkal: kiszámoljuk, hogy az egyes specifikációs pontokat egymáshoz képest milyen mértékben kell megváltoztatni.
2. lépés: A gradiens vektor irányával ellentétesen megváltoztatjuk a specifikációs pontokat egy megfelelő lépésmérettel. Annak érdekében, hogy a legnagyobb „gyártási specifikáció test”-et érjük el, a specifikációt folytonosan és nem diszkrét lépésekben változtatjuk meg.
3. lépés: Abban az esetben, ha az összes (vagy előírt arányú) olyan minta, amelyik teljesíti az újonnan számolt gyártási specifikációt, teljesíti az eredeti specifikációt mind gyártáskor, mind pedig környezeti hatások alatt, leállítjuk az optimalizálási eljárást, ellenkező esetben visszaugrunk az 1. lépésre.

6. Példa a gyártási specifikáció meghatározására

Egy számítógépprogram (neve: GHU) készült a fentiek implementálására FORTRAN IV nyelven egy ICL System 4—70 számítógépre. A példa mintaáramköre egy LC csatornaszűrő 10 db hangolt induktivitással és 17 db tolerált kapacitással. Az eredeti specifikáció CCITT 1/20 volt 24,3 és 27,4 kHz közötti áteresztő tartománnyal. A környezeti hatás a hőmérséklet 40 °C-kal való megváltozása. Referenciaként a gyakorlatban használatos CCITT 1/40-et választottuk. Az ISOA szimulációs program azt mutatta [7], hogy a CCITT 1/40-re behangolt áramköröknek csak a 82%-a teljesítette az eredeti CCITT 1/20 specifikációt hőmérsékletváltozás után.

A GHU programot alkalmazva (felhasználva a TOLOPT program [8] által szolgáltatott adatokat) a kihozatal 94%-ra emelkedett, amelyet ismét az ISOA programmal ellenőriztünk. A GHU program

által szolgáltatott gyártási specifikáció hasonlított a CCITT 1/40-re, de néhol lényeges eltérés volt: voltak lazább és szigorúbb pontok (6. ábra).

7. Összefoglalás

A specifikáció-érzékenység új fogalom a kihozatal javításában és a költségek csökkentésében. A rendszertervező megbízható és számszerű visszajelzést kap a kritikus specifikációs pontokról, s így a specifikációt jobban szét lehet osztani egy berendezés áramkörei között. Egy lazább specifikáció nagyobb kihozatalt eredményez, sőt akár egy új áramkör tervezhető kevesebb elemszámmal.

A nyert információ ára csupán egy *Monte Carlo* analízis, amelyet azonban tolerancia-közponosítás után mindenképpen el kell végezni az eredmények ellenőrzésére. Az ehhez járuló két hisztogram felépítésének ideje elhanyagolható az előbbiek mellett.

Mivel a névleges értékek és toleranciák nem változnak, hanem csak a specifikáció, nincs szükség újabb *Monte Carlo* analízisre a specifikáció-érzékenységnek vagy a specifikációmegváltozás hatásának a kiszámításához.

Egy nagyon fontos alkalmazás az úgynevezett gyártási specifikáció meghatározása, ha az áramkörök környezeti hatásnak vannak kitéve. Az algoritmus alkalmazásához az áramköröknek a gyártáskori (gyártási feltételek melletti mért vagy szimulált), valamint a környezeti hatás alatti jellemzőire, hálózathatásvényeire van szükség, amelyet pl. megfelelő *Monte Carlo* analízis program szolgáltat. Az eljárás a gyártási specifikáció eddigi heurisztikus meghatározása helyett algoritmikus utat mutat. A tolerancia-közponosítás feladata a névleges értékek és toleranciák meghatározása. Ez azonban csak az egyik feladata az áramkörtervezésnek, hiszen gyártáskor ellenőrizni kell, vajon az áramkörök belül vannak-e a megengedett tartományon. Ez az ellenőrzés végezhető el a gyártási specifikáció segítségével. Hangolható áramkörök esetében pedig a gyártási specifikációt írhatjuk elő behangolási utasításként.

Végezetül arra érdemes rámutatni, hogy a gyártási specifikáció meghatározásához csak az áramkörök gyártáskori és környezeti hatás alatti jellemzőire van szükség. Ha ezek a jellemzők rendelkezésre állnak, a specifikáció-érzékenység és a gyártási specifikáció meghatározható. Ily módon az elv nincs csak a lineáris hálózatokra, sőt egyáltalán nincs áramkörökre korlátozva. A jellemzők bármilyen fizikai rendszerhez tartozhatnak, amelyek jellemzőiket gyártás után megváltoztatják, s ezeket a jellemzőket mérni vagy szimulálni tudjuk.

I R O D A L O M

- [1] Gefferth L.: Elektronikus áramkörök gyártási selejtjének csökkentése a névleges értékek és toleranciák megváltoztatásával a kihozatali érzékenység alapján. *Híradástechnika*, XXXIII. évf. 8. szám. 1982. 337—343. o.
- [2] R. Spence—A. Ilumoka—N. Maratos—L. Gefferth—R. Soin: The statistical exploration approach to tolerance design. *Proc. IEEE Int. Conf.*

- on Circuits and Computers. New York, 1980. pp. 582—585.
- [3] Halász E.: Lineáris áramkörök tervezése optimalizálással. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1982.
- [4] Gefferth L.: A kihozatal érzékenysége a specifikáció szerint. Tanulmány a Telefongyár részére. Budapest, 1982. február.
- [5] L. Gefferth: Specification sensitivity and its use in system design. IEE Proc. Vol. 129, Pt. G. No. 4. August 1982. pp. 181—185.
- [6] L. Gefferth: Specification sensitivity, a system designer approach to yield improvement of electronic circuits. Proc. of the 7th Coll. on Microwave Communication. Vol. I. OMIKK-TECHNO-INFORM Budapest, 1982. pp. 191—194.
- [7] Gaál J.—Gefferth L.—Géher K.—Halász E.—

- Trón T.: Szűrőbehangolást szimuláló statisztikus programrendszer. Híradástechnika, XXX. évf. 11—12. szám 1979. 329—331. o.
- [8] Halász E.—Gefferth L.—Trón T.: Toleranciaközpontosítás optimalizáló algoritmussal. Tanulmány a Telefongyár részére. Budapest, 1980. november.
- [9] Dr. Géher K.: Elektronikai áramkörök gazdaságos tervezése és a toleranciaelmélet. Híradástechnika, XXXIV. évf. 1983. 12. szám. 575—578. oldal.
- [10] J. Gaál—L. Gefferth—K. Géher—E. Halász—T. Trón: New algorithms and computer programs for design centering, tolerancing and tuning under environmental influence. Proc. of the European Conference on Circuit Theory and Design, ECCTD '81, pp. 696—703.

Compstat '84 szimpózium

Prága, 1984. augusztus 27-31.

A számítógépes statisztikával foglalkozó, sorrendben hatodik szimpóziumot ezúttal először rendezték meg szocialista országban.

A szimpózium augusztus 27-én délelőtt orgonahangversennyel egybekötött ünnepélyes megnyitóval kezdődött. Ezután a számítógépes statisztika történetéről és kialakulásáról hallhattunk összefoglalást P. Sint (Ausztria) előadásában.

A tudományos program egyidejűleg négy szekcióban folyt. A konferencia ideje alatt ezenkívül software kiállítást és számítógépes bemutatót is szerveztek.

A konferencián elhangzott előadások a következő fontosabb tématerületeket ölelték fel:

- sztochasztikus folyamatok,
- a számítógépes statisztika alkalmazásai,
- különféle statisztikai és adatvizsgálati módszerek,
- statisztikai programok mikrokomputerekre,
- optimalizálási eljárások a statisztikában.

A híradástechnikai problémával foglalkozó viszonylag kevés előadás közül érdemes megemlíteni N. Valette (Franciaország) a szintetizált beszéd statisztikai vizsgálati módszereivel foglalkozó előadását. Érdekes volt továbbá B. S. G. Cherry (Anglia) sarkvidéki hőmérsékleti adatok sztochasztikus szimulációjáról szóló, és R. Kulhavý (Csehszlovákia) „Lassan változó paraméterek becslése a Bayes-döntés alapján” címet viselő előadása.

A számítógépes statisztika felhasználásának széleskörűségére jellemző, hogy a kábítószer-fogyasztás alakulásától kezdve egészen a meteorológiai és orvosi

problémákig sokféle alkalmazási területet ismerhetünk meg.

A konferencián részt vevő magyar szakemberek közül Prékopa András — meghívott előadóként — „Optimalizálás valószínűségi kényszerek mellett — alkalmazások” című előadással szerepelt. Rövid előadásokkal Kabos S., Kutas S. „Nemlineáris kovariancia-analízis numerikus megoldása”, Kováts J. „Az általános PLL számítógépes tranziens-vizsgálata” szerepeltek.

A tudományos program 31-én, pénteken délután ért véget.

Néhány szót a szervezésről. A rendezők apró figyelemességekkel is gondoskodtak a résztvevők kényelméről, így például közlekedési bérletet kaptunk, amely a konferencia idején ingyenes közlekedést biztosított a tömegközlekedési eszközökön. Szinte minden napra jutott valamilyen — többnyire ingyenes — kulturális program: koncert, városnézés, hajókirándulás. Az előadások pontosan kezdődtek, és gördülékenyen zajlottak le.

A COMPSTAT '84 szimpózium hasznos fórum volt a számítógépes statisztikával kapcsolatos ismeretek cseréjére, tudományos eredmények ismertetésére, tapasztalatok szerzésére. Remélhetőleg 1986-ban Rómában megrendezésre kerülő COMPSTAT '86 konferencián több a híradástechnikai területet érintő színvonalas előadást hallhatunk majd, és több magyar szakember képviselheti majd országunkat.

Kováts János
TKI

Gyors eljárások a diszkrét Fourier-transzformáció számítására. I. rész

DR. KOCSIS FERENC

Budapesti Műszaki Egyetem
Híradástechnikai Elektronika Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A digitális jelfeldolgozás egyik legfontosabb műveletének, a diszkrét Fourier-transzformációnak (DFT) az elvégzésére szolgáló gyors eljárások keresését tűztük ki célul egy gyakorlatban is felmerülő feladat kapcsán. A DFT számítási bonyolultságának a mérésére a szükséges valós szorzások számát választva, összefüggést származtattunk a kötött idejű (real-time) jelfeldolgozás maximális frekvenciájának a valós szorzások száma függvényében történő meghatározására. A közvetlen kiértékelés kötött idejű feladatok megoldására csak korlátozott mértékben alkalmas, műveletigénye $O(N^2)$. A jelfeldolgozási frekvencia növelése érdekében a szorzások számát algoritmikus eszközökkel próbáltuk csökkenteni. A fokozatos részekre osztással a műveletigény $O(N \log N)$ -re csökkent. A transzformáció pontszámára tett bizonyos feltevések esetén (egymáshoz relatív prím számok szorzatára bontható) az egydimenziós DFT többdimenziós transzformációvá alakítható. A fokozatos részekre osztás lehetőségeinek kiértékelése után a DFT számítását ekvivalens módon más feladat megoldására próbáltuk visszavezetni. Ha a pontszám $N=2, 4, p, p^*$ vagy $2p^k$ (p páratlan prím) alakú, akkor a DFT számítása ekvivalens a periodikus konvolúció meghatározásával. A lineáris és a periodikus konvolúció kiértékelésére a polinomokra vonatkozó kínai maradéktétel felhasználásával $O(N)$ szorzásigényű algoritmus származtatható. Röviden összefoglaljuk a periodikus konvolúcióra való visszavezetéssel számítható kis pontszámú, optimális ($N=2, 3, 4, 5, 7, 8, 9$ és 16) DFT modulokat. Nagyobb pontszámú transzformációk számításához a kis pontszámú modulok összekombinálhatók a Good-algoritmussal, ill. a Winograd-eljárással (WFTA). Utóbbi szorzásigénye $O(N)$. Végül elemezzük az egyes algoritmusokat a gyakorlati megvalósítás szempontjából.

1. Bevezetés

A digitális jelfeldolgozásban központi szerepet játszik az N elemmel leírható (véges vagy periodikus) számsorozathoz rendelt Fourier-spektrumot N egymástól egyenlő távolságú pontban vett mintákkal megadó diszkrét Fourier-transzformált (DFT). Definíció szerint véges, vagy periodikus sorozat egydimenziós diszkrét Fourier-transzformáltján (1-D DFT) az

$$(1-1) \quad X(k) = \sum_{i=0}^{N-1} x(i)w_N^{ik} \quad 0 \leq k \leq N-1 \quad w_N^{ik} = e^{-j \left(\frac{2\pi}{N} \right) ik}$$

sorozatot értjük. $\{x(i)\}$ a szóban forgó számsorozat, vagy annak egy periódusa, $\{X(k)\}$ a transzformált értékek sorozata. Periodikus esetben N a jel egy periódusra eső pontjainak a száma, míg véges sorozatnál N a sorozat pontjainak a száma.

A DFT lineáris transzformáció, alapvető tulajdonságainak elemzése megtalálható pl. a [9], [10], [21] művekben. A transzformáció pontsorozatot képez le azonos számú pontot tartalmazó pontsorozatba: $\{x(i)\} \rightarrow \{X(k)\}$.

Mátrixalakban:

$$(1-2) \quad \mathbf{X} = \mathbf{W}_N \cdot \mathbf{x}, \quad \text{ahol} \quad \mathbf{W}_N =$$

DR. KOCSIS FERENC

1975-ben szerzett villamosmérnöki diplomát a BME Villamosmérnöki Karán, majd a Távközlési Kutató Intézetben kezdett dolgozni. Egyetemi doktori értekezését 1978-ban védte meg. 1983 szeptembere óta a BME

HEI-ben dolgozik tudományos ösztöndíjasként, ahol a digitális jelfeldolgozás és jelszintézis algoritmikus kérdéseivel foglalkozik. Szakmai érdeklődési köre: rendszertechnika, digitális jelfeldolgozás, számítástechnika, algoritmusok elmélete.

$$= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & w_N^1 & w_N^2 & \dots & w_N^{N-1} \\ 1 & w_N^2 & w_N^4 & \dots & w_N^{2(N-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & w_N^{N-1} & w_N^{2(N-1)} & \dots & w_N^{(N-1)(N-1)} \end{bmatrix} \mathbf{x}$$

transzformációs mátrix, $\mathbf{X}^T = [X(0), X(1), \dots, X(N-1)]$ a transzformált értékek vektora és $\mathbf{x}^T = [x(0), x(1), \dots, x(N-1)]$ a kiindulási pontthalmazt leíró vektor. $\mathbf{X}^T$ és $\mathbf{x}^T$ elemei általános esetben komplexek is lehetnek.

Egy, a műszaki gyakorlatban felmerülő feladat kapcsán egységes keretbe foglaljuk a DFT gyors meghatározására kidolgozott eljárásokat ([5], [8], [11], [13], [23], [28]). A lényeges pontokat a mérnöki gyakorlat követelményeinek figyelembe vételével rövid levezetésekkel támasztjuk alá. Kifejezést származtattunk DFT felhasználásával történő, kötött idejű jelfeldolgozási feladatok (pl. spektrumanalízis) maximális sávszélessége (a maximális jelfeldolgozási frekvencia) és a DFT kiszámításához szükséges valós szorzások száma közti összefüggés leírására, majd annak felhasználásával elvégezzük az egyes DFT algoritmusok összehasonlító értékelését.

A továbbiakban szükségünk lesz az egyes DFT számítási eljárások értékelésénél valamilyen mértékre, amely alapján az egyes algoritmusok egységes alapon összehasonlíthatók, értékelhetők. A gyakorlati alkalmazások szempontjából egyik döntő tényező a DFT kiszámításához szükséges idő: sok feladatban ez korlátozza az elérhető maximális jelfeldolgozási frekvenciát. A jelenlegi áramköri technológiák és ismeretek mellett a DFT kiértékelése során a szorzás a legidőigényesebb művelet. Feltételezve, hogy a szükséges szorzások ideje mellett az egyéb műveletek (összeadások, kivonások, léptetések, adatmozgatások stb.) ideje elhanyagolható, a következőkben egy DFT eljárás számítási bonyolultságán a szükséges valós szorzások $f(N)$ számát értjük.

Beérkezett: 1984. VI. 6. (↔)

Tekintsük a következő problémát (amely összetett digitális jelfeldolgozási feladatok része is lehet): valamely folytonos jelből egymást követően t_s időintervallumonként N pontot tartalmazó mintákat veszünk, és képezzük ezen sorozatok diszkrét Fourier-transzformáltjait. A kapott spektrumon esetleg további jelfeldolgozási műveleteket kívánunk végezni. A kötött idejű (real-time) feldolgozás feltétele, hogy az N ponthoz rendelt spektrumot legfeljebb t_s idő alatt elő tudjuk állítani (különben az egyes sorozatok feldolgozásának már az első lépése is átlapolódna a következő részsorozat feldolgozási intervallumára). Ha egyetlen valós szorzás elvégzéséhez $t_{\text{szorzás}}$ időre van szükség, akkor az átlapolódás határhelyzetében (a DFT számításához szükséges idő éppen a következő mintasorozat vételéhez szükséges t_s idő):

$$(1-3) \quad t_s = f(N) \cdot t_{\text{szorzás}}.$$

Az egy pontra eső t_s/N átlagos feldolgozási idő értékéből a mintavételi frekvenciára vonatkozó Nyquist-kritérium ($f_{\text{mintavétel}} = 2 \cdot f_{\text{maxjel}}$) felhasználásával a maximális, még feldolgozható jelfrekvencia:

$$(1-4) \quad f_{\text{maxjel}} = \frac{N}{2 \cdot t_{\text{szorzás}} \cdot f(N)}.$$

Az összefüggésből látható, hogy az f_{maxjel} növelésének két útja kínálkozik:

- a $t_{\text{szorzás}}$ értékének csökkentése, ami új áramkörök, technológiák kidolgozását jelenti;
- az $N/f(N)$ hányados értékének növelése. Az egyik lehetőség N (a pontszám) csökkentése. Sok esetben azonban a pontszám értékét más követelmények (pl. felbontóképesség) határozzák meg. Emiatt járható útként elsősorban $f(N)$ értékének a csökkentése marad.

A továbbiakban algoritmikus eszközökkel próbáljuk $f(N)$ értékét csökkenteni. A vizsgálatok során azonban meghatározzuk a DFT számításához szükséges összeadások számát is.

A dolgozat három részből áll, irodalomjegyzék azonban csak az elsőhöz kapcsolódik. A többi részben levő hivatkozások az első részbéli irodalomjegyzék sorszámai szerintiek.

A jelen első részben először az (1-1) definíció szerinti összeg közvetlen kiértékelésével próbálkozunk. Ezt követi az algoritmuselméletben gyakran használt fokozatos részekre osztás (divide and conquer) elvének alkalmazása. A részekre osztás korlátainak felmérése után a második részben más úton kísérletezünk: az eredetileg kitűzött feladatot olyan más feladattá kíséreljük meg átalakítani ekvivalens módon, amelynek megoldására már ismert hatékony eljárás. Kimutatható, hogy bizonyos feltételek teljesülése esetén az egydimenziós (1-D) DFT többdimenziós (n -D) DFT-be alakítható át. A számelmélet eredményeinek felhasználásával egyes esetekben a DFT számítása periodikus konvolúció kiértékelésére vezethető vissza, amely elvégzésére a polinomok elméletének eredményei alapján adható igen hatékony algoritmus. A harmadik rész foglalkozik a DFT gyors

konvolúciós eljárások felhasználásával történő meghatározásával. Az 1-D és n -D DFT együtthatómátrixai közti összefüggés felhasználásával kétféle módszert (a Good-eljárás és a Winograd-algoritmus) mutatunk be nagyobb pontszámú DFT kisebb pontszámú transzformáltakból történő előállítására. Végül a szükséges műveletszám alapján röviden összehasonlítjuk az ismertetett algoritmusokat, értékeljük az eredményeket.

2. A DFT számítása közvetlen kiértékeléssel

A közvetlen kiértékelés műveletigényének becsléséhez alakítsuk át az alapkifejezést (általános esetben $x(i) = a(i) + jb(i)$ alakú komplex szám (a és b valósak):

$$(2-1) \quad \begin{aligned} X(0) &= \sum_{i=0}^{N-1} x(i) \quad 1 \leq k \leq N-1 \\ X(k) &= x(0) + \sum_{i=1}^{N-1} x(i) e^{-j \left(\frac{2\pi}{N} \right) ki} = \\ &= x(0) + \sum_{i=1}^{N-1} (a(i) + jb(i)) \left(\cos \left(\frac{2\pi}{N} \right) ki - j \sin \left(\frac{2\pi}{N} \right) ki \right). \end{aligned}$$

Két komplex szám szorzása elvégezhető 4 valós szorzás és 2 valós összeadás felhasználásával. A (2-2) azonosságok alapján azonban elegendő 3 valós szorzás is, aminek ára az összeadások számának 5-re történő növekedése:

$$(2-2) \quad (a + jb)(c + jd) = p + jq \quad \left. \begin{aligned} w_1 &= a(c + d) \\ w_2 &= d(a + b) \\ w_3 &= c(b - a) \end{aligned} \right\} \begin{aligned} p &= w_1 - w_2 \\ q &= w_1 + w_2 \end{aligned}$$

Ekkor a közvetlen számítás műveletigénye $f(N) = 3 \cdot (N-1)^2$ valós szorzás és $A(N) = (5N-3) \cdot (N-1)$ valós összeadás. A bonyolultságvizsgálatok során szokásos jelölésmóddal: $f(N) = O(N^2)$ és $A(N) = O(N^2)$. Általában azt mondjuk, hogy egy $f(N)$ függvény $O(g(N))$ rendű, ha létezik olyan c állandó, amelyre az $f(N) \leq c \cdot g(N)$ összefüggés legfeljebb véges számú érték kivételével minden egész, nem negatív N értékre teljesül.

N nagyobb értékeire a DFT konkrét meghatározása kötött időben igen nagy problémát jelenthet. Az (1-4) kifejezés alapján, gyors szorzóáramkört használva ($t_{\text{szorzás}} = 200$ ns) egy tipikus alkalmazásban ($N = 10^3$) az f_{maxjel} maximális jelfeldolgozási frekvencia értéke: $f_{\text{maxjel}} = 833$ Hz, ami a gyakorlati esetek többségében túl kicsi.

Az $\{x(i)\}$ jelsorozat speciális tulajdonságaira vonatkozó előzetes információ ismeretében a közvetlen kiértékelés műveletszáma jelentősen csökkenthető. Ilyen információ lehet pl. az adatok valós volta, az $\{x(i)\}$ sorozat szimmetrikus stb. Kimutatható azonban, hogy a szükséges szorzások $f(N)$ száma a lehetséges egyszerűsítések elvégzése után is $O(N^2)$ rendű, csupán a c állandó értéke csökken. Ez azt jelenti, hogy az f_{maxjel} frekvencia értéke csak azonos nagyságrenden belül növelhető.

3. A DFT meghatározása fokozatos részekre osztással

3.1. Számítás a részekre osztás elvének felhasználásával

Az algoritmuselmélet gyakran alkalmazott fogása a kiindulási probléma kisebb méretű részekre történő felbontása, az ezekhez tartozó megoldások megkeresése, majd a kapott eredmények összekombinálásával az eredeti feladat megoldásának összeállítása. A módszer gyakran vezet a közvetlen megoldásnál gyorsabb (kisebb műveletigényű) megoldásra különösen akkor, ha a részekre osztásnál az eredeti feladat kisebb méretű változatai állnak elő. Ezen megoldástípusokat „divide-and-conquer” (fokozatos részekre osztás) típusú algoritmusoknak szokás nevezni. Próbáljuk meg a módszert nagy méretű (nagy pontszámú) DFT számítására alkalmazni, azaz több kisebb méretű DFT meghatározására visszavezetni.

Feltéve, hogy az eredeti DFT N pontszáma összetett szám, a tényezőkre bontást elvégezve: $N = N_1 \cdot N_2 \cdot \dots \cdot N_n$, ahol az egyes N_j ($1 \leq j \leq n$) tényezőkre azon kívül, hogy egészek, semmilyen megkötést nem teszünk. A $P = N_2 \cdot N_3 \cdot \dots \cdot N_n$ választással az (1-1) definíciós összefüggésben az indexeket N_1 és P lineáris kombinációjaként kifejezve:

$$(3-1) \quad \begin{aligned} k &= k_2 + k_1 P & 0 \leq k_1 \leq N_1 - 1 \\ & & 0 \leq k_2 \leq P - 1 \\ i &= i_1 + i_2 N_1 & 0 \leq i_1 \leq N_1 - 1 \\ & & 0 \leq i_2 \leq P - 1. \end{aligned}$$

Az indexek más felbontása (nemlineáris, nem algebrai stb.) is elképzelhető, azonban a gyakorlatban leginkább hasznos a (3-1) típusú lineáris összefüggés. A felbontás láthatóan kölcsönösen egyértelmű leképezést teremt $k \rightarrow (k_1, k_2)$ és $i \rightarrow (i_1, i_2)$ között. A definíciós összefüggésbe helyettesítve:

$$(3-2) \quad \begin{aligned} X(k_2 + k_1 P) &= X(k_1, k_2) = \\ &= \sum_{i_1=0}^{N_1-1} \sum_{i_2=0}^{P-1} x(i_1 + i_2 N_1) \cdot e^{-j \left(\frac{2\pi}{N} \right) (k_1 P + k_2) (i_1 + i_2 N_1)}. \end{aligned}$$

Azonos átalakítások után $\left(e^{-j \left(\frac{2\pi}{N} \right) k_1 i_2 P N_1} \equiv 1 \right)$:

$$(3-3) \quad \begin{aligned} X(k_1, k_2) &= \sum_{i_1=0}^{N_1-1} e^{-j \left[\left(\frac{2\pi}{N_1} \right) i_1 k_1 + \left(\frac{2\pi}{N} \right) i_1 k_2 \right]} \cdot \\ &\cdot \sum_{i_2=0}^{P-1} x(i_1, i_2) e^{-j \left(\frac{2\pi}{N_2} \right) i_2 k_2}. \end{aligned}$$

A belső összeg csupán k_2 és i_1 függvénye:

$$(3-4) \quad X_1(k_1, i_2) = \sum_{i_1=0}^{P-1} x(i_1, i_2) e^{-j \left(\frac{2\pi}{N_2} \right) i_2 k_2}.$$

X_1 értékészlete $N_1 \cdot P = N$ db értékből áll (valójában N elemű kétdimenziós tömb az (i_1, k_2) indexekkel). Közvetlen kiértékelésnél a szükséges szorzások száma (eltekintve a $k_1 = 0$ esetben lehetséges egyszerűsítéstől) $M_1 = 3 \cdot P^2 \cdot N_1 = 3P \cdot N$ valós szorzás. A külső összeg belső összegből való számításának lépésszáma $M_2 = 3N^2 \cdot P = 3N \cdot N_1$ valós szorzás. A teljes műveletigény: $f(N) = M_1 + M_2 = 3N \cdot (N_1 + P)$. Látható, hogy a belső összeg valójában egy P -pontos DFT. A tényezőkre bontást folytatva, és az előző

gondolatmenetet követve az eredeti DFT végül kisebb méretű DFT-k számítására vezethető vissza. Az eljárás $(n-1)$ lépésben ér véget (n a tényezők száma N felbontásában). Az összes valós szorzások száma:

$$(3-5) \quad f(N) = 3N \cdot (N_1 + N_2 + \dots + N_n),$$

ahol

$$N = \prod_{i=1}^n N_i.$$

Ha $N_i = a_i b_i$ ($a_i, b_i > 1$), akkor $a_i + b_i \leq N_i$, így általában (de nem minden esetben, mint azt majd látni fogjuk) célszerű N értékét a lehető legtöbb tényezőre felbontani, azaz a törzstényező felbontásból kiindulni. $N = \prod_{i=1}^n p_i^{a_i}$ esetén (3-5) alakja:

$$(3-6) \quad f(N) = 3N \sum_{i=1}^n a_i p_i.$$

Ha $N > 4$, akkor $\sum_{i=1}^n a_i p_i < \prod_{i=1}^n p_i^{a_i}$, azaz $f(N)$ rendje valóban csökkent az $f(N) = O(N^2)$ -hez képest.

$N = p^n$ esetben (p prím) $f(N) = 3 \cdot N \cdot \log_p N$, vagyis $f(N) = O(N \cdot \log N)$. A gyakorlatban különösen fontos $N = 2^n$ esetben $f(N) = O(N \cdot \log_2 N)$. A DFT ily módon történő számítását szokás gyors Fourier-transzformációnak (FFT) nevezni.

3.2. A nem triviális szorzások számának meghatározása 2 és 4 szerinti faktorizáció esetén

A pontos műveletszám meghatározásánál sok egyszerűsítő tényező is figyelembe vehető. $N = 2^n$ esetén a w_N^{jk} exponenciális tényezővel történő szorzás sok esetben $\pm 1, \pm j$ értékkel való szorzásra redukálódik (triviális szorzások), amit a tényleges számítás során természetesen nem szorzásként veszünk figyelembe.

A szorzások nem triviális számának számításához írjuk fel az (1-1) definíciós összefüggésben szereplő i és k indexeket kettes számrendszerben (ez minden különösebb feltétel teljesülése nélkül megtehető).

$$(3-7) \quad \begin{aligned} k &= 2^{n-1} k_{n-1} + \dots + k_0 2^0 & k_l = 0, 1 & 0 \leq l \leq n-1 \\ i &= 2^{n-1} i_{n-1} + \dots + i_0 2^0 & i_l = 0, 1 & n = \log_2 N. \end{aligned}$$

Az alapösszefüggésbe helyettesítve:

$$(3-8) \quad \begin{aligned} X(k_0, k_1, \dots, k_{n-1}) &= \\ &= \sum_{i_0=0}^1 \dots \sum_{i_{n-1}=0}^1 x(i_0, i_1, \dots, i_{n-1}) e^{-j \left(\frac{2\pi}{N} \right) k i} \end{aligned}$$

$$k \cdot i = \left(\sum_{l=0}^{n-1} k_l 2^l \right) \cdot \left(\sum_{l=0}^{n-1} i_l 2^l \right).$$

Behelyettesítve, átrendezve és a minden c egészre érvényes $e^{-j2\pi c} \equiv 1$ azonosságot figyelembe véve:

$$(3-9) \quad \begin{aligned} X(k_0, k_1, \dots, k_{n-1}) &= \quad (1 \leq p \leq n) \\ &= \sum_{i_0=0}^1 e^{-j \left(\frac{2\pi}{N} \right) i_0 \left(\sum_{l=0}^{n-1} k_l 2^l \right)} \dots \sum_{i_{n-p}=0}^1 e^{-j \left(\frac{2\pi}{N} \right) i_{n-p} 2^{n-p} \left(\sum_{l=0}^{p-1} k_l 2^l \right)} \dots \\ &\dots \sum_{i_{n-1}=0}^1 x(i_0, i_1, \dots, i_{n-1}) e^{-j \left(\frac{2\pi}{N} \right) i_{n-1} 2^{n-1} k_0}. \end{aligned}$$

A legbelső összeg láthatóan $N/2$ db 2-pontos DFT. Kiértékeléséhez nem szükséges szorzás. Általában az $(n-p)$ -ik összegben az előző fokozatban keletkezett N db értéket kell szorozni egy exponenciális taggal, amelynek kitevője:

$$(3-10) \quad -j \left(\frac{2\pi}{N} \right) i_{n-p} 2^{n-p} \sum_{l=0}^{p-1} k_l 2^l.$$

A legmagasabb indexű k taggal való szorzás ismét 2-pontos DFT-t jelent, amelynek számításához — mint már említettük — nincs szükség szorzásra. Az összeg többi tagjával történő szorzás forgatást jelent. Az összeg második tagjával (k_{p-2}) való szorzások kiesnek, mivel $e^{-j \left(\frac{2\pi}{N} \right) i_{n-p} k_{p-2}}$ értéke i_{n-p} és k_{p-2} lehetséges értékeire $+1$, ill. $-j$. Azon kívül még nincs szükség valós szorzásokra, ha $i_{n-p}=0$, ill. a $\sum_{l=0}^{p-3} k_l 2^l$ összegben az összes k együttható értéke zérus. Az előző fokozatbeli számítások után adódó n -változós eredmény:

(3-11)

$$x_{n-p-1}(k_{p-2}, k_{p-3}, \dots, k_0, i_{n-p}, i_{n-p-1}, \dots, i_0).$$

A többi i_{n-q} változó ($1 \leq q \leq p-1$) a korábbi összegezés során eltűnik, és helyükre a k_s értékek ($0 \leq s \leq p-1$) kerülnek. Ha $i_{n-p}=0$, akkor a többi változó értékétől függetlenül nincs szükség szorzásra, így az eredetileg N db szorzásból $N/2$ kiesik. Kiesnek még azok a szorzások, amelyeknél a $\sum_{l=0}^{p-3} k_l 2^l$ összeg zérus, azaz $(p-2)$ db k_l együttható zérus. Ezen feltételek mellett az x_{n-p-1} kifejezés lehetséges értékeinek száma 2^{n-p+1} ($n-p$ db i_l ($0 \leq l \leq n-p-1$) változó és a k_{p-2} változó értékei). Azaz az $n-p$ -ik összegzésben a szükséges komplex szorzások száma:

$$(3-12) \quad M_{n-p} = N - \frac{N}{2} - 2^{n-p+1} = \frac{N}{2} \left(1 - \frac{1}{2^{p-2}} \right).$$

A (3-9) összefüggés nyilván csak $p \geq 3$ -ra érvényes, mivel az első két összefüggésben csak a DFT- k , ill. a triviális forgatás szerepel. Az egyes fokozatokbeli szorzások számát összegezve:

$$(3-13) \quad M_N = \frac{N}{2} \sum_{p=3}^n \left(1 - \frac{1}{2^{p-2}} \right) = \frac{N}{2} \log_2 N - \frac{3N}{2} + 2,$$

ill. komplex szorzásonként 3 valós szorzást és 5 valós összeadást számolva:

$$(3-14) \quad f(N) = 3 \cdot M_N = \frac{3N}{2} \log_2 N - \frac{9N}{2} + 6.$$

A szükséges összeadások száma: fokozatonként N , amihez jön a forgatások miatti szorzásokból adódó összeadások száma:

$$(3-15) \quad A(N) = 2N \log_2 N + \frac{5f(N)}{3} = \frac{9N}{2} \log_2 N - \frac{15N}{2} + 10.$$

Hasonló gondolatmenetet alkalmazva $N=4^n$ alakú pontszámokra 4 szerinti faktorizációval (a 4-pontos DFT számításához sincs szükség szorzásokra, azok

csak a forgatásokat leíró exponenciális tagokkal kapcsolatosak), a szükséges komplex szorzások száma:

$$(3-16) \quad M_N = \sum_{p=2}^n \left(\frac{9N}{16} - \frac{N}{4^p} \right) = \frac{9N}{16} \log_4 N - \frac{31N}{48} + \frac{1}{3},$$

amiből:

$$(3-17) \quad f(N) = 3M_N = \frac{27N}{16} \log_4 N - \frac{31N}{16} + 1.$$

Az összeadások száma az előzőekhez hasonlóan adódik:

$$(3-18) \quad A(N) = 2N \log_4 N + \frac{5}{3} f(N) = \frac{67N}{16} \log_4 N - \frac{155N}{48} + \frac{5}{3}.$$

A (3-17) és (3-18) kifejezések csak $N \geq 16$ értékekre érvényesek.

3.3. A fokozatos részekre osztás eredményének értelmezése

A fokozatos részekre osztás egyúttal azt is jelentette, hogy az (1-1) definíciós összefüggésben az i és k indexeket több indexváltozó lineáris kombinációjára bontottuk. Hatása: a kiindulási egydimenziós pontsorozatot több indexszel elérhető többdimenziós pontsorozattá alakítottuk át, aminek következtében a számításokhoz szükséges adatsorrend eltérhet az eredeti adatsorrendtől. Ugyanaz áll a transzformált értékeket tartalmazó sorozatra is. Következésképp a DFT meghatározásához a hagyományos aritmetikai műveleteken kívül (szorzás, összeadás, kivonás, lép-tetés) más műveletekre (adatmozgatás) is szükség lehet, amelyek a gyakorlati megvalósítás során esetleg nem elhanyagolhatóak. Léteznek olyan eljárások is, amelyek a fokozatos részekre osztást úgy szervezik, hogy a számításokhoz az adatok eredeti sorrendjére van szükség, és az eredmény is az eredeti sorrendben képződik. A továbbiakban az átrendezés problémáját azonban részletesen nem vizsgáljuk.

A (3-3) összefüggés másképp is értelmezhető. Mint arról már korábban szó volt, a belső összeg N_1 db p -pontos DFT számítását jelenti. Azonos átalakítás után (3-3) új formája:

$$(3-19) \quad X(k_1, k_2) = \sum_{i_1=0}^{N_1-1} e^{-j \left(\frac{2\pi}{N_1} \right) i_1 k_1} \cdot e^{-j \left(\frac{2\pi}{N} \right) i_1 k_2} \cdot \sum_{i_2=0}^{P-1} x(i_1, i_2) e^{-j \left(\frac{2\pi}{P} \right) i_2 k_2}.$$

Látható, hogy a külső összeg az $e^{-j \left(\frac{2\pi}{N} \right) i_2 k_2}$ szorzótényezőtől eltekintve N_1 -pontos DFT-t definiál, azaz a (3-19) kifejezés számításának algoritmus:

1. N_1 db P -pontos DFT számítása;
2. a kapott $N_1 \cdot P = N$ érték szorzása a megfelelő $e^{-j \left(\frac{2\pi}{N} \right) i_1 k_2}$ értékekkel ($0 \leq i_1 \leq N_1-1$, $0 \leq k_2 \leq P-1$), azaz egy forgatást kell végrehajtani a komplex számsíkban;
3. a külső összeg által meghatározott P db N_1 -pontos DFT meghatározása.

A számítások 2. lépésében szükséges szorzások nélkül az eredetileg $1-D$ DFT számítását $2-D$ DFT számítására lehetne visszavezetni. A szükséges szorzások száma:

$$(3-20) \quad f(N) = N_1 \cdot f(P) + P \cdot f(N_1) + N = \frac{N}{P} \cdot f(P) + \frac{N}{N_1} \cdot f(N_1) + N.$$

A kiinduló feltevések szerint $P = N_2 \cdot N_3 \cdot \dots \cdot N_n$, vagyis a fokozatos részekre osztás tovább folytatható a (3-19) kifejezésben szereplő belső összeg (P -pontos DFT) felbontásával. A korábbiakban követett eljárás ismételt alkalmazásával adódik [24]:

$$(3-21) \quad f(N) = \sum_{j=1}^n \frac{N}{N_j} \cdot f(N_j) + (n-1)N.$$

A felbontási módszerből következik, hogy a fokozatonként szükséges korrekciós tagtól eltekintve (2. lépés) lényegében az $1-D$ DFT $n-D$ DFT-be való átalakítását kaptuk, azaz az eredeti nagy méretű feladatot valóban több, kisebb méretű, azonos típusú feladattá sikerült felbontani. A részekre osztást általában célszerű prímtenyezős alakig elvégezni, bár egyes esetekben a gyakorlati követelmények más felbontás alkalmazását tehetik szükségessé.

Elemezzük röviden a (3-21) összefüggés jelentését. Az első tag jelenti az $N_1 \times N_2 \times \dots \times N_n$ $n-D$ DFT számításának műveletigényét, ha $f(N_j)$ az N_j -pontos $1-D$ DFT számításigénye. Ha $f(N_j) = O(N_j^2)$, akkor a (3-5) összefüggés származtatásánál alkalmazott gondolatmenet kisebb műveletszámmra vezet (nem bontjuk fel a (3-3) összefüggés külső összegében az exponenciális tagot két exponenciális tag szorzatára):

$$(3-22) \quad f(N_j) = 3N_j^2 \rightarrow f(N) = \sum_{j=1}^n \frac{N}{N_j} \cdot 3N_j^2 + (n-1)N = 3N(N_1 + N_2 + \dots + N_n) + (n-1)N.$$

Ha azonban $f(N_j) < O(N_j^2)$, akkor remélhető, hogy a (3-21) a (3-5) egyenlőséggel meghatározott műveletszámnál kevesebbre vezet. Amennyiben $N = 2^n$, akkor:

$$(3-23) \quad f(N) = n2^{n-1}f(2) + (n-1)2^n.$$

Mivel $f(2) = 0$ ($X(0) = x(0) + x(1)$, $X(1) = x(0) - x(1)$),

$$(3-24) \quad f(N = 2^n) = (n-1)2^n = N(\log_2 N - 1) = O(N \cdot \log_2 N),$$

mint azt az előzőekben meghatároztuk.

Kiindulva ismét az $N = \prod_{i=1}^n p_i^{\alpha_i}$ törzstényezős alakból és N értékét a lehető legtöbb tényezőre bontva:

$$(3-25) \quad f(N) = N \sum_{j=1}^n \frac{\alpha_j}{p_j} f(p_j) + N \left(\sum_{j=1}^n \alpha_j - 1 \right).$$

Ha $N = p$ (p prím), akkor $f(N) = f(p)$, azaz a fenti módon történő fokozatos részekre osztással nem érhetünk el eredményt (egyébként is kiindulási feltétel volt, hogy N összetett szám). $N = p$ esetén;

$$(3-26) \quad f(N = p^\alpha) = \alpha p^{\alpha-1} f(p) + (\alpha - 1)p.$$

Egyszerű átalakításokkal kimutatható, hogy $N > 4$ esetben $f(N) < O(N^2)$ még akkor is, ha $f(p) = O(p^2)$.

(3-25)-ből az $f(N)$ bonyolultsági mérték (valós szorzások száma) csökkentésének két kézenfekvő módja adódik. Egyrészt visszavezetni az $1-D$ DFT számítását valóban $n-D$ DFT meghatározására: ekkor ugyanis a (3-21) összegben az $(n-1)N$ alakú második tag elmarad. Ennek feltétele, hogy a számítási algoritmus 2. lépésében az exponenciális taggal való szorzásra (forgatásra) ne legyen szükség. A másik lehetőség az $f(p_j)$ értékek csökkentése: prím számokra heurisztikus vagy szisztematikus úton olyan algoritmusokat származtatni, amelyekre $f(p_i) < O(p_i^2)$. A továbbiakban megvizsgáljuk, mi a feltétele, hogy az $1-D$ DFT $n-D$ DFT-be legyen átalakítható.

(A cikk ugyanezen folyóirat későbbi számaiban folytatódik.)

IRODALOM

- [1] Aho, A. V. — Hopcroft, J. E. — Ullmann, J. D.: "The Design and Analysis of Computer Algorithms", Addison-Wesley Publishing Company, (1975).
- [2] Ahmed, N. — Rao, K. R.: "Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing", Springer-Verlag, Berlin and New York, (1975).
- [3] Agarwal, R. C. — Burrus, C. S.: "Fast One-Dimensional Convolution by Multidimensional Techniques", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-22, pp. 1–10, (1974).
- [4] Agarwal, R. C. — Burrus, C. S.: "Number Theoretic Transforms to Implement Fast Digital Convolution", Proceedings of the IEEE, vol. 63, pp. 550–560, (1975).
- [5] Agarwal, R. C. — Cooley, J. C.: "New Algorithms for Digital Convolutions", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-25, pp. 392–410, (1977).
- [6] Agarwal, R. C.: "An In-Place and In-Order WFTA", ICASSP '83, Boston, pp. 190–193, (1983).
- [7] Bellman, R.: "Introduction to Matrix Analysis", McGraw-Hill, New York, (1960).
- [8] Burrus, C. S.: "Index Mappings for Multidimensional Formulation of the DFT and Convolution", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-25, pp. 239–242, (1977).
- [9] Bringham, E. O.: "The Fast Fourier Transform", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1974).
- [10] Czebe, L.: „A diszkrét és a gyors Fourier-transzformáció”, Híradástechnika, vol. 32., no. 4., pp. 141–155, (1981).
- [11] Cooley, J. W. — Tukey, J. W.: "An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series", Mathematics of Computation, vol. 19., pp. 297–301, (1965).
- [12] Good, I. J.: "The Relationship Between Two Fast Fourier Transforms", IEEE Transactions on Computers, C-20, pp. 310–317, (1971).
- [13] Kolba, D. P. — Parks, T. W.: "A Prime Factor FFT Algorithm Using High-Speed Convolution", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-25, pp. 281–294, (1977).
- [14] Knuth, D. E.: "The Art of Computer Programming", vol. 1. "Fundamental Algorithms", és vol. 2. "Seminumerical Algorithms", Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, (1969).

- [15] Nawab, H.—McClellan, J. H.: "A Comparison of WFTA and FFT Programs", Proceedings of Asilomar Conference on Circuits, Systems and Computers, Pacific Grove, California, pp. 613—617, (1978).
- [16] Nawab, H.—McClellan, J. H.: "Bounds on the Minimum Number of Data Transfers in WFTA and FFT Programs", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-27, pp. 394—398, (1979).
- [17] Niven, I.—Zuckerman, H. S.: "Bevezetés a számelméletbe", Műszaki Könyvkiadó, Budapest, (1978).
- [18] Nussbaumer, H. J.—Quandalle, P.: "Comparison of Convolutions and Discrete Fourier Transforms", IBM Journal of Research and Development, vol. 22, pp. 134—144, (1978).
- [19] Nussbaumer, H. J.—Quandalle, P.: "Fast Computation of Discrete Fourier Transforms Using Polynomial Transforms", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-27, pp. 169—181, (1979).
- [20] Nussbaumer, H. J.: "Fast Polynomial Transform Algorithms for Digital Convolution", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-28, pp. 205—215, (1980).
- [21] Oppenheim, A. V.—Schäfer, R. W.: "Digital Signal Processing", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1975).
- [22] Rabiner, L. R.—Gold, B.: "Theory and Application of Digital Signal Processing", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1975).
- [23] Rader, C. M.: "Discrete Fourier Transforms When the Number of Data Samples is Prime", Proceedings of the IEEE, vol. 56., pp. 1107—1108, (1968).
- [24] Rader, C. M.—McClellan, J. H.: "Number Theory in Digital Signal Processing", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1979).
- [25] Silverman, H. F.: "An Introduction to Programming the Winograd Fourier Transform Algorithm (WFTA)", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-25, pp. 152—165, (1977).
- [26] Toom, A. L.: "The Complexity of a Scheme of Functional Elements Simulating the Multiplication of Integers", Dokladi Akademii Nauk SSSR, pp. 496—498, (1963).
- [27] Winograd, S.: "Some Bilinear Forms Whose Multiplicative Complexity Depends on the Field of Constants", Mathematical Systems Theory, vol. 10., pp. 169—180, (1977).
- [28] Winograd, S.: "On Computing the Discrete Fourier Transform", Mathematics of Computation, vol. 32., pp. 175—199, (1978).
- [29] Winograd, S.: "Signal Processing and Complexity of Computation", Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, pp. 94—101, (1980).
- [30] Zohar, S.: "A Prescription of Winograd's Discrete Fourier Transform Algorithm", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-27, pp. 409—421, (1979).
- [31] Gordos, G.—Takács, Gy.: „Digitális beszédfeldolgozás”, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983, p. 345.

Könyvismertetés

Mikroelektronikai berendezés-orientált áramkörök tervezése.

Szerkesztette Tarnay Kálmán. Készült a Mikroelektronikai Kormánybiztos megbízásából 1984-ben, 984 oldal + 54 színes melléklet.

A berendezés-orientált áramkörök megjelenése új megközelítésmódot kíván mind az alkatrészek, mind a készülékek előállításának részéről — ugyanakkor számos eddig ismeretlen lehetőséget is nyit. Az új területen való tájékozódás talán a legfontosabb lépése annak az újratanulási folyamatnak, amely alól az elektronika egyetlen művelője sem vonhatja ki magát napjainkban.

Az új megközelítésmódot sokoldalúan alapozza a címben idézett mű. Tíz részét tizenhét szerző írta, a részterületek avatott ismerői. Az általános fogalmakat tisztázó bevezető fejezet után az aktív félvezető eszközök tömör ismertetése következik. Ezt követi — a recenzió szerzője szerint legfontosabb — összevont harmadik és negyedik rész, amely a logikai alap-áramköröket tárgyalja. Az ötödik rész a logikai rendszerekkel, míg a hatodik a digitális integrált áramkörök specifikálásával foglalkozik. A további részekben megismerjük a technológiai alapokat (VII), a layout tervezést (VIII—IX) és a tervezéshez szükséges számítástechnikai háttérrel (X).

Berendezésorientált áramkörök tervezése és használata során fel kell adni azt az elterjedt, nagyon kényelmes, ámde sohasem helyeselt álláspontot, amely szerint a berendezések építőinek egy-egy integrált áramköri tok logikai funkcióival

kellene csupán foglalkozniuk, nem törődve a tok belsejében lejátszódó folyamatokkal. A könyv szerencsés arányokkal segíti e helytelen álláspont revideálását: az I—II és az V—VII. részekben felfrissíti és homogenizálja a különböző érdeklődési irányú villamosmérnökök ismeretanyagát annak érdekében, hogy a III—IV. és a VIII—IX., legtöbb új ismeretet tartalmazó részeket megalapozza.

Fentiekkel a recenzió írója kedvet is akar csinálni azoknak, akik netán elriadnának a mintegy 1000 oldal összterjedelemtől. A gondos szerkesztésnek köszönhetően az egyes részek „öntartóak”, ennek ellenére sincsenek zavaró ismétlések a könyvben.

Külön kell szólni az elkészülés tempójáról, ami talán példa nélküli a magyar műszaki könyvkiadás történetében. Az első szerzői egyeztető megbeszélés után egy évvel a könyv kijött a nyomdából. A rendkívül gyors átfutás ellenére sem túl sok a nyomdahiba, sajnos a meglevők viszont meglehetősen zavaróak (indexek keverése, felülvonások elhagyása, ábrák tördelése, ábrákra való hivatkozás). Tudomásom szerint készülöben van egy részletes hibajegyzék.

A könyv didaktikai értékét emelik a mellékletben levő színes ábrák és a III—IV. fejezethez tartozó, egyénileg kidolgozandó feladatlapok.

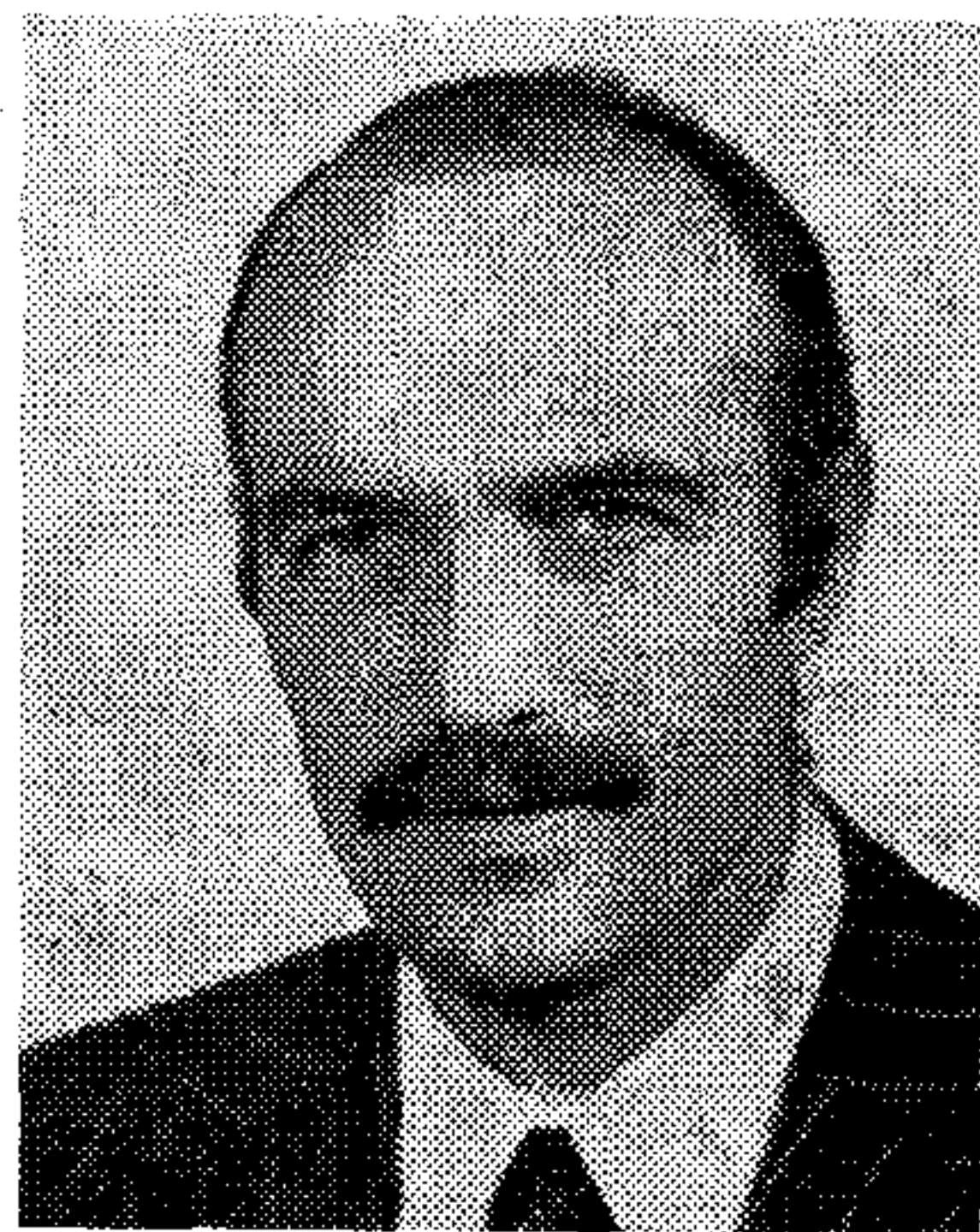
Mindent összevetve, a színvonalas könyv gyorsan, a legjobb időben jelent meg és bizonyosan nagy segítségére lesz a magyar elektronikai ipar időszerű megújulásának.

Dr. Ambrózy András

Monolit integrált áramkörök adalékolási és oxidálási technológiai lépéseinek kétdimenziós szimulációja. Összefoglaló.

DR. VESZELY GYULA—DR. ZOMBORY LÁSZLÓ

Budapesti Műszaki Egyetem
Elméleti Villamosságtan Tanszék



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk ismerteti azokat az effektusokat, amelyek az adalékeloszlás kétdimenziós ismeretét igénylik. Összefoglalja azokat a technológiai lépéseket, amelyeknél indokolt a kétdimenziós szimuláció és ismerteti a szimuláció modelljeit és algoritmusait.

*„A hasonló csak hasonló által ismerhető meg.”
(Emerson)*

Bevezetés

A félvezetőeszközök technológiájának szimulációja kettős célt szolgál. Egyrészt a szimuláció eredményeit a mérésekkel összevetve következtetések vonhatók le az alapvető effektusokra, és azok kölcsönhatására, másrészt a modellek felhasználásával, kísérletek nélkül következtetések vonhatók le adott folyamatsor eredményeként kialakuló struktúra tulajdonságaira, elősegítve ezzel a tervezést. A két oldal természetesen kiegészíti egymást: kellően prediktív erejű modellek csak olyan módon fejleszthetők, hogy a kvalitatíve helyes eredményeket szolgáltató modellek paramétereit éppen a mérésekkel történő összevetésekből határozzuk meg.

Természetesen bármely fizikai (tehát térben és időben lejátszódó) folyamat szimulációjánál az elsőként megválaszolandó kérdések közé tartozik: a valódi vagy transzformált tartományban történik-e a szimuláció és a valódi tartományban a három térbeli és az időváltozó mennyiségek közül hány független változót akarunk (tudunk?) figyelembe venni a szimuláció során. A kérdésekre adott választ részben a feladat, részben a szimulációhoz rendelkezésünkre álló eszközök (algoritmus, program, számítógép stb.) szabják meg. Így például nemlineáris feladatok esetén a transzformált tartomány használata az esetek döntő többségében nem ígér semmiféle könnyítést, ezért a szimulációt a valódi tartományban végezzük.

Nem ilyen egyértelmű a válasz a dimenziószám tekintetében. Stacionárius esetet vizsgálva az idő természetesen nem szerepel, de technológiai modellezés esetén ez az eset kiesik. A térbeli dimenziók számának a növelése fokozódó számítási nehézségekkel jár és számos alapjelenség megértéséhez nem is szükséges. Ezért természetes, hogy az IC technológiai modellezés egy térbeli dimenzióban kezdődött és jelentős eredményeket ér el mind a mai napig [1]. Hazánkban a BME Elektronikus Eszközök Tanszé-

DR. VESZELY GYULA

A BME Elméleti Villamosságtan Tanszékének docense. 1962-ben a BME híradástechnika szakán villamosmérnöki, 1967-ben mikrohullámú szakmérnöki oklevelet szerzett. 1977-ben elnyerte a műszaki tudományok

kandidátusa címet. Az URSI Magyar Nemzeti Bizottságának tagja. Számos közlemény és konferenciaelőadás szerzője. Fő kutatási területei: félvezető technológiák és eszközök számítógépes modellezése, üvegcsalák elektromágneses elmélete.

kén Tarnay professzor és munkatársai létrehozták a nemzetközileg is egyik legjobb szimulációs programrendszert: a STEP-et [2].

Mikor szükséges a kétdimenziós szimuláció?

*„Ki mit jól keres,
Rájön — de elszalasztja, mire gondja nincs”
(Szophoklész)*

Az egydimenziós technológiai szimuláció nyilvánvaló sikerei ellenére is fokozottan előtérbe kerül a kétdimenziós modellezés szükségessége [1]. Ennek indoka a planáris technológia esetén nyilvánvaló, és alapvetően az eszköz fizikai működésének modellezése igényli.

A bipoláris tranzisztor alapjelensége, hogy a kollektoráram és a rekombináció bázisáram egymásra merőlegesen folynak (1. ábra). Ez alapvetően kétdimenziós jelenség. A MOS térvezérléses tranzisztorban pedig a vezérlő térerősség és az áram iránya merőlegesek egymásra, a pontos leírás ismét kétdimenziós modellezést igényel. Hosszabb csatornáknál a rendkívül kis vastagságú csatorna a telítés előtti tartományban lehetővé tesz kvázi-egydimenziós modellezést (ez az ún. „gradual channel approximation”) a csatorna rövidülésével azonban a feltevések egyre kevésbé igazak. Erről győz meg egy rövid csatornás MOS eszköz potenciáeloszlásnak kétdimenziós képe (2. ábra).

Meg kell említenünk, hogy a technológia egyes lépései közül az ún. lokális oxidáció, valamint az adalékolás során a felülettel párhuzamosan elmozduló adalék eloszlása szintén csak kétdimenziós szimulációval írható le helyesen.

A legalább kétdimenziós eszközszimuláció igénye már az 1960-as években létrehozta az első stacionárius algoritmusokat és ezek az 1970-es évek első felében széles körben használatossá váltak. A 70-es évek

Beérkezett: 1984. IV. 5.

végén, 80-as évek elején jelentek meg a háromdimenziós stacionárius szimulációs programok.

Ezek egyrészt az eszközök fokozatosan csökkenő méretéből adódó új effektusok, másrészt az eleve háromdimenziós struktúra (lásd például [3]) vizsgálatának igényével születtek. Létrehozásukat a hatalmas méretekben növekvő számítógépes lehetőségek mellett a hatékony numerikus eljárások kifejlesztése tette lehetővé.

Megjelentek egyúttal a két térbeli dimenzióval számoló dinamikus szimulációs programok is.

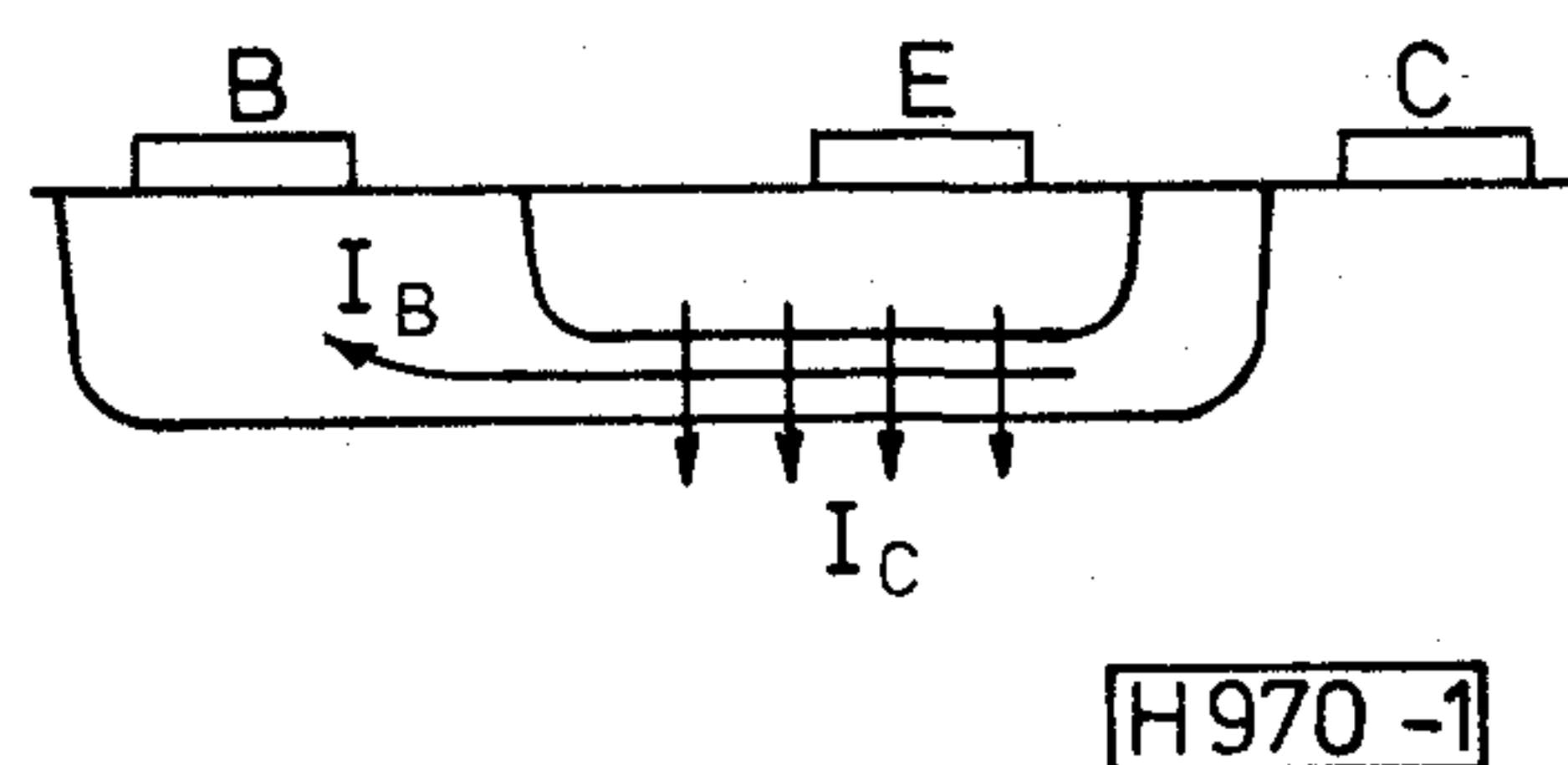
Mindezek a korszerű eszközszimulációs eljárások csak akkor használhatók széles körben és jó eredményekkel, ha a vizsgált térrész geometriája (oxidréteg, elektród stb.) és az adalékeloszlás legalább két térbeli dimenzióban ismert. Ezt szolgálja tehát a két-dimenziós technológiai szimuláció.

Milyen jelenségeket tudunk (ill. nem tudunk) modellezni?

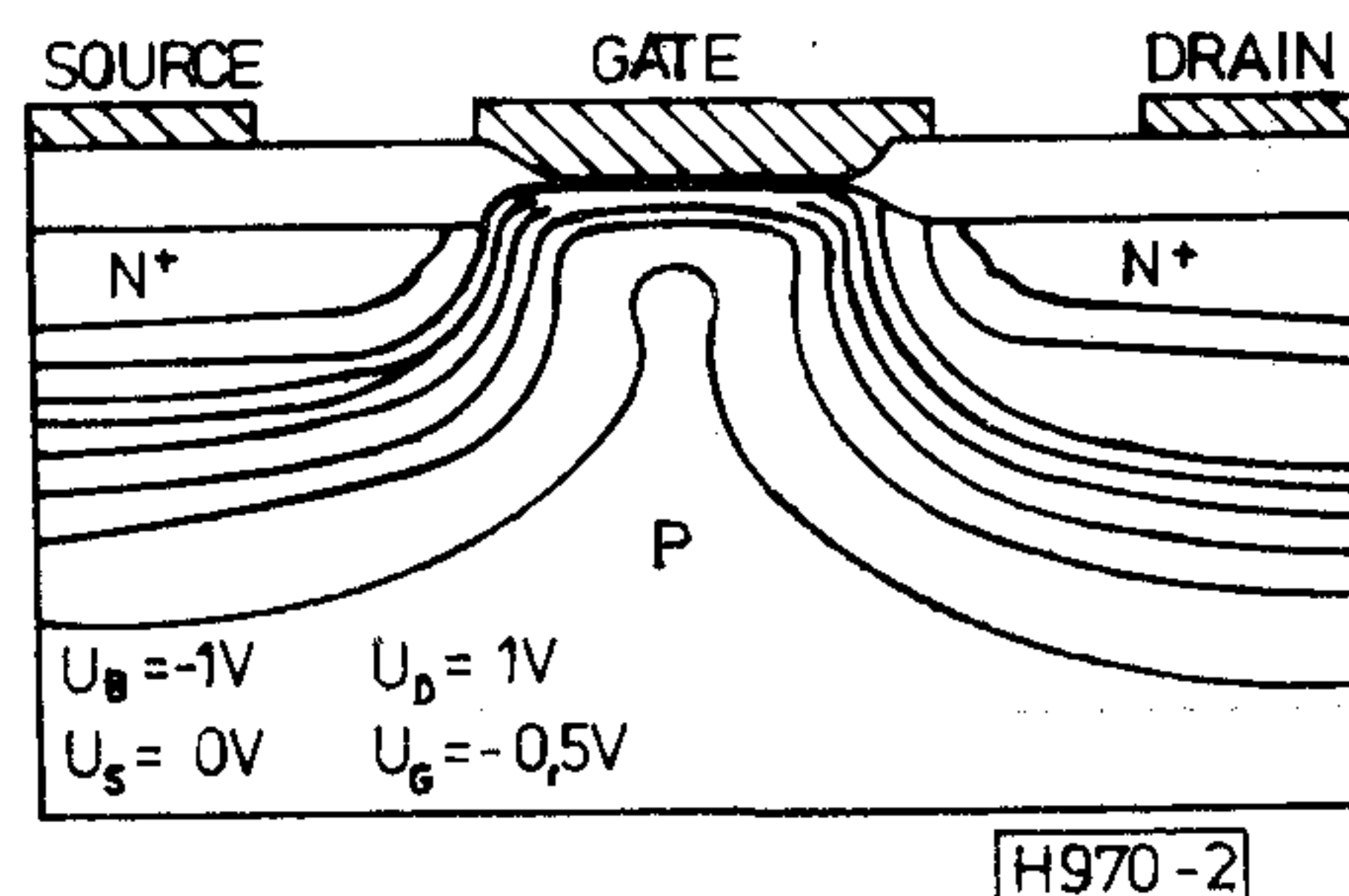
„A tudomány nem próbál magyarázni, alig is próbál interpretálni, a tudomány főként modelleket állít fel”
(Neumann János)

A technológiai folyamatok szimulációja elvben természetesen valamennyi technológiai lépésre elvégezhető. Neureuther [4] nyomán az alábbiakban csoportosítjuk a modellezendő eljárásokat.

Litográfia	Termikus folyamatok
— optikai	— oxidálás (nitridálás)
— elektronsugaras	— adalékolás (predepozíció)
— röntgen	— ionimplantáció
— ionsugaras	— hőkezelés
Maratás	Rétegnövesztés
— nedves	— gőzölés



1. ábra. Planáris bipoláris tranzisztor metszete



2. ábra. Rövid csatornás MOST potenciáeloszlása

- száraz (plazma, ion stb.)
- porlasztás
- kémiai növesztés gőzfázisból (CVD)
- epitaxiális növesztés

Az egyes lépések modellezhetősége nem egyforma, de kétdimenziós modellezésük nem is egyformán szükséges.

A litográfia és a maratás szerepet játszik a két-, ill. háromdimenziós struktúra kialakulásában. Ez a szerep azonban nem mérhető a termikus folyamatokéhoz. Ezért még egydimenziós kinetikus modellezésük is csak a közelmúltban indult meg. Bár a lépéseknek léteznek kezdeti kétdimenziós modelljei, ezeknek megalapozottsága még igen sok kívánnivalót hagy maga után.

A rétegnövesztés modelljei fizikailag ma még kevésbé megalapozottak, lényegében fenomenologikusak. A kétdimenziós effektusokban kevés szerepet játszanak.

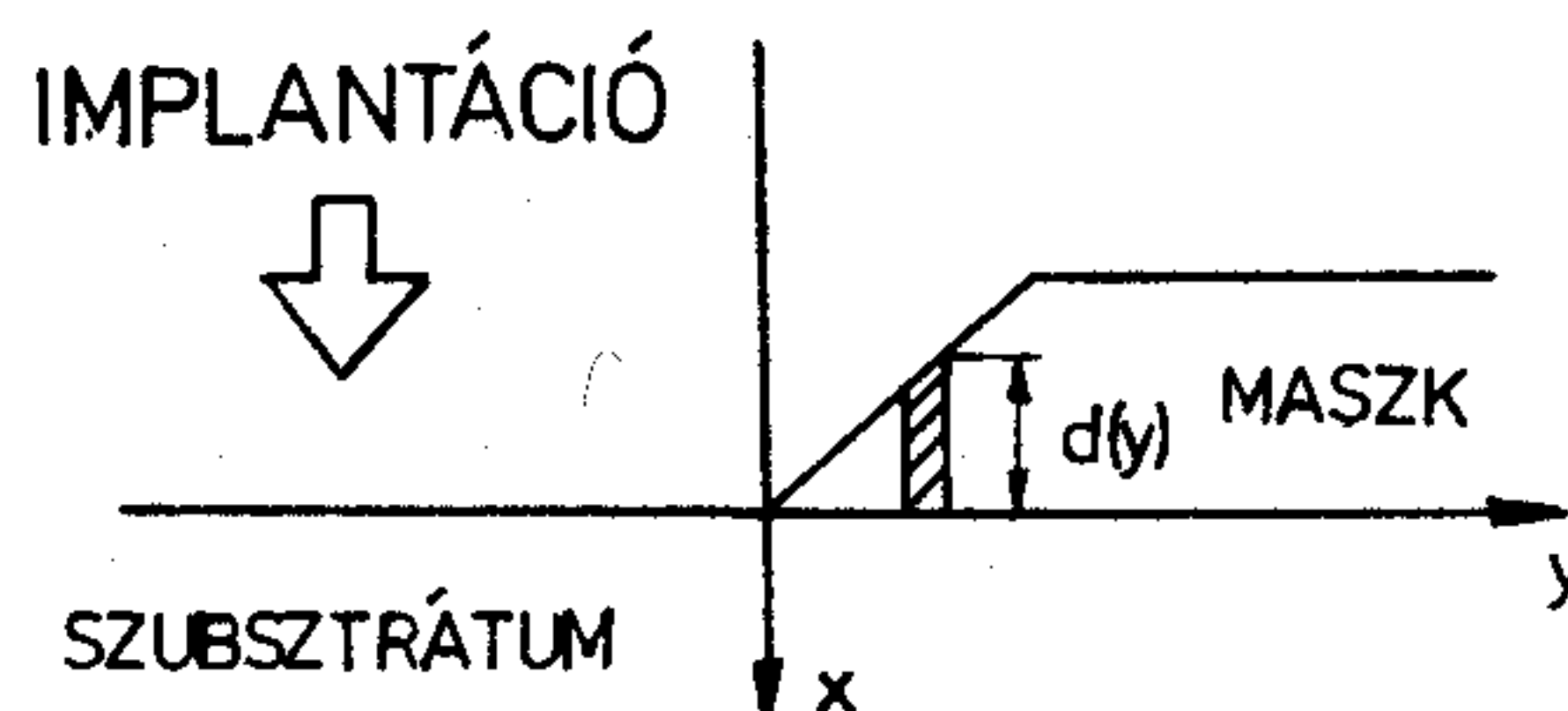
A továbbiakban ezért részletesen a termikus folyamatok címszó alatt összefoglalt technológiai lépések modelljeivel, ill. szimulációjával foglalkozunk részletesen. Megjegyzendő, hogy az ionimplantáció jobb gyűjtőfogalom híján került ebbe a csoportba. Mivel azonban a legtöbb termikus folyamat tartalmaz egy vagy több implantációs adalékolást és a kialakult adalékprofil a többi folyamat kiindulási adata, szerepe azonos a többi ide sorolt folyamatéval.

A most következőkben csak a kétdimenziós modellezés és szimuláció eredményeit ismertetjük. Az ennél bővebb egydimenziós modellek tekintetében ismét az [1] és [2] irodalomra utalunk.

Ionimplantáció

Az implantáció kinetikus modellezése igen bonyolult. Ezért a szimulációnál a kinetikus modellekből nyert analitikus vagy félempirikus eloszlásfüggvényeket, illetve ezek szuperpozícióját használják az implantációval nyert adalékeloszlás leírására. Az ún. csatornaképződéstől eltekintve — ez egyes irányokban, „csatornák” mentén igen mély behatolást eredményez — az eloszlásfüggvény Gauss profil, illetve ilyen eloszlásfüggvények szuperpozíciója (3. ábra)

$$C(x, y) = \frac{C_{\square}}{2\pi\sigma_p\sigma_{\perp}} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp \left[-\frac{(y - \eta)^2}{2\sigma_{\perp}^2} - \frac{(x + d_{eff}(\eta) - R_p)^2}{2\sigma_p^2} \right] d\eta, \quad (1)$$



3. ábra. Ionimplantáció a maszk éle mellett

ahol $C_{\square}$ a felületegységre jutó ionok száma, σ_p és $\sigma_{\perp}$ az eloszlás vertikális (x irányú) és laterális (y irányú) szórása, R_p az eloszlás várható értéke maszk nélkül és d_{eff} a maszk effektív vastagsága, amely arányos d -vel.

Az (1) formulát néhány egyszerűsítő feltevés mellett analitikusan is ki lehet értékelni. A számunkra legfontosabb eredmény, hogy a laterális eloszlás komplementer hibafüggvénnyel írható le, pl.

$$d_{eff} = \begin{cases} 0 & y < 0 \\ \infty & y > 0 \text{ esetén} \end{cases}$$

$$C(x, y) = \frac{C_{\square}}{2\sqrt{2\pi}\sigma_p} \exp\left[-\frac{(x-R_p)^2}{2\sigma_p^2}\right] \operatorname{erfc} \frac{y}{\sqrt{2}\sigma_{\perp}} \quad (2)$$

B és As adalék esetén az eloszlás aszimmetriáját néha jobban tükröző mélységi eloszlásfüggvényt választanak. Ez lehet két „fél-Gauss eloszlásból” kombinálva, vagy az ún. Pearson-IV. típusú eloszlásfüggvény. Mindkét függvény használatos az egydimenziós modellezésben is. Számunkra a hozzájuk tartozó laterális eloszlás érdekes. Ezt általában erfc függvénynek választják, de van olyan modell, amelyben ezt is Gauss eloszlás írja le.

Oxid- (nitrid-) réteg növesztése

A felületi passzív réteg olyan módon növekszik a Si felületen, hogy az oxidáló (nitridáló) anyag átdiffundál a már kialakult passzív rétegen és az érintkező felület mentén kémiai reakcióba lép a Si-mal.

A felületi passzív réteg növesztésének modelljét azzal a feltétellel határozzák meg, hogy a növekedés eléggé lassú ahhoz, hogy 1., az oxidáló anyag eloszlása az oxidban minden pillanatban stacionárius legyen (adiabatikus közelítés) 2., a nyomás relaxációs ideje kisebb az oxidáció idejénél (viszkózus csúszó folyás). Utóbbinak a kétdimenziós modellezésnél van szerepe, hiszen a Si és SiO_2 eltérő móltérfogata az érintkező felületen feszültséget hoz létre, amely szétterjed az oxidban.

Az 1. feltétel figyelembevétele egydimenziós esetben a rétegvastagságra a következő összefüggéshez vezet

$$X = L \cdot \ln \frac{2L^2 + Bt + \sqrt{(Bt)^2 + L^2A^2 + 4L^2Bt}}{2L^2 + AL} \quad (3)$$

ahol L a diffúziós hossz, A és B a növekedést jellemző paraméterek. Valamennyinek a hőmérsékletfüggése legegyszerűbben

$$G = G_0 \exp(-E_G/kT) \quad (4)$$

alakú összefüggéssel írható le. Ennél bonyolultabb összefüggéseket is használnak.

A (3) összefüggés által leírt növekedés sematikusán a 4. ábrán látható. Az ábrából kitűnik, hogy amennyiben $L \gg X$, (a diffúziós hossz jelentősen felülmúlja a rétegvastagságot) a görbe logaritmikusan „telítődő” szakasza a görbe számunkra érdekes szakaszáról eltűnik. Ez igen jó közelítés oxidnövekedés esetén. Ekkor (3) határesetben az

$$X = -\frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + Bt} \quad (5)$$



DR. ZOMBORY
LÁSZLÓ

a BME Elméleti Villamoságtan Tanszékének docense. 1965-ben végzett a BME Villamosmérnöki Kar híradástechnika szakán. 1969-ben Sub auspiciis kitüntetéssel doktorált. 1974-ben védte meg kandidátusi értekezését. Hosszabb ideig dolgozott a SZUTA A. F. Ioffe Műszaki Fizikai Intézetében, a Polytech-

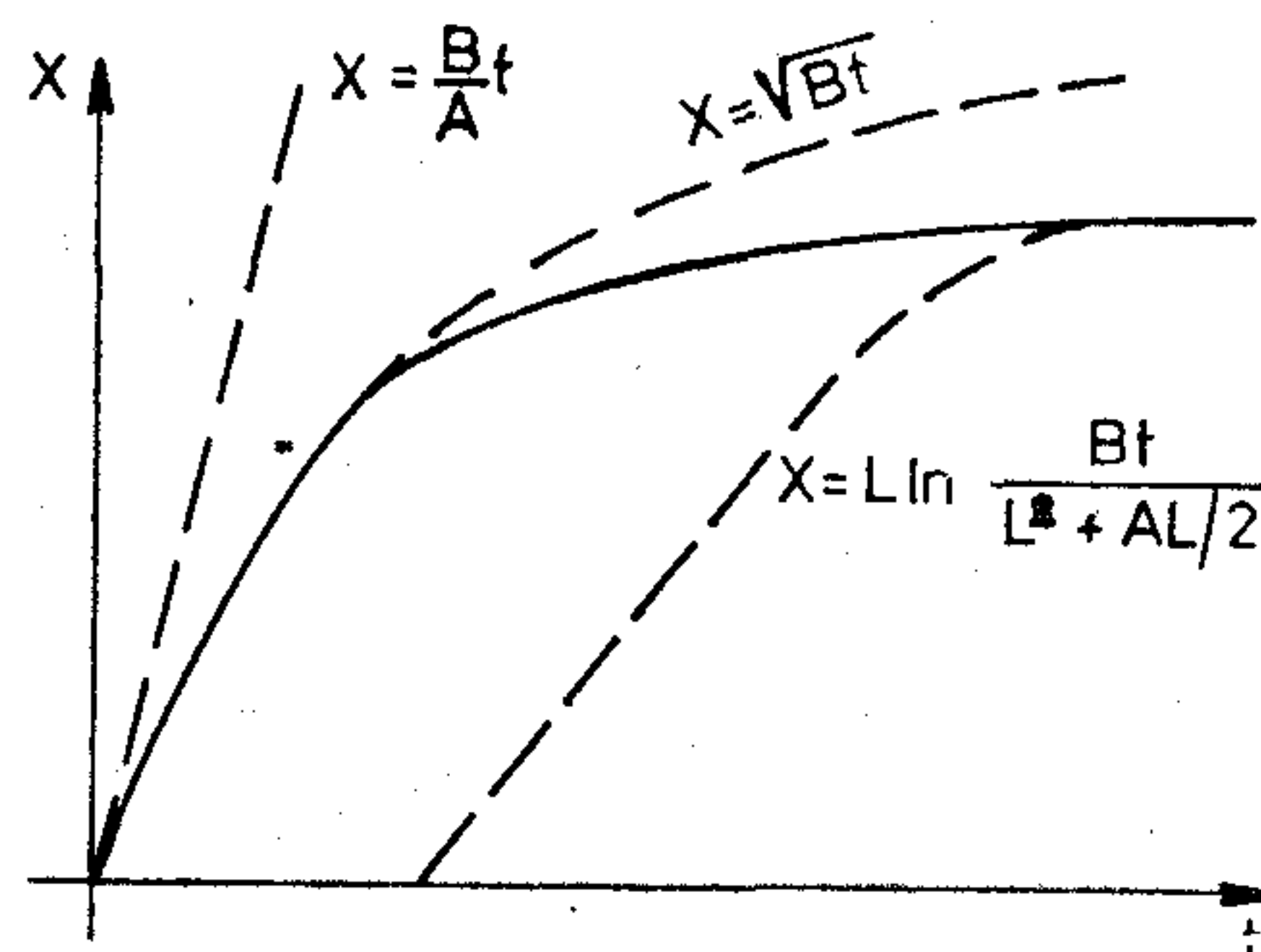
nic Institute of New-York-ban és a Stanford University-n. A HTE BME Villamoskari Csoportjának titkára, az URSI Magyar Nemzeti Bizottságának tagja.

Fő kutatási területei: terek hálózati modelljei, félvezető eszközök technológiájának és működésének térelméleti modellezése. Egy szakkönyv, számos szakcikk és konferenciaelőadás szerzője, ill. társszerzője.

„lineáris-parabolikus” növekedési törvénybe megy át. A növekedés kezdetén (3) és (5) egyaránt pontatlan, ezért gyakran t helyett $t+\tau$ effektív idővel számolnak.

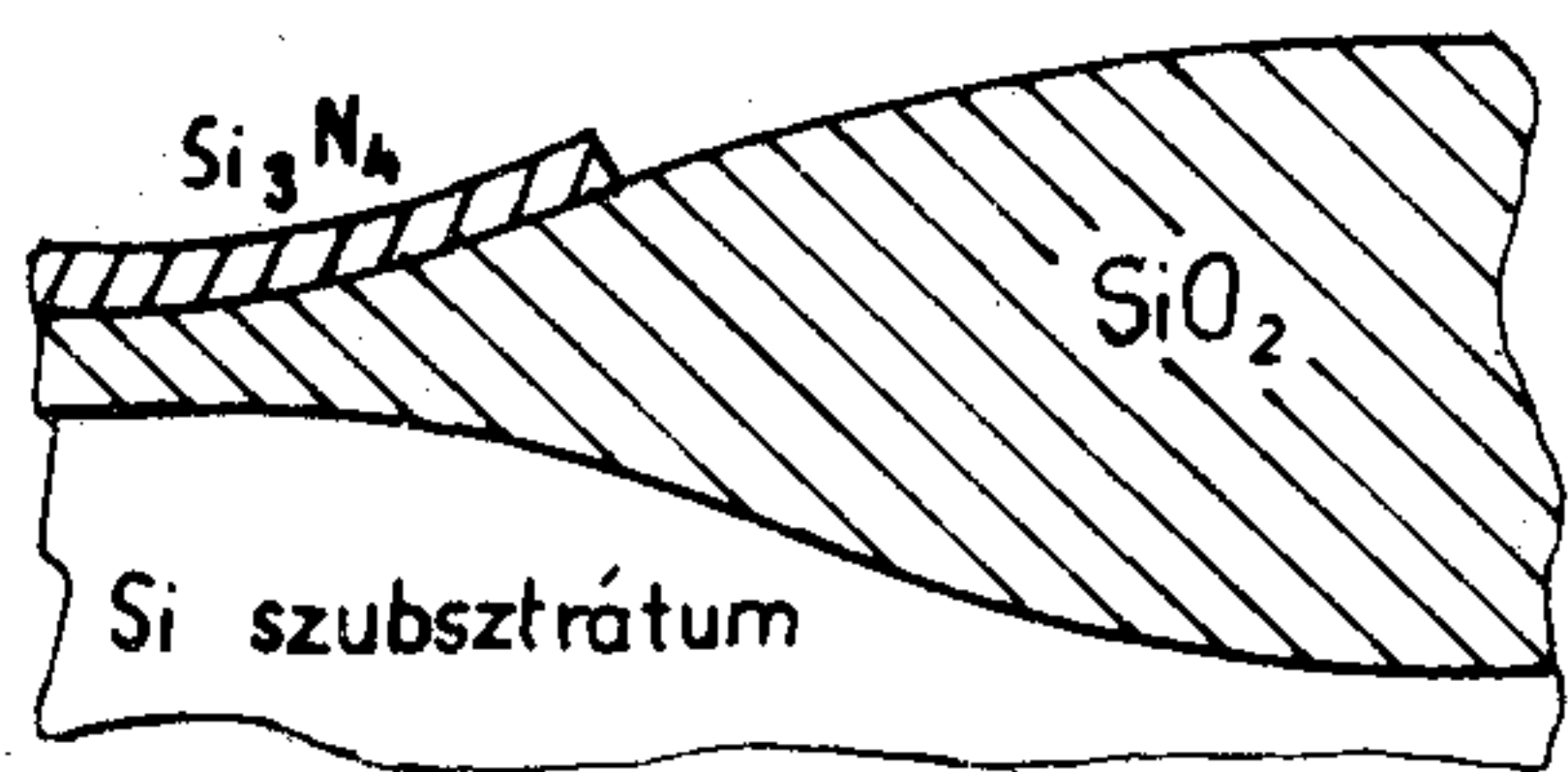
A kétdimenziós oxidnövekedés adiabatikus modellje most van kialakulóban. Az oxidáló anyag az oxidban a $D_{eff}\Delta C=0$ Laplace egyenletnek tesz eleget, míg az oxid lokális sebessége a $\mu\Delta V = \text{grad } P$ egyszerűsített Navier–Stokes egyenletnek, ahol μ a viszkozitás és P a nyomás. A sebesség az összenyomhatatlanságból következő $\text{div } \mathbf{V}=0$ egyenletnek is eleget kell tegyen, ebből a feltételből a $\Delta P=0$ egyenlet is következik. Megfelelő peremfeltételekkel a fenti egyenletrendszer meghatározza az adott oxidréteg növekedési sebességét. Ezt ismerve az oxid alakja módosítható és a számítás ismét elvégezhető.

A kétdimenziós oxidnövekedés modellezése elengedhetetlen a nitridréteg alatt növekvő ún. lokális oxidáció esetén (5. ábra). A nitridréteg alatt a növekedés üteme két okból kisebb: egyrészt az oxidáló közegnek a réteg alá kell diffundálnia, másrészt a



H970-4

4. ábra. Növesztett réteg vastagságának időfüggése



H970-5

5. ábra. Oxidréteg lokális oxidáció esetén („madárcsőr” geometria)

rugalmas nitridréteg a növekedés során fokozódó mértékben nyomja az oxidot.

Amint látjuk az oxid (nitrid) növekedését leíró modell nem kinetikus. Még kevésbé az a növesztett réteg adalékeloszlásának leírása szempontjából. Az adalékról feltételezik, hogy diffúzióval vándorol az oxid (nitrid) réteg belsejében. Ez azonban már átvezet a következő ponthoz.

Diffúzió

A technológiai lépések végrehajtása során a diffúzió a leggyakrabban megjelenő folyamat. Használják magas hőmérsékleten predpozícióra, alacsonyabb hőmérsékleten behajtásra, hőkezelésre. Diffúziós adalék-újraeloszlással jár valamennyi magashőmérsékletű művelet, elsősorban a termikus rétegnövesztés (oxidálás, nitridálás).

A diffúzió alapegyenlete a folytonossági egyenlet:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \text{div } \mathbf{J} = 0, \quad (6)$$

ahol C a koncentráció, $\mathbf{J}$ pedig az anyagáram (fluxus) sűrűség.

Utóbbinak a fenomenologikus kifejezésre egyetlen semleges diffundáló anyag és csak termikus hatások esetén

$$\mathbf{J} = -D \text{ grad } C. \quad (7)$$

Ez az összefüggés nem tartalmazza a keresztteffektusokat, azaz az elektromos, kristályrács, ill. több diffundáló közeg kölcsönhatásokat. Ezeket az összefüggéseket (különösen, ha nem lineáris karakterűek) félempirikus modellösszefüggésekkel közelítik. Ezek azonban kevésbé prediktív erejűek azon a tartományon kívül, amelynek vizsgálati eredményéből származtatták őket.

A diffúzió kétdimenziós modelljeiben ezeket a hatásokat ugyanúgy modellezzik, mint egydimenziós esetben. Ezért csak igen röviden tekintjük át őket, hiszen jelentős irodalom foglalkozik a témával (l. pl. [5]). Az egyetlen jelentős többlet, hogy többdimenziós esetben a diffúzió anizotróp lehet, azaz eltérő kristálytani irányokba más és más a D diffúziós együttható értéke. Legáltalánosabb esetben a D tenzor lehet. Az egyes komponensek tulajdonságai azonban hasonló módon függnek a keresztteffektusoktól, mint egydimenziós esetben.

A legfontosabb modellezett hatások

- a) diffúziónövekedés saját elektromos tér hatására,
- b) diffúziónövekedés vakanciák hatására,

- c) diffúziónövekedés a felületi oxidnövelés hatására,
- d) diffúziócsökkenés a koncentrációnövekedés okozta adalékesomósodás (clusterképződés) hatására,
- e) diffúzió változása több adalék együttes diffúziója esetén.

Különleges effektusokat modelleznek foszfor diffúziója esetén [6]. Általában nem modellezik a sugárzás okozta diffúziónövekedést és a nyomásváltozás okozta diffúzióváltozást. E jelenségek megértése további kísérleti munkát is igényel.

Vegyük ezek után sorra a modellezett effektusokat

a) A diffundáló adalék ionizálódik. Lokális töltés-egyensúlyt feltételezve az elektromos potenciál, ill. gradiense kiszámítható. Az elektromos tér okozta drift áramsűrűség megnöveli az adalék összárámát. Más szemlélettel: a lassan diffundáló adalékion és a gyorsan diffundáló szabad töltéshordozója között kialakuló elektromos tér gyorsítja az adalékion diffúzióját. Egytípusú adaléokra és az alábbi effektív diffúziós állandóval vehető figyelembe:

$$D = D_i \left(1 + \frac{C/2n_i}{\sqrt{(C/2n_i)^2 + 1}} \right). \quad (8)$$

b) A vakanciákon keresztül történő diffúzió megnöveli a diffúzió sebességét az intersztíciós mechanizmusokra viszonyítva. Felderítésében Fair és munkatársai eredményei alapvetőek [7]. A modell kialakításánál tett feltételezések a következők:

1. a töltéssel rendelkező vakanciák sűrűsége jóval kisebb az adaléksűrűségnél; 2. a töltött vakanciák betöltési arányát az adalékokkal kialakult lokális egyensúly szabja meg; 3. a vakancia-adalék kölcsönhatás mindig két részecske kölcsönhatása, nem bonyolultabb. Ezekkel a feltételezésekkel a diffúziós állandóra az alábbi kifejezést kapjuk

$$D = D^0 + D^+ \frac{p}{n_i} + D^- \frac{n}{n_i} + D = \left(\frac{n}{n_i} \right)^2, \quad (9)$$

ahol a tagok rendre a semleges, a pozitív, valamint az egyszeres és kétszeres negatív töltésű vakanciákon keresztül történő diffúzió hozzájárulását adják. A formula egy adalék és egy töltött mechanizmus figyelembevételével az igen elterjedt

$$D = D_i \frac{1 + \beta f}{1 + \beta} \left[f = \frac{n}{n_i}, \frac{p}{p_i}, \left(\frac{n}{n_i} \right)^2 \right] \quad (10)$$

alakra egyszerűsödik. Ezt a formulát, vagy ennek enyhén módosított alakját használja lényegében valamennyi eljárás, bár a használt β értékek igen eltérőek. Megemlítendő, hogy (8) és (10) kombinációja elegendően nagy adalékkoncentráció esetén $\alpha = C/2n_i$ közel lineáris függvénye. Pl. $\alpha > 2$ esetén.

$D = D_i [3,96\alpha + 0,0198]$ As adaléokra; $D = D_i [3,80\alpha + 0,100]$ B adaléokra.

c) Kísérleti tény, hogy termikus oxidáció során az oxid alatti térrészben megnő a diffúzió állandó értéke. Figyelembe vételére — kielégítő elmélet nem lévén — félempirikus összefüggéseket javasolnak, amelyek figyelembe veszik az oxidnövekedés sebességét és az oxidrétegtől mért távolságot.

d) Nagy koncentrációk esetén az adalékból csomók (clusterek) képződnek és kiválnak a rácsból. Ezek a kivált adalékatomok elektromosan inaktívvá válnak, nem vesznek részt elektromos kölcsönhatásban. Ennek következtében a diffúzió folyamata lelassul.

A csomóképződés kinetikusan is modellezhető. A csomók kialakulásának és felbomlásának karakterisztikus ideje azonban olyan rövid a diffúzió idejéhez viszonyítva, hogy a dinamikus leírással felesleges bonyolítani a szimulációt.

Feltételezzük tehát, hogy a csomókban levő adalék atomok száma és a rácsban elhelyezkedő adalék atomok száma között egyensúly van minden időpillanatban. Az egyensúly feltételét a

$$\left(\frac{C_s}{C^*}\right)^m = \frac{C_c}{C^*} \quad (11)$$

alakba írhatjuk, ha a csomóban m atom található. Itt C_s a rácsban és C_c a csomóban levő atomok koncentrációja, C^* pedig egy karakterisztikus érték, amelynél a két koncentráció megegyezik. A teljes adaléksűrűség (11) alapján a

$$\frac{C}{C^*} = \frac{C_s}{C^*} + m \left(\frac{C_s}{C^*}\right)^m \quad (12)$$

alakba írható, amelyet gyakran

$$C = C_s + mkC_s^m \quad (13)$$

alakban használják. A konkrét számértékeket mérésekkel határozzák meg. As esetén $m=2\ldots 4$, B esetén $m=12$. Egy (az előzőeknél könnyebben kezelhető) empirikus formula a rácsban levő, tehát aktív és az összes adalék arányára

$$C_s = C/[1 + (C/C_m)^\alpha]^{1/\alpha}. \quad (14)$$

A csomósodás figyelembevételével a diffúziós áramot az alábbi módokon közelítik:

i) Csak az aktív adalékatomok mozognak és csak a diffúziós fluxust vesszük figyelembe

$$\mathbf{J} = -D \text{grad } C_s, \quad (15a)$$

ahonnan

$$\mathbf{J} = -\left(D \frac{\partial C_s}{\partial C}\right) \text{grad } C = -\frac{D}{1 + m^2 k C_s^{m-1}} \text{grad } C. \quad (15b)$$

Láthatóan az effektív diffúzió állandó a koncentráció növekedésével rohamosan csökken.

ii) A termikus diffúzióban valamennyi adalékatom részt vesz, az az elektromos tér hatására kialakuló-driftáramot azonban csak az elektromosan aktív atomok szolgáltatják.

$$\mathbf{J} = -D \text{grad } C_+ - \frac{q}{kT} DC_s \text{grad } \varphi. \quad (16)$$

ahol a felső előjel az akceptor, az alsó a donoratomokra érvényes.

iii) Csak az aktív adalékatomok mozognak, de ezek diffúziós és drift járulékát is figyelembe kell venni. (Ez kompromisszum az előző két modell között.)

$$\mathbf{J} = -D \text{grad } C_{s+} - \frac{q}{kT} DC_s \text{grad } \varphi, \quad (17)$$

A (16) és (17) összefüggésekben szereplő φ potenciál termikus egyensúly és lokális semlegesség feltételezésével az adalékkoncentrációból közvetlenül meghatározható. Ennek következtében végül is valamennyi formula koncentrációfüggő diffúziós állandóra vezet.

e) Több adalék együttes diffúziójának modellezése a következő feltevéseken alapul: 1. Valamennyi adalék árama diffúziós és drift komponensekből áll; 2. lokális semlegesség áll fenn; 3. termikus egyensúly áll fenn, és a töltéshordozók eloszlása Boltzmann eloszlással közelíthető; 4. az adalékok teljesen ionizáltak.

Ekkor az együttes diffúzió árama

$$\mathbf{J}_D = -D_D[h_D \text{grad } C_D - (h_D - 1) \text{grad } C_A],$$

$$\mathbf{J}_A = -D_A[h_A \text{grad } C_A - (h_A - 1) \text{grad } C_D], \quad (18)$$

ahol D_D , D_A , h_D és h_A a koncentrációk (C_D és C_A) függvényei. Az egyes modellek lényegében csak ezen függvények konkrét alakjában különböznek.

A diffúzió modellezésének bemutatását befejezve megemlítjük még, hogy a keresztteffektusok formális modellezésére gyakran használják a (7) összefüggés módosított alakját.

$$\mathbf{J} = -\text{grad } (D \cdot C). \quad (19)$$

Ennek a kifejezésnek a fizikai tartalma igen kétséges, ugyanakkor alkalmasan választott $D(C)$, $D(C_A, C_D)$, $D(C, \varphi)$ függvényekkel lényegében az eddig bemutatott kifejezésekhez jutunk.

Peremfeltételek

Az eddigiekben a közeg belsejében lejátszódó jelenségeket vizsgáltuk. A teljes kinetikai leíráshoz nem elegendők az adaléknak a térfogat belsejében történő mozgását leíró összefüggések, hanem szükség van a peremeken lejátszódó jelenségek ismeretére is. Ezek modellezése bizonyos fokig nehezebb, mint a térfogati jelenségeké. Ezért a modellek viszonylag egyszerűek, heurisztikusak. A modellek konkrét numerikus együtthatói közül a bizonytalanság igen nagy, így valószínűleg a peremfeltételek okozzák a modellek és a mért eredmények között a legnagyobb eltérést.

Alapvetően fontos az oxid-szilícium (illetve a nitrid-szilícium) határfelület közelében az adalékok viselkedése. Nyugvó határfelület és termikus egyensúly esetén nem a koncentrációk folytonosak, hanem a kémiai potenciál. Ennek megfelelően a koncentrációk értékének aránya lesz meghatározott. Ez az ún. *szegregációs együttható*, amelyre

$$m = C_{si}/C_{ox} = m_0 \exp(-\Delta E/kT). \quad (20)$$

Nyugvó határfelület esetén is kell a felületre merőleges árammal számolnunk, ha bármilyen okból a felület két oldalán kialakult koncentráció hányadosa nem egyezik meg a szegregációs együtthatóval. Erről az áramról *feltételezik*, hogy a koncentrációk lineáris függvénye az alábbi alakban:

$$\mathbf{J}_s = -h(C_{ox} - C_{si}/m)\mathbf{n}, \quad (21)$$

a szilíciumból kifelé mutató normális vektorral.

A közelmúltban figyeltek fel arra, hogy közvetle-

nül a felület közelében a koncentráció igen nagymértékben megnövekszik a termikus folyamatok során. Ez utóbbi, a (21)-hez hasonló áramokkal vehető figyelembe, de ezt kétdimenziós modellezésben egyelőre nem használják.

Bonyolódik a helyzet, ha a közeghatár, ahol a szegregációval számolnunk kell, *mozog*. Ez a helyzet termikus rétegnövesztésnél. Ilyenkor az egyensúlyi értékek különbsége által okozott fluxustól eltekintve is fellép egy áram. Oxidra

$$J_b = -V_{oxn}(C_{ox} - \alpha C_{si})n, \quad (22)$$

ismét a szilíciumból kifelé mutató normálissal. Itt V_{oxn} az oxidréteg növekedési sebességének a határfelületre merőleges komponense, $\alpha=0,44$ pedig az oxid és a kialakulásához szükséges szilíciummennyiség térfogataránya. Nyilvánvaló, hogy $C_{ox} = \alpha C_{si}$ esetén zérus a járulékos fluxus, hiszen az oxid adalék-mennyisége azonos az eloxidált szilíciumével.

Általános esetben a két áramot együtt kellene figyelembe vennünk a közeghatáron. Ha azonban a (21) és (22) kifejezésekben szereplő h és V_{oxn} sebességdimenziójú mennyiségek közül az egyik jóval nagyobb a másikénál, ez az illető áramban szereplő mennyiségek gyakorlati egyensúlyát jelenti.

A $h \gg V_{oxn}$ feltételezéssel a szegregáció gyakorlatilag egyensúlyi, azaz (21) alapján $C_{ox} = C_{si}/m$ és ezt (22)-be helyettesítve

$$-V_{oxn} \left(\frac{1}{m} - \alpha \right) C_{si} \cdot n = -D \text{grad } C_{si} \cdot n,$$

ahol felhasználtuk, hogy a felületen átfolyó áramot diffúziós áram táplálja. A fenti kifejezésből a szokásos jelöléssel

$$D \frac{\partial C}{\partial n} = V_{oxn} \left(\frac{1}{m} - \alpha \right) C \quad (23)$$

vegyes, lineáris, homogén peremfeltételt kapjuk. Valamennyi ma ismert kétdimenziós folyamatszimuláció, amelyik oxidnövekedést is figyelembe vesz, a (23) peremfeltétellel számol oxid-szilícium közegfelületen.

A (23) összefüggés az oxidban nem tételez fel diffúziót. Ez a közelítés azért engedhető meg, mert az oxidban a diffúziós együttható nagyságrendekkel kisebb, mint a szilíciumban. Ennek eredményeképpen valamennyi olyan folyamatban, amelynek során az oxid nem növekszik, (23) alapján $\partial C / \partial n = 0$, azaz az oxidfelület tökéletesen „visszaveri” az adalék-atomokat. Ez a peremfeltétel is általánosan elfogadott a szimulációs programokban.

Hogyan szimuláljuk a folyamatokat?

„A kocsí egyes részei még nem kocsik.”
(Lao-ce)

Az egyes technológia lépések modelljei önmagukban még nem elegendőek a folyamatok szimulációjához, csak annak alapját biztosítják. A szimuláció során az egyes modelleket az adott feltételek között mennyiségileg is ki kell értékelni, majd a végered-

mény egy következő lépés szimulációjának kiindulása lehet. A teljes műveletsort a szimulációs algoritmus írja le.

A szimulációs algoritmusok két nagy csoportja: az *analitikus* és a *numerikus* eljárások. Mint valamennyi hasonló feladatnál, az analitikus eljárások használhatósága igen szűk, csak erősen korlátozott feltételek mellett használhatók, és a megoldás alakja akkor is igen bonyolult. Mint minden felosztásnál, itt is van egy átmeneti sáv, a félanalitikus (hibrid) eljárások.

1. Zárt analitikus formulát szolgáltató eljárások

A teljesség kedvéért ismertetjük azokat az analitikus algoritmusokat, amelyeket kétdimenziós technológiai lépésekre alkalmaznak. A $D = \text{áll.}$ feltételezéssel a

$$\partial C / \partial t = D \Delta C \quad (24)$$

egy adalék diffúzióját modellező egyenletnek a megoldását predepozícióra és behajtásra is megadta a maszkablak figyelembevételével Kennedy és O'Brien. A második eset két dimenzióban viszonylag egyszerű formulára vezet (végtelen vékony kezdeti eloszlást feltételezve a maszkablak szilícium felületén):

$$C = \frac{C_\infty}{2} \exp(-x^2/4Dt) \operatorname{erfc}(-y/2\sqrt{Dt}), \quad (25)$$

ahol C_∞ a koncentráció távol a maszkéltől, x a mélységi, y pedig a laterális távolság a maszk élétől.

A predepozíció szimulációja azonban olyan bonyolult végeredményre vezetett, hogy Cherednichenko, Grünberg és Sarkar megkísérelték más módszerrel megoldani a problémát. Munkájuk eredményeképpen a 6. ábrán bemutatott koordináta-rendszerben a koncentrációra az alábbi kifejezést kapták:

$$C(r, \varphi, t) = C_0 \left[1 - \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} B_n(z) \cos\left(n + \frac{1}{2}\right) \varphi \right], \quad (26)$$

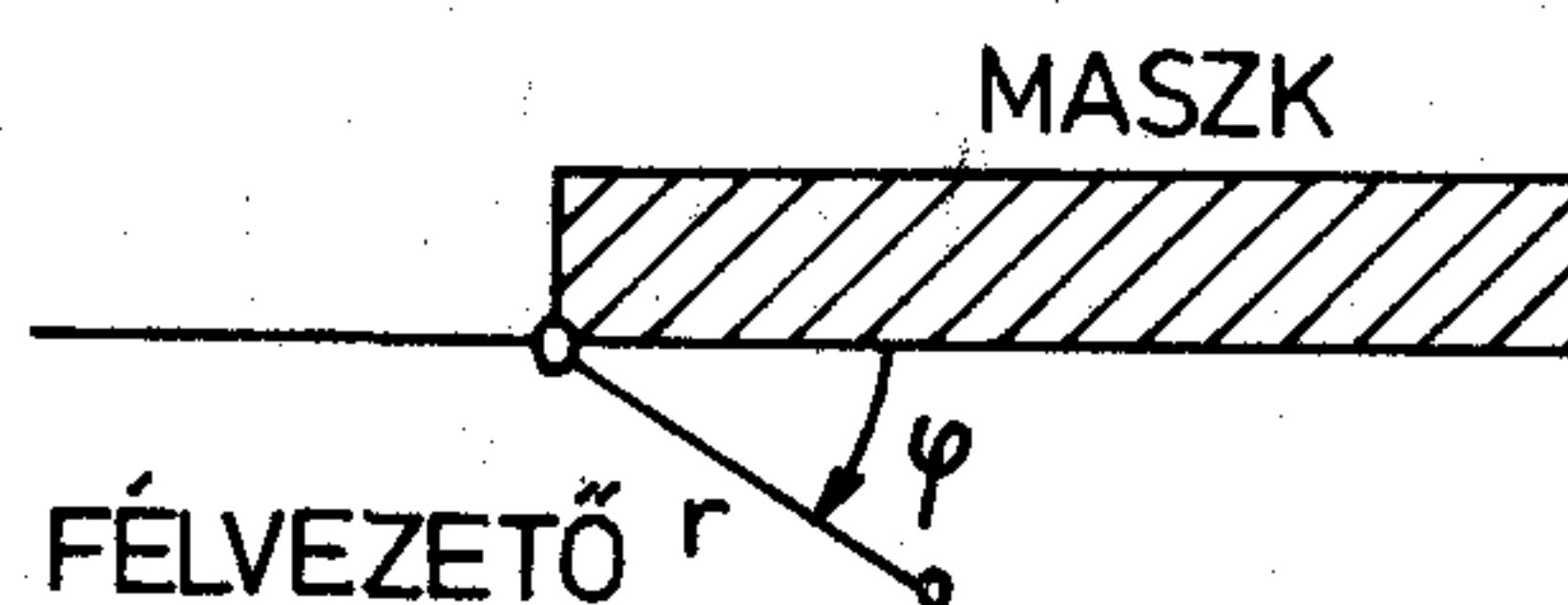
ahol

$$z = \frac{r^2}{8Dt} \quad \text{és}$$

$$B_n(z) = \sqrt{\frac{\pi z}{2}} \exp(-z) \left[I_{\frac{n}{2}-\frac{1}{4}}(z) + I_{\frac{n}{2}+\frac{3}{4}}(z) \right].$$

Itt I_ν a ν -edrendű elsőfajú módosított Bessel-függvény.

A (26) összefüggés eléggé meggyőző, hogy még ez a sok közelítéssel (konstans diffúziós együttható, egyszerűsített geometria) kapott eredmény is milyen nehézségeket támaszt az analitikus kiértékelés során.



H970-6

6. ábra. Koordinátarendszer a (26) formula levezetéséhez

Fokozottan áll ez a MADIPAM programra [8]. A program egyetlen, implantációval bevitt adalék szétdiffundálását szimulálja kettő-, ill. három dimenzióban. A maszkablak hatását az (1) formulában szereplő d_{eff} alkalmas megválasztásával veszi figyelembe azzal a kikötéssel, hogy a maszk csak lépcsőzetesen vastagodhat. Ezzel az implantációs eloszlás analitikus lépések után exponenciális és erfc függvényekkel kifejezhető. Ezt az eloszlást a (24) egyenlet exponenciális függvényeket tartalmazó Green függvényével összeszorozva kell kiintegrálni. Ez szintén analitikusan elvégezhető, és Hermite-polinomok végtelen sorára vezet. A program ezt a sort értékeli ki.

Lee-Dutton és Antoniadis [9] algoritmusa azon a felismerésen alapul, hogy az oxidáció közben történt adalékeloszlás-változás az eredeti eloszlás korrekciójával adható meg. A laterális eloszlást az eredeti és a korrekciós eloszlásra azonosnak feltételezi. A teljes adalékkoncentráció tehát:

$$C(x, y, t) = \{C_1(x, t) + C_2(x, t)\} \cdot C_y(y, t) = C_x(x, t) \cdot C_y(y, t), \quad (27)$$

ahol C_x a mélységi eloszlás, ebből C_1 az oxidnövesztés nélküli eloszlás, C_2 ennek korrekciója, végül C_y a laterális eloszlást reprezentálja. Az idézett publikáció megadja ezen függvények analitikus kifejezését meredek maszkablak esetére.

Változó maszkvastagság figyelembevétele azonban már átvezet a félig analitikus algoritmusok területére.

2. Félig analitikus (hibrid) eljárások

Chin et al. [10] előzőekben ismertett analitikus modellekre támaszkodó numerikus eljárást dolgoztak ki, amelyik minden egyes pontban a ponthoz legközelebb eső oxidfelület növekedési sebességének ismeretében korrigálja az adalékeloszlást. A program asztali kalkulátorral is kiértékelhető. (Jelen összefoglalás szerzői kipróbálták az eljárást, és tapasztalataik szerint az csak igen korlátozott feltételek között ad elfogadható végeredményeket.)

A RECIPE program [11] a laterális diffúziót az előzőekhez hasonlóan a (25) formulával veszi figyelembe, de időlépésenként újraszámított, az adott helyen levő koncentrációtól függő diffúzióval. A kis időlépésekre az aktuális növekményt tehát analitikus formulából számolják, de változó együttthatókkal.

A kezdeti eloszlást a (27) formulának megfelelően bontják fel, ahol a mélységi $C_x(x, t)$ -t egydimenziós numerikus szimulációval kapják kiindulási adalékként. Az algoritmus úgy működik, mintha a diffúzió egymás mellé helyezett vékony maszkablakokon keresztül történne, és az így kapott eloszlásokat szuperponálja. A számítás eredménye a diffúziós együtttható koncentrációfüggése következtében eltér a valódi eloszlástól, de a hiba lineáris koncentrációfüggés esetén nem túl nagy. A program 50×50 rácspontot tud kezelni, a rács mindkét irányban inhomogén is lehet. Laterálisan 5 különböző rácsosztás megengedett, a mélységi rácsosztást az alkalmazott egydimenziós szimuláció állítja be.

3. Numerikus szimulációs eljárások

A nemlineáris diffúziós egyenletek a már ismertett módon a (6)–(7) egyenletből származnak. A

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \text{div}[D(C) \text{ grad } C] \quad (28)$$

alakú egyenletek diszkretizálásának alapvető lépése, hogy a jobb oldalon álló kifejezést a folytonos C függvény helyett véges számú pontban felvett (közeli) értékével reprezentáljuk. Erre elenyésző kivétellel a végesdifferencia módszer szolgál. Eredményül nemlineáris közönséges differenciál-egyenletrendszer kapunk.

$$\frac{d}{dt} \mathbf{C} = \mathbf{A}(\mathbf{C}) \cdot \mathbf{C}, \quad (29)$$

ahol $\mathbf{C} = [C_1, C_2, \dots, C_n]^T$ a reprezentatív koncentrációértékeket tartalmazó vektor. Az $\mathbf{A}$ mátrix sávstruktúrájú ritka mátrix (29) megoldása különböző módszerekkel történik.

a) közönséges differenciál-egyenletrendszer egyszerű vagy prediktor-korrektor megoldásrutinjainak felhasználásával.

b) a (29) egy Δt hosszúságú diszkrét időlépésre történő megoldásából adódó

$$\mathbf{C}^{n+1} = \exp(\mathbf{A} \cdot \Delta t) \mathbf{C}^n \quad (30)$$

egyenletben a mátrixfüggvény alkalmas közelítésével. A leggyakrabban használták a

b.1. előreleptő (explicit) séma

$$\exp(\mathbf{A} \cdot \Delta t) \cong \mathbf{I} + \mathbf{A}(\mathbf{C}^n) \cdot \Delta t$$

b.2. hátraleptő (implicit) séma

$$\exp(\mathbf{A} \cdot \Delta t) \cong [\mathbf{I} - \mathbf{A}(\mathbf{C}^{n+1}) \Delta t]^{-1}$$

b.3. Crank–Nicholson séma

$$\exp(\mathbf{A} \cdot \Delta t) \cong \left[\mathbf{I} - \frac{1}{2} \mathbf{A}(\mathbf{C}^{n+1}) \Delta t \right]^{-1} \cdot \left[\mathbf{I} + \frac{1}{2} \mathbf{A}(\mathbf{C}^n) \Delta t \right].$$

Az irodalomból ismert numerikus szimulációs eljárásokat az alábbiakban részletezzük, majd táblázatosan összefoglaljuk.

Az ICECREM [12] lényegében egydimenziós program a SUPREM-hez hasonló felépítéssel. Kétdimenziós szolgáltatásai: egy adalék implantációját és hőkezelés során fellépő diffúzióját modellezi. Az implantált profil mélységi eloszlása Pearson IV. típusú, laterális szóródását Gauss eloszlás írja le. Az oxid és a szabad felületek tökéletesen visszaverők.

Vandorpe [13] „klasszikus” programja egy donor és egy akceptor adalék szimultán diffúzióját szimulálja két dimenzióban. Csak diffúziót modellez: predepozíciót (a felületen előírt koncentrációval) és behajtást (tökéletesen visszaverő felületeknél). Az egyenleteket végesdifferencia módszerrel, implicit sémaival diszkretizálja.

Tielert [14] programja a következő folyamatokat szimulálja:

- ionimplantáció, lineárisan növekvő vastagságú maszkszáron keresztül;
- diffúzió semleges közegben, koncentrációfüggő diffúziós együttthatóval;
- csomósodás;
- adalékok (max. 3.) kölcsönhatása.

	Oxidálás	Lokális oxidálás	Adalékok száma	Diffúzió térerő függése	Diffúzió oxidáció függése	Clustering	Max. rácsméret	Diszkretizálás	Időlépés	Megoldó rutin	Implementáció, futási adatok
ICECREM	—	—	1	+	—	+					
Vandorpe	—	—	2	+	—	—		Véges differencia	Hátralépő (implicit)	Iteratív	IBM 360/50/67 időlépésenként 30—40 iteráció
Tielert	—	—	3	—	—	—	64 × 46	Véges differencia	Crank—Nicholson	Iteratív (SOR)	Siemens 7755 10—60 sec
Warner, Wilson	—	—	1	+	—	—	21 × 41	Galerkin	Implicit		Gray 1 7,25 min
BICEPS (LORD)	+	+	2	+	—	+	60 × 40	Véges differencia	Hátralépő (implicit)	Iteratív (blokk-iteráció) Gauss—Seidel	
Seidl	+	+	1	+	—	—	65 × 49 33 × 25	Véges differencia, kettős rácson	Crank—Nicholson	Gauss—Seidel	Cyber 175 60 sec 15 sec
ROMANS II.	+	+	1				31 × 51	Véges differencia	Prediktor-korrektor (GIERBI)	Iteratív (SOR)	Cyber 176 10—30 sec
TOPICS	+	+	1	+	+	+	60 × 50	Véges differencia	Hátralépő (implicit)	Iteratív (SIP, Stone)	
FEDSS	+	+	1	+	—	—		Véges elemek	Implicit v. explicit	SPARSPAK	

A diszkretizálás véges differenciámódszerrel, Crank—Nicholson sémával történik 64×64 rácspontot tartalmazó egyenlő közül (reguláris) rácson. A megoldás iteratív.

Warner és Wilson [15] programja több tekintetben eltér a szokásostól. A szimulált effektusok: egy adalék behajtása, illetve implantáció utáni hőkezelés. A közeghatárok állandóak, a peremen a koncentráció előírt, vagy a fal tökéletesen visszaverő.

A megoldó rutin a relatív hiba minimalizálására az alábbi transzformációt vezeti be

$$C = n_i \exp(u(x, y, t)). \quad (31)$$

Ezzel (28) alakja

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \operatorname{div} [\hat{D}(u) \operatorname{grad} u] + \hat{D}(u) (\operatorname{grad} u)^2, \quad (32)$$

ahol

$$\hat{D}(u) = D(n_i \exp(u)).$$

A hőkezelés szimulációjánál egy további (ún. Boltzmann) transzformációval, amelynek összefüggései:

$$\xi = \frac{x}{\sqrt{4D_0 t}}; \quad \eta = \frac{y}{\sqrt{4D_0 t}}; \quad \tau = t,$$

a (32) egyenlet az alábbi alakra transzformálódik:

$$\tau \frac{\partial u}{\partial \tau} = \operatorname{div} \left[\frac{\hat{D}(u)}{4D_0} \operatorname{grad} u \right] + \frac{\hat{D}(u)}{4D_0} (\operatorname{grad} u)^2 + \frac{1}{2} r \operatorname{grad} u \quad (33)$$

A (33) egyenlet viszonylag bonyolult alakjáért kárpótol, hogy a transzformált koordinátákban a transziens okozta koncentrációváltozás sokkal kisebb, mint az eredeti koordinátákban.

A diszkretizálás Galerkin módszerrel történik, ún. B-spline-okat választva bázisfüggvényeknek.

A LORD és továbbfejlesztett változata: a BICEPS [16] az első olyan program, amely a lokális oxidációval kapott „madárcsőr” alakú oxid növekedéskor kialakuló újraeloszlást is modellezi. Több adalékot is figyelembe vesz, együttes behajtásuknál elektromos kölcsönhatással számol. Modellezi a csomósodást, a vakanciák hatását. Az ionimplantációt Gauss mélységi és erfc laterális eloszlással modellezi.

Az oxid növekedését olyan transzformált koordinátarendszerrel veszi figyelembe, amelynek rácsvonalai párhuzamosak az oxid felületével. Ebben a transzformált, időben változó koordinátarendszerben a diffúziós egyenletben egyes másodrendű parciális deriváltak is megjelennek. Ennek végesdifferencia módszerrel történő diszkretizálása kilencpontos differenciasémához vezet. Ezért az egyenletrendszer megoldása nehezebbé válik és igen érzékeny a peremfeltételekre.

Az egyenleteket Penumalli [16] blokkiterációs módszerrel oldja meg, minden iterációs lépésben a linearizált egyenletrendszer Gauss–Seidel módszerrel történő megoldásával. A bemutatott példája 60×40 méretű rácson teljes technológiai műveletsort szimulál. Az implementációról és futási időről nincsen adat.

Ugyanezeket az egyenleteket Seidl [17] kettős rácson oldja meg, ahol a durvább rácson végzett ötpontos sémával történt számítás során korrekcióként használja a kilencpontos sémával kapható közelítéseket. Az ötpontos séma megoldására számos módszer ismert, [17] a Gauss–Seidel iterációt használja. 65×49 méretű rácson Cyber 175 számítógépen 60 másodpercig tartott a diffúziós számítása nemlineáris esetben. Állandó diffúziós együtthatóval, vagy 33×25 pontos sávon a számítási idő $1/4$ -ére esett.

Murphy, Hall és Maldonado [18] programja (ROMANS II.) az előző két program elemeit ötvözi, modellezi a lokális oxidációt. A megoldást (29) alakú közönséges differenciálegyenletre vezeti vissza és azt prediktor-korrektor módszerrel oldja meg. A program továbbfejlesztését tervezik több adalék, ill. elsőként háromdimenziós diffúziószimuláció céljára. Tervezik a SUPREM-hez hasonló felhasználó orientált bemeneti nyelv kialakítását is.

A ma legjobban kidolgozottnak tűnő program a TOPICS, Taniguchi, Kashawagi és Iwai [19] nevéhez fűződik. A szimulált effektusok

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------|
| — kémiai depozíció gőzfázisból | } csak egy
dimenzióban |
| — marás | |
| — ionimplantáció | |
| — diffúzió oxidációval vagy anélkül. | |

Az oxidációval történő diffúzió esetén figyelembe tudják venni a „madárcsőr” geometriát, továbbá mellékeffektusokat; a diffúzió függését térerősségtől, az oxidációtól és a csomósodástól. Az irodalomban közölt programok közül egyedül ez a program használ erősen implicit iteratív megoldórutint.

Végül meg kívánjuk említeni az egyetlen programot, amely diffúziós adalékolást véges-elemek módszerével szimulál. Ez a program az IBM által fejlesztett FEDSS [20], amely egy adalék implantáció utáni behajtását szimulálja, oxidációval vagy anélkül. Képes depozíciós lépéseket is modellezni. Futási adatok nem ismeretesek.

A programok összehasonlítását az alábbi táblázat mutatja.

I R O D A L O M

- [1] Dutton, R. W.: Modeling of silicon integrated-circuit design and manufacturing process. IEEE Trans. ED-30 968–986 (1983).
- [2] Tarnay K. – Masszi F. – Drozdy Gy.: Többrétegű struktúrák technológiai modellezése. Híradástechnika 34. 504–508. (1983).
- [3] Pásztor Gy.: Új irányzat a korszerű félvezető technológiában: a nagy teljesítményű távezérelt tranzisztor. Híradástechnika 34. 54–59. (1983).
- [4] Neureuther, A. R.: Simulating LSI wafer topography. IEDM Dig. Tech. Papers (1980 dec. 8–10, Washington) pp. 214–218.
- [5] Kedves F. – Beke D.: Diffúzió szilárdtestekben. in: Fizika 1978 (ed.: Abonyi I.) Gondolat, Bp., 1979. pp. 193–224.
- [6] Tarnay K. et al.: Szilícium technológiai eljárás számítógépes szimulációja. Finommechanika-Mikrotechnika 18, 257–260. (1979).
- [7] Fair, R. B.: Impurity concentration doping effects on impurity diffusion in silicon. SEMI-CON/EUROPA 1983 Semiconductor Processing and Equipment Symposium Tech. Proc. (1983 márc. 8–10, Zürich) pp. 230–237.
- [8] Krusius, J. P. et al.: Two- and three-dimensional analytic solution for post-anneal implant profiles through arbitrary mask edges. IEEE Trans. ED-29, 435–444 (1982).
- [9] Lee, H. G. – Dutton, R. W.: Two-dimensional low concentration boron profiles: modeling and measurement. IEEE Trans. ED-28, 1136–1147 (1981).
- [10] Chin, D. J. et al.: Process design using two-dimensional process and device simulators. IEEE Trans. ED-29, 336–340 (1982).
- [11] Smith, G. E. – Stekl, A. J.: RECIPE — a two-dimensional VLSI process modeling program. IEEE Trans. ED-29, 216–221 (1982).
- [12] Ryssel, H. et al.: Simulation of doping processes. IEEE Trans. ED-27, 1484–1492 (1980).
- [13] Vandorpe, D.: Simulation numerique de la fabrication et du comportement des dispositifs semi-conducteurs. in: Computing Methods in Appl. Sci. Eng. Pt. I. (Lecture Notes in Comp. Sci. No. 10.) Springer, Berlin 1974 pp. 467–497.
- [14] Tielert, R.: Two-dimensional numerical simulation of impurity redistribution in VLSI processes. IEEE Trans. ED-27, 1479–1483 (1980).
- [15] Warner, D. D. – Wilson, C. L.: Two-dimensional concentration dependent diffusion. B.S.T.J. 59, 1–41 (1980).
- [16] Penumalli, B. P.: A comprehensive two-dimensional VLSI process simulation program, BICEPS. IEEE Trans. El. Dev. ED-30 986–992 (1983).
- [17] Seidl, A.: A multigrid method for solution of the diffusion equation in VLSI process modeling. IEEE Trans. vol. ED-30 999–1004 (1983).
- [18] Murphy, W. D. – Hall, W. F. – Maldonado, C. D.: Efficient numerical solution of two-dimensional nonlinear diffusion equations with non-uniformly moving boundaries: a versatile tool for VLSI process modeling. NASECODE II. Dublin 1981 pp. 249–253.
- [19] Taniguchi, K. – Kashiwagi, M. – Iwai, H.: Two-dimensional computer simulation models for MOSLSI fabrication processes. IEEE Trans. El. Dev. ED-28, 574–580 (1981).
- [20] Salsburg, K. A. – Hansen, H. H.: FEDSS — Finite-element diffusion simulation system. IEEE Trans. ED-30, 1004–1011 (1983).

Új módszerek a hagyományos kapcsolóberendezések üzemfelügyeletére és karbantartására

DR. EISLER PÉTER,
GÁTMEZEI JÓZSEF
BHG Híradástechnikai Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk ismerteti a hagyományos kapcsolóberendezések hatékony üzemfelügyeletét biztosító rendszerben használt mérési elvet, amely az áramkörök hatékonysági arányának mérésén alapul. Ismerteti a gyakorlati alkalmazás során nyert fontosabb tapasztalatokat. Bemutatásra kerül az üzemfelügyeleti rendszer felépítése, továbbá annak főbb szolgáltatásai.

1. Bevezetés

A tárolt programvezérelt kapcsolóberendezések üzemviteli (O & M) szolgáltatásai minden eddigénél hatékonyabb lehetőségeket biztosítanak az üzemeltetést végző felhasználóknak. A korszerű elektronikus kapcsolóberendezések illeszkednek a ma még zömében tradicionális elektromechanikus kapcsolóberendezéseket tartalmazó hírközlő hálózatokhoz. Így még hosszú ideig számolni kell a tradicionális és a legkorszerűbb technológiát felhasználó berendezések koegzisztenciájával. Ez azzal jár, hogy egy adott vegyes hálózat összes üzemeltetési és karbantartási ráfordításaiban a tradicionális rendszerek karbantartásigénye dominál, sőt az új kapcsolóberendezések kihangsúlyozzák azok üzemviteli és karbantartási lehetőségeinek elmaradottságát. Ezt tekinthetjük mindazon törekvések mozgóerejének, melyek a hagyományos kapcsolóberendezésekhez korszerű üzemfelügyeleti és karbantartórendszerek alkalmazását igénylik. A mikroszámítógépek térhódítása lehetővé tette a különféle generációhoz tartozó kapcsolóberendezések gazdaságos, nagy hatékonysággal működő üzemfelügyeletét.

A legsürgetőbb igény az alábbi fontosabb területeken jelentkezik:

- a) Az egyéni áramkörök mindennapos rutinvizsgálatainak elhagyása.
- b) A díjrögzítés és számlázás korszerűsítése.
- c) A CCITT E.500 ajánlásának megfelelő folyamatos forgalom mérés lehetőségének biztosítása.
- d) A hagyományos kapcsolóberendezések bizonyos generációinál meghatározott network management funkciók bevezetése.

A BHG Híradástechnikai Vállalat által kifejlesztett berendezésnél különös hangsúlyt helyeztünk a fentiekben vázolt alapvető célkitűzések realizálására, azok alkalmazhatóságára a legkülönbözőbb gyártmányú és generációjú távbeszélő kapcsolóberendezésekhez.

(Beérkezett: 1984. V. 17. (#))

A cikk megjelent az ISS '84 (1984. V. 6—11. Firenze) Proceedingsben.

DR. EISLER PÉTER

Diplomáját 1968-ban szerezte a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán. Ugyanebben az évben került a BHG Híradástechnikai Vállalathoz, ahol fejleszt-

tő mérnökként, majd főkonstruktörként tevékenykedett. Jelenleg a vállalat műszaki igazgatóhelyettese. Tématerülete a kapcsolástechnika. Egyetemi doktori címét 1981-ben szerezte.

2. Mérési módszer hibás áramkörök behatárolására

A berendezés fejlesztésekor a legfontosabb mérési elv kidolgozása volt, melynek segítségével a hibás áramkörök behatárolása a lehető legrövidebb időn belül, a lehető legnagyobb konfidenciaszinten megtörténhet.

A korábban leggyakrabban használt módszernél az áramkörök helyes működésére jellemző paraméternek az átlagos tartásidőt tekintették. Az áramkörök tartásidejét számos egyéb tényező is befolyásolja, így a hibás áramkörök csak huzamosabb ideig fennálló extrém tartásidők esetén jelezhetők ki. Javulhat a helyzet, ha tényleges lefoglalásnak csak egy adott időközszöböt meghaladó állapotot tekintünk. A zömében hagyományos kapcsolóberendezéseket, egyenáramú jelzésrendszereket tartalmazó hálózatoknál a kapcsolás felépítéséhez szükséges idő összemérhető a tényleges beszédidővel, s ezen túlmenően forgalomtól függően jelentős szórásokat is mutathat. A kapcsolás felépítésekor, különösen túlterhelések (high load) esetén számos kapcsolás időzítéssel bont, amelyek tartásideje — a mérési elvből adódóan — szintén értékelhető tartásidejű hívásnak számít.

A jelen előadás tárgyát képező berendezésben használt mérési módszer szempontjából egy adott kapcsolóberendezés összetevőit általában három kategóriába sorolhatjuk:

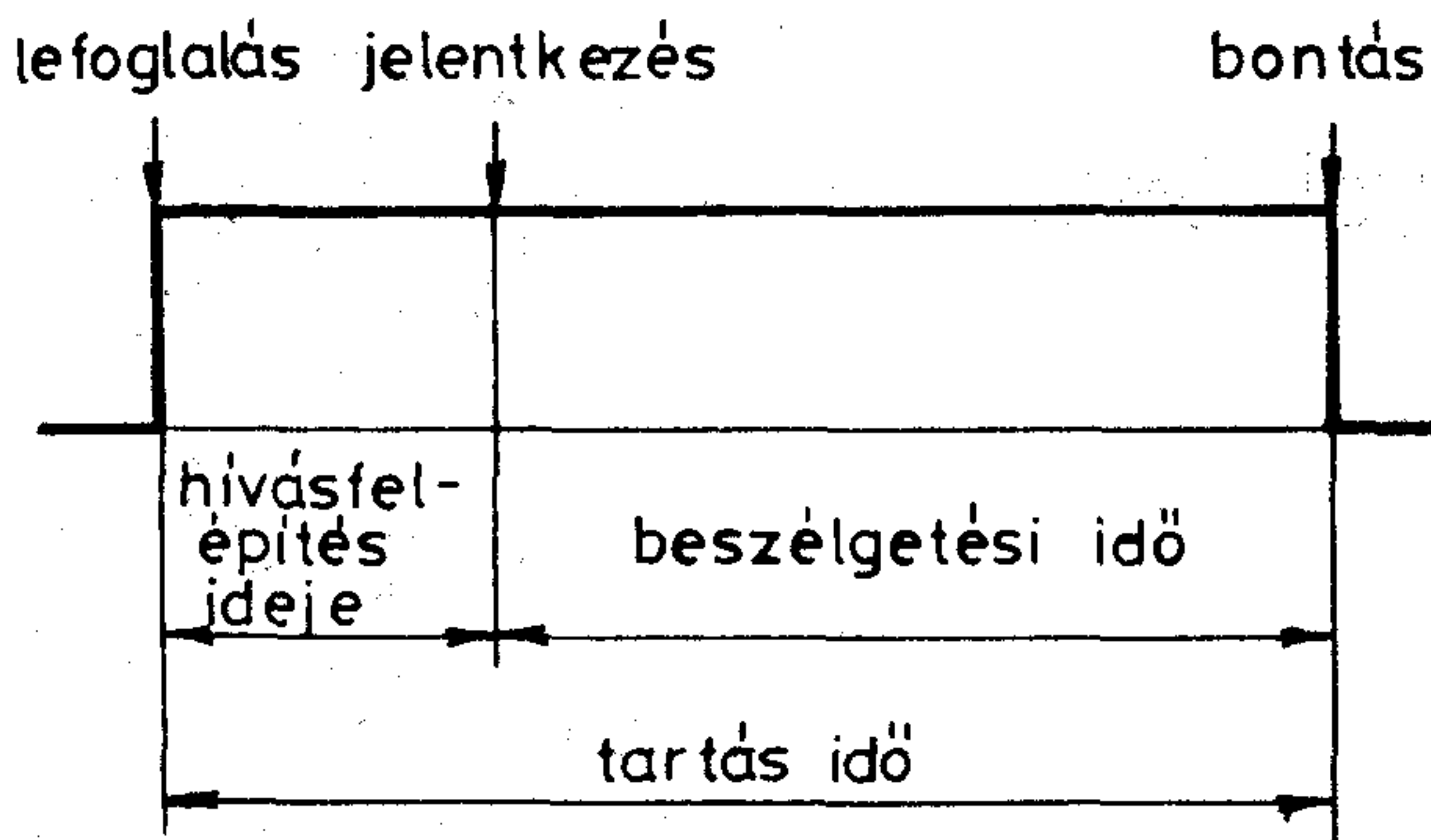
- a) vonalcsatlakozók, vonali áramkörök,
- b) kapcsológépek, kapcsolófokozatok és azok vezérlői,
- c) közös vezérlőegységek (markerek, regiszterek).

Az alkalmazott mérési elvet ennek a csoportosításnak megfelelően tárgyaljuk.

2.1. Vonalcsatlakozók felügyelete

Egy adott vonalcsatlakozón megfigyelhető főbb jellemzőket az 1. ábra mutatja.

Az alkalmazott mérési elv lényege az, hogy a vonalcsatlakozókon a lefoglalások számán túlme-



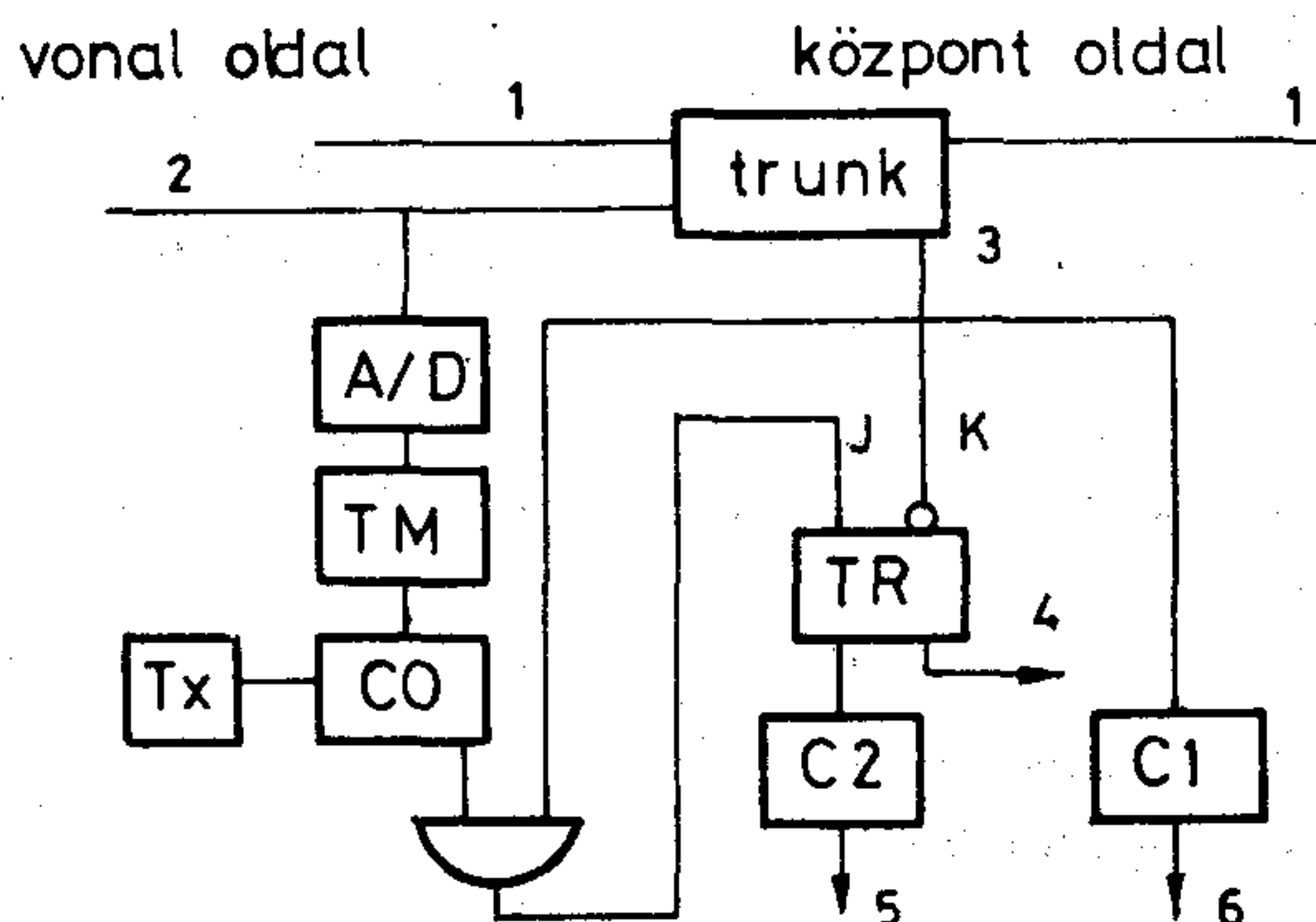
H974-1

1. ábra. Vonalcsatlakozón mérhető paraméterek

nően a vizsgált áramkörök vonaljelzéseiből a hívott jelentkezik jel kiértékelésével leszámoljuk a beszélgetésben végződő hívások számát. A kettő hányadosából képzett hatékonysági arányt „lefoglalás-beszélgetés” mátrix megfelelő eleméhez — meghatározott lefoglalási szám után — hasonlítjuk. Eltérés esetén az áramkört hibásnak minősítjük. Tekintettel arra, hogy a hatékonysági arány megfelelő értéke önmagában nem jelzi az áramkör hibátlan működését, bevezetésre került a tiszta beszélgetési idő mérése is. A vonalcsatlakozók megfelelő működésére a további jellemző paraméternek a tisztá beszélgetési idő és a teljes tartásidő hányadosát tekintjük. A 2. ábra vázlatosan mutatja a mérési elv megvalósulását.

A C1 jelű számláló minden lefoglalást számol. A vonaljelzéseket továbbító jelzővezetékre csatlakozó A/D átalakító a vonali jelzéseket a TM időmérő bemenetére illeszti. A TM időmérő a vonalon futó jelzéseket méri és a kimenetére csatolt CO komparátor a mért jeleket összehasonlítja a TX jelzés minimum és jelzés maximum tárolóban levő, a hívott jelentkezik jelentésű vonaljelzésre jellemző értékekkel. A megfelelő jelzés vétele esetén a CO komparátor kimeneti jele bebillenti a TR tárolót. Az áramkör bontásakor a lefoglalást jelző vezetéken a jel megszűnik, ami törli a TR tárolót.

A TR tároló kimenetére csatlakozó C2 számláló

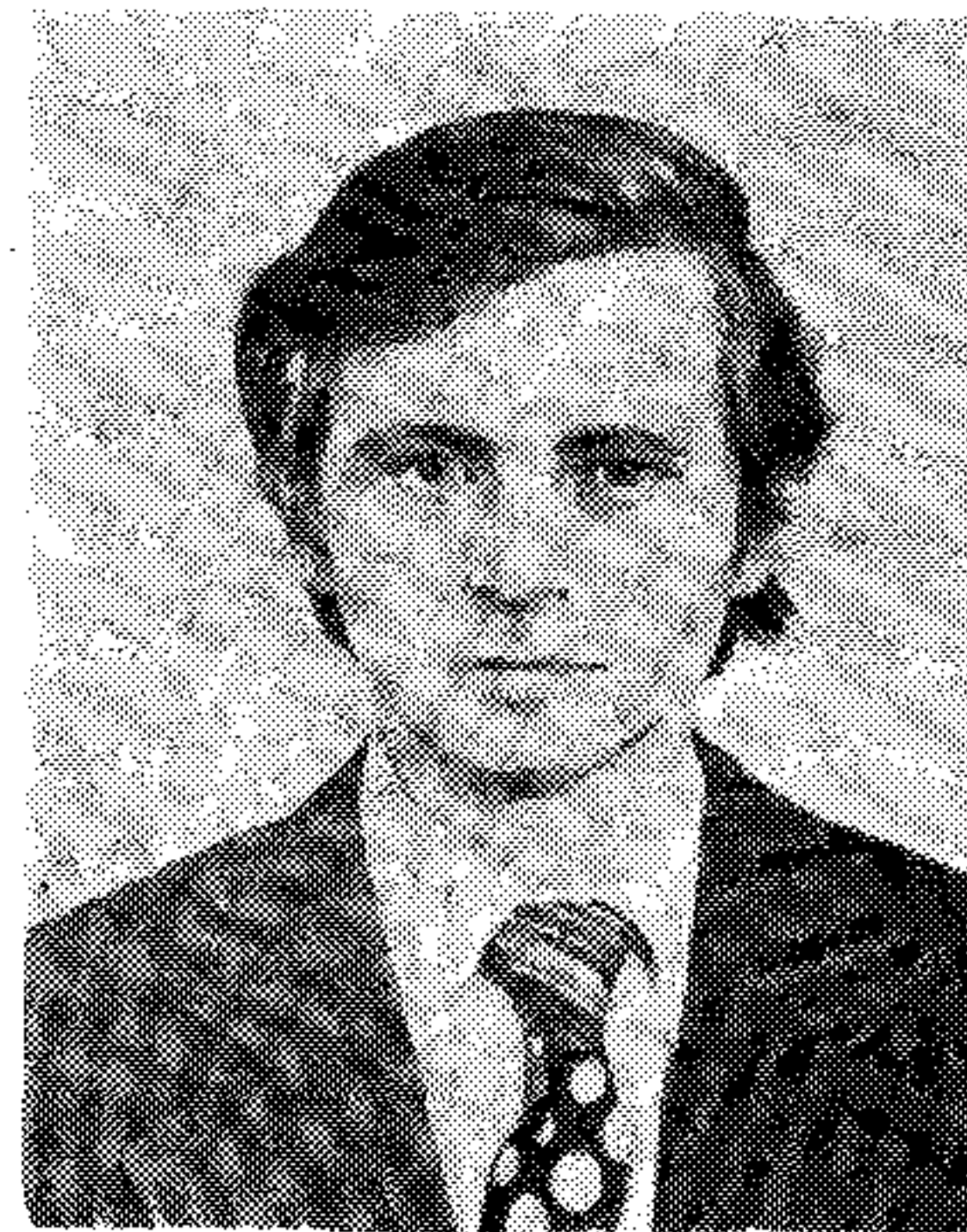


H974-2

2. ábra. A mérési módszert megvalósító elrendezés
1. beszélőágak, 2. jelzőág, 3. lefoglaló vezetékek, 4. fiktív pont a beszédforgalom mérésére, 5. a beszélgetésben végződő hívások száma, 6. lefoglalások száma

GÁTMEZEI JÓZSEF

1963-ban került a BHG Híradástechnikai Vállalathoz. Diplomáját 1975-ben szerezte a Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskolán. 1976 óta a BHG Fejlesztési Intézet AR Elektronikus Fejlesztési Osztályának vezetője. Tématerülete az AR főközponti rendszerekhez tartozó elektronikus kiegészítő berendezések és a tárolt programvezérelt üzemfelügyeleti rendszerek fejlesztése.



a beszédállapotok számát számolja. Ugyancsak a TR tároló kimenete lesz a beszédforgalom mérésére szolgáló belső mérőpont. A C1 és C2 számlálók értékei az adatfeldolgozó rendszerbe kerülnek, ahol a szükséges kiértékelések megtörténnek. A fenti elrendezés legtöbb elemét software segítségével realizáltuk.

2.2. Közös egységek felügyelete

Az alkalmazott mérési elvnek megfelelően a b) és c) jelű kategóriákba sorolt egységeknél a tényleges lefoglalások mellett a hibákra utaló jelzéseket is leszámoljuk. A gazdaságosság és a hibabehatárolás mélységének optimuma alapján hibajelzésként értelmezhetők egy adott működési sorrendtől való állapoteltérések, illetve a hibára utaló tényleges jelzések. A bemutatott rendszer nagy előnye, hogy az egyes mérőpontokon külön mérőprogramok futtathatók, amely alkalmassá teszi a rendszert arra, hogy különféle hagyományos kapcsolórendszerknél az üzemfelügyelet rugalmasan kialakítható legyen. A hibajelzések és a tényleges lefoglalások számából képezett „sikertelenségi arány” képezi alapját ezen áramköri egységek hibája kiértékelésének. A hibajelzés kiadása a Wald-féle sequential analysis alapján történik. Az 1. táblázat mutatja a hibás egységek behatárolására szolgáló formátumot.

1. táblázat. Alarmlista hibás áramkörök behatárolására

BHG SYSTEM TMS		84 01 02 15 17				HVST DSIN		01
S.: 10		ALARM LISTA						
ALARM	SZEKRENY	SORSZAM	MEGNEVEZES	KOD	LEFOGLALAS	HIRA		
DLM	4	867	RSM-H 11	05	1686	51		
DLM	4	908	RSM-Y 02	05	2137	47		
DLM	4	955	KS-D 019	05	337	7		
DLM	4	991	KS-D 055	05	365	7		
DLM	12	672	SS20TKMDL	03	6	5		
DLM	8	1000	RSM-DY 4	05	992	17		

H974-5

2.3. Az alkalmazott mérési módszer értékelése a gyakorlati tapasztalatok alapján

A gyakorlati tapasztalatok teljes körűen bizonyították az alkalmazott mérési elvek helyességét, olyan vonalcsatlakozók esetén, amelyek dekadikus jelzésrendszerrel dolgoztak, s így a hívás felépítéséhez szükséges idő az áramkör tartásidejében viszonylag

jelentős részt jelent. A mérési módszerek összehasonlítása érdekében kísérletképpen egy Ericsson típusú ARM 201/4 tranzitközpontban egy 48 vonalból álló irányon 5 órás ciklusokban végeztünk méréseket:

- átlagos tartásidő mérés alapján történő kiértékeléssel,
- hatékonysági arány mérése alapján történő kiértékeléssel,
- hatékonysági arány és beszédidő/lcfoglalási idő arány mérése alapján.

Az átlagos tartásidők eltérésein alapuló mérési módszer alkalmazása esetén az adott vizsgálati időszakban hibajelzés nem történt. A mérést megismételve az egyedi vonalcsatlakozók hatékonysági arányának eltéréseit értékelve 2 olyan vonalcsatlakozót találtunk, amelyen behatárolható jelzéstechikai hibák voltak. Amikor a mérést ismét elvégeztük, de a hatékonysági arány mellett a beszédtartásidő-tartásidő arányt is értékeltük, további 4 áramkörön számtevesztést is ki lehetett mutatni.

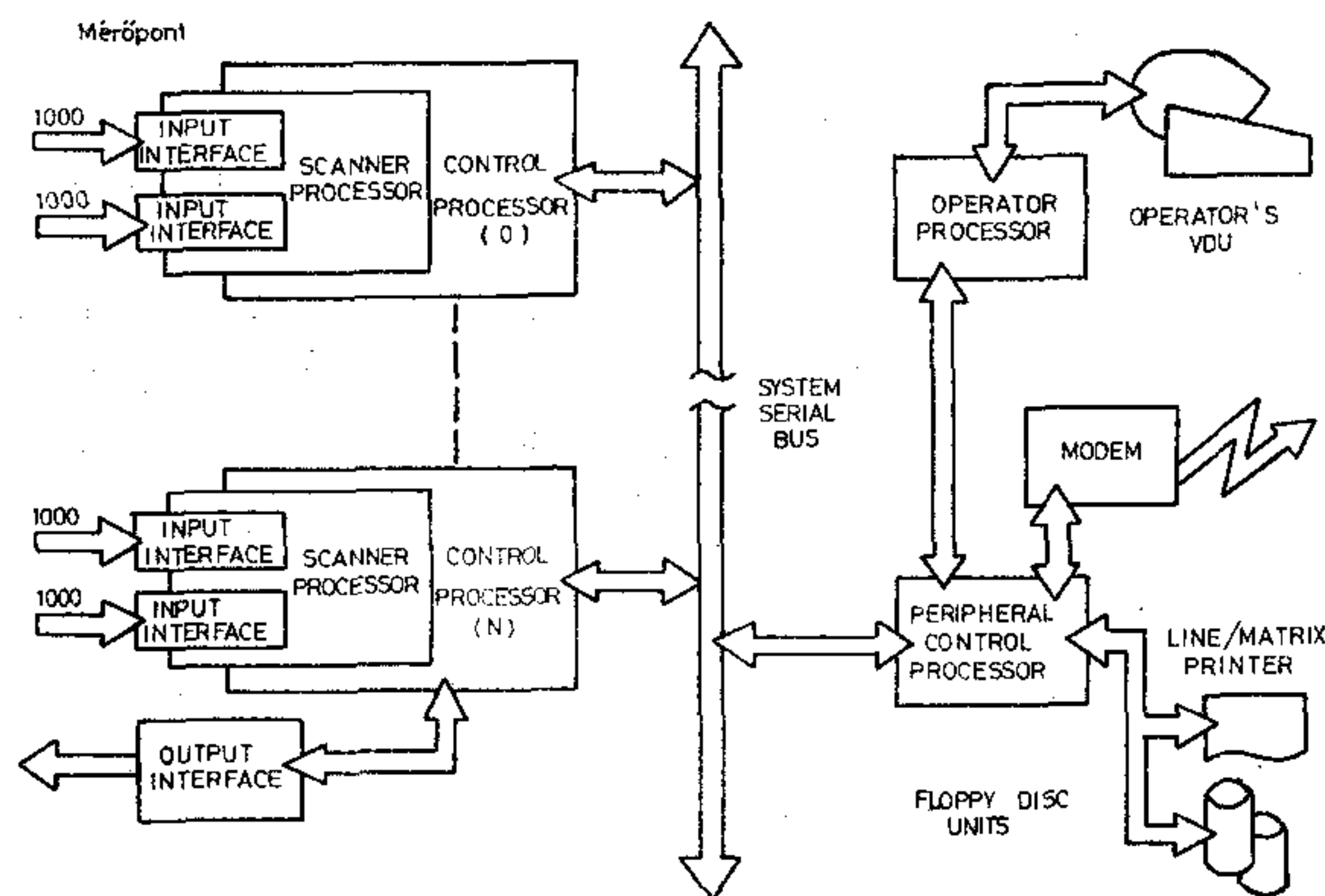
A méréseket ezután MFC jelzésrendszerű vonalcsatlakozókon végeztük el. A mérési eredmények azt mutatták, hogy ez esetben az átlagos tartásidők kiértékelésével is behatárolhatók voltak hibás áramkörök. Összefoglalva levonhattuk azt a következtetést, hogy egyenáramú jelzésrendszerek esetén, ahol a jelzésátvitel lassú, s amellet jeltorzulásokra is lehet számítani, hatékony mérési eljárásnak csak a 2.1. pontban ismertetett módszer bizonyult. Jelzéstechikai problémák esetén az adott áramkörök hatékonysági aránya szignifikánsan lecsökken, míg számtevesztések esetén a hibák rövid idő alatt csak a beszédtartásidők lényeges lecsökkenésének felismerésével vehetők észre. További tapasztalati tény, hogy a kijelzett hibáknak átlagosan 85%-a bizonyult igaznak. Ez azonban annak tudható be, hogy az alkalmazott 5 órás mérési ciklus alatt nem minden esetben volt meg a szükséges statisztikai mennyiség.

A közös egységek felügyeleténél nagy jelentőséggel bír a berendezés azon szolgáltatása, hogy a sikertelenségi arányra vonatkozó küszöbértékek egyénenként megadhatók. A tapasztalatok alapján az egyes áramkörök működési paramétereinek szóródásából adódóan nem célszerű bizonyos közös egységscsoporthoz (pl. regiszterek) egyetlen küszöbértéket megadni.

A helyes mérési elvnek az bizonyult, amikor az egyes közös egységek sikertelenségi arányának változását mindig az egyedi áramkörhöz rendelhető küszöbértékhez viszonyítottuk.

3. Az üzemfelügyeleti terminálok felépítése

A terminálok önállóan vagy hálózatban működtethetők, 3 szintű multiprocesszoros vezérléssel rendelkeznek. Egy alrendszer terminálba max. 32 000 vizsgálópont köthető be. A vizsgálópontok software úton mérőcsoportokba rendelhetők, a csoportok száma max. 160. A mérővezetékek nagy impedanciákon csatlakoznak a távbeszélőközpont áramköreire. A terminál rendelkezik adatregisztráló és megjelenítő per-



és a hosszútávú tervezés megkönnyítése céljából. A mérőpontokon megjelenő jelzések kiértékelése scanning eljárással történik. Alapelv az áramkörök és a közös egységek egyedi mérése. Az egyedi mérőpontok software módszerekkel mérőcsoportokká rendezhetők, és a feldolgozott adatok mérőcsoportokra vonatkoztathatóan kiszámíthatók. A rendszer a 12 msec-nél nagyobb jeleket ismeri fel, a forgalmi számításokat 1 sec-onként végzi. Lehetőség van:

- a lebonyolított forgalom (A),
- a lefoglalásszám (N),
- az effektív hívásszám (M),
- a tiszta beszédforgalom (B),
- a forgalomkoncentráció (K),
- a hatékonysági arány (S),
- az átlagos beszédtartásidő (TB)

mérésére és megjelenítésére órás bontásban, órás, vagy negyedórás eltolással.

A modul alkalmas a

- forgalmasóra,
- lebonyolított forgalom maximuma (A_{max}), illetve minimuma (A_{min}),
- beszédforgalom maximuma (B_{max}), illetve minimuma (B_{min}),
- mindezek tényleges időpontja

idejének, illetve értékének automatikus meghatározására. A vizsgált időszak vonatkozásában összesítve megjeleníthetők az alábbi értékek:

2. táblázat. Forgalmi report (TMM)

BHG SYSTEM TMS			83 09 19 17 20			(MERES NAPJAINAK SZÁMA: 01)		
07:00 - 14:00			CSOPORT FORGALMI JELENTÉS			(AKTUALIS 34 BERLIN BEJÖVŐ)		
IDG	N	M	ACERLJ	BERLJ	B/ACXJ	TTCHINJ	TRCHINJ	SEXJ
07:00	180	50	5.76	4.77	82.88	1.92	5.73	27.77
08:00	567	183	15.09	11.81	78.29	1.59	3.87	32.27
09:00	361	90	7.90	5.95	75.32	1.31	3.96	24.93
10:00	174	65	5.66	4.31	76.28	1.95	3.98	37.35
11:00	159	55	6.84	5.81	84.89	2.58	6.34	34.59
12:00	122	42	4.67	3.94	84.37	2.29	5.62	34.42
13:00	245	96	7.53	5.67	75.29	1.84	3.54	39.18
14:00	130	46	2.97	2.27	76.25	1.37	2.95	35.39
07:00 - 14:00			ÁTLAGFORGALMI JELENTÉS			(ÁRAMKÖRÖK SZÁMA : 64)		
A MAX CERLJ:		15.09	IDEJE: 08:00		SN :	1938		
B MAX CERLJ:		11.81	IDEJE: 08:00		SN :	627		
SA CERLJ:		56.42			FFERL/AKJ:	30.28		
SB CERLJ:		44.53	K EXJ: 26.74		FBERL/AKJ:	9.79		

H974-6

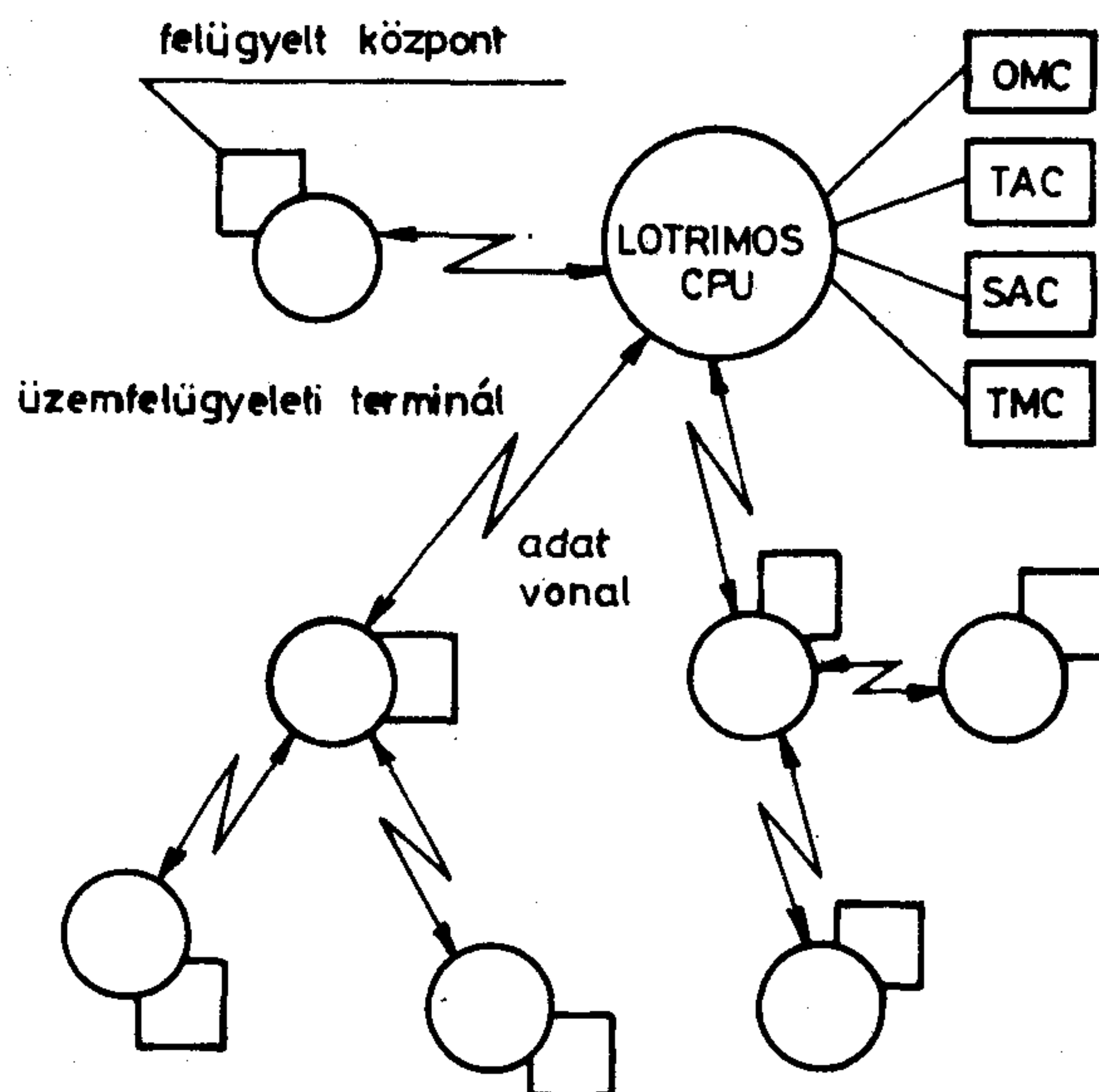
- az összes lefoglalások száma (SN),
- összes effektív hívások száma (SM),
- összes lebonyolított forgalom (SA),
- összes beszédforgalom (SB),
- fajlagos lebonyolított forgalom (FF),
- fajlagos beszédforgalom (FB).

A forgalmi reportot a 2. táblázat mutatja. A forgalom mérés folyamatosan történik, így lehetőség van a CCITT által ajánlott $\bar{A}_{30}$ mérés lebonyolítására mérőcsoportonként.

A mérések tetszőleges kezdési időponttól tetszőleges befejezési időpontig végezhetők manuális, vagy előre programozott indítással és befejezéssel.

4.2. SSM lefoglalásszám ellenőrző modul

A modul alapvető feladata a közös egységek és meghatározott áramkörök lefoglalásainak ellenőrzése. A kezelő utasításaitól függően a vizsgált időtartam végén lehetőség van az



H974-4

4. ábra. Központosított üzemfelügyeleti és karbantartó hálózat

- állandóan foglalt,
- sosem foglalt

közös egységek, illetve áramkörök azonosítóinak megjelenítésére.

4.3. TCM időtorlódás ellenőrző modul

Az időtorlódás értékének meghatározását a mérésbe bevont áramkörök, illetve közös egységekből alkotott mérőcsoportokon a kezelő utasítására tetszőleges 1 órára, vagy a nap teljes 24 órájára el lehet végezni.

4.4. TRM díjszámláló modul

A díjszámláló modul az előfizetői központokban az elektromechanikus számlálójelfogók kiváltásával a díjrögzítési feladatokat látja el.

A rendszer alkalmazásakor a megbízhatóság növelése érdekében:

- a processzor hardware modulok adattárolói, amelyekben a mért adatok átmeneti tárolásra kerülnek, duplikáltak. A duplikált memória ellenőrzéséről külön felügyelő programrendszer gondoskodik;
- az interface-ek kiválasztását és meghajtását végző multiplexerek duplikáltak;
- centralizált adatgyűjtés esetén a fölérendelt központtal duplikált modemmel van kapcsolatban.

A modul a tarifa impulzusokat érzékeli, a megadott határértékek alapján kiértékeli, leszámlálja és átmenetileg tárolja. A számlálókba adatblokkokat szervez és ezeket óránkénti, vagy naponkénti file-okba

szervezve háttértárolón tárolja, vagy centralizált rendszer esetén a számlázást is ellátó központi egységbe küldi.

4.5. CITOM pénzbedobó készülékek felügyelő modulja

A 2.1. pontban bemutatott mérési eljárás különösen nagy szerepet kap egy adott karbantartói körzethez tartozó pénzbedobós készülékek működésének folyamatos, egyedi ellenőrzésében. Ezen funkcionál alapvetően fontos, hogy a meghibásodott készüléket a legrövidebb időn belül fel lehessen fedni. A berendezés a távbeszélőközpont pénzbedobó áramköreinek lefoglaló és számláló ágaira csatlakozik. A berendezés lehetővé teszi az érmeürítés szükségességének kijelzését is.

4.6. NMM network management modul

A modul feladata az üzemfelügyeleti és forgalom-mérő modulok mérési adatai és az 5. pontban bemutatott centralizált rendszer analízise és adatfeldolgozási tevékenysége során nyert információk alapján túlterhelés esetén beavatkozás kezdeményezése, az optimális forgalomlebonyolítás biztosítása érdekében. Amennyiben a berendezés olyan hagyományos kapcsolóberendezés üzemfelügyeletét látja el, amely-nél lehetőség van beavatkozások végrehajtására, úgy a következő feladatok láthatók el:

- előfizetői forgalom korlátozása, túlterhelés esetén bemondóra történő irányítás,
- a közös egységek időzítéseinek megváltoztatása a terhelés függvényében,
- a vezérlőberendezések ismételt kapcsolásfelépítési kísérleteinek korlátozása, illetve megakadályozása,
- az alternatív irányítás lehetőségének korlátozása, illetve stratégiájának megváltoztatása.

Megjegyezzük, hogy a 4.4. pontban ismertetett díj-számlálási és számlázási szolgáltatás, továbbá a 4.5. pontban bemutatott pénzbedobó készülék felügyeleti szolgáltatás önálló alrendszerként is megvalósítható hagyományos kapcsolóberendezéseknél.

5. Centralizált üzemfelügyeleti és karbantartó-rendszer megvalósításának lehetősége

Az üzemfelügyeleti és karbantartórendszer fejlesztésének alapvető célkitűzése volt, hogy a hagyományos kapcsolóberendezésekhez kihelyezett mérőterminálok önállóan is működni képes intelligens rendszert alkossanak, ugyanakkor arra is alkalmasak legyenek, hogy egy központi rendszerhez csatlakozva a centralizált programozott karbantartási rendszer elveinek megfelelő feladatokat is ellássák. A centralizált üzemfelügyeleti és karbantartórendszerek a gazdaságos, élőlátás és anyagtakarékos karbantartási módszerek bevezetésének nélkülözhetetlen eszközei. A 4. ábrán látható a LOTRIMOS (Local and TRansit exchange Integrated Measuring Observation System) rendszer felépítése.

Az intelligens alrendszer terminálok előfizetői, vagy tranzit kapcsolóberendezések mellett helyezkednek el, s adatátviteli vonalon kapcsolatban állnak a regionális LOTRIMOS központtal. Az intelligens alrendszer terminálok saját I/O eszközeiken keresztül rendszeresen adatokat szolgáltatnak a napi karbantartás céljaira is. A LOTRIMOS központ egyrészt egy központi számítógépből, másrészt a következő, a régióra kiterjedő hatáskörű felügyelő és karbantartó hivatalokból áll:

- Operation and Maintenance Centre (OMC),
- Traffic Administration Centre (TAC),
- Service Assessment Centre (SAC),
- Transmission Maintenance Centre (TMC).

Constronic '84

Hogyan változott meg az elektronikus készülékek felépítése a mikroelektronikai alkatrészek és programozható egységek megjelenésével;

- hogyan lehet új konstrukciós elveket kifejleszteni;
- mikor előnyös a Gráf-elmélet alkalmazása a számítógépes tervezésben;
- hogyan használható a számítógép egy műszerkonstrukció részeként a korszerű nyomtatott áramkör technológia és a számítógéppel segített huzalozás-tervezés kapcsolata Magyarországon;
- milyen az elektronikai készülékek és berendezések szabványosítási helyzete és milyen egymástól eltérő megoldások léteznek a magyar elektronikai berendezésgyártásban;
- milyen megbízhatósági megfontolásokat és vizsgálati módszereket alkalmaznak egyes elektromechanikai alkatrészeknél;
- milyen konkrét fejlődést hozott az elektronika széles körű alkalmazása egyes részterületeken, pl. a mozgássérültek telefonkészülékeinek tökéletesítésében, vagy a nyomdai szövegszerkesztő készülékeknél;

ilyen, és a fentiekhez hasonló tárgyú harminc előadás hangzott el a CONSTRONIC '84 konferencián, amelyet a Híradástechnikai Tudományos Egyesület a GTE, a MATE, a MEE és a NJSZT, az OPAFKI, MTSZ társaságokkal közösen, a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya és az International Federation of Information Processing (IFIP) szervezetek védnöksége alatt rendezett, 1984. október 9–11. között, a MTSZ székházban.

A konferencián 49 külföldi résztvevő vett részt és a Constronic-konferenciák sorozatában ezúttal először 3 fős kínai delegációt is üdvözölhettünk. A hazai résztvevők száma 160 fő volt.

A Constronic '84 konferenciát Köveskúti Lajos, a HTE elnöke nyitotta meg. Méltatta a konferencia jelentőségét és a Constronic konferenciák megalapítójának a közelmúltban hirtelen elhunyt dr. Almásy Györgynek érdemeit a híradástechnikai konstrukciók okta-

tásában, a konstruktőrök nevelésében és a konferencián biztosított nemzetközi véleménycsere lehetőségének megteremtésében.

A konferencia bevezető előadását dr. Tófalvi Gyula, a TKI tudományos igazgatója tartotta. Előadásában utalt arra, hogy megbízható, gazdaságos, szellemes konstrukció nélkül az elektronikai berendezések értéke kérdésessé válik. Kiemelte a képzés továbbképzés fontosságát, az új utak keresésének szükségességét, a magas színvonalú, tisztességes mérnöki munka fontosságát.

A konferenciára beküldött előadások az előzetesen megadott tematika szerint 5 szekcióban hangzottak el, az alábbi témacsoportokban:

- számítógéppel segített konstrukció,
- konstruktörképzés, konstrukciós módszertan,
- megbízhatóság, környezetállóság,
- az elektronikai konstrukció speciális területei,
- új technológiai és konstrukciós eredmények.

A szekciók vezetői a hazai híradástechnikai konstruktörképzés, valamint az ipar prominens személyiségei voltak.

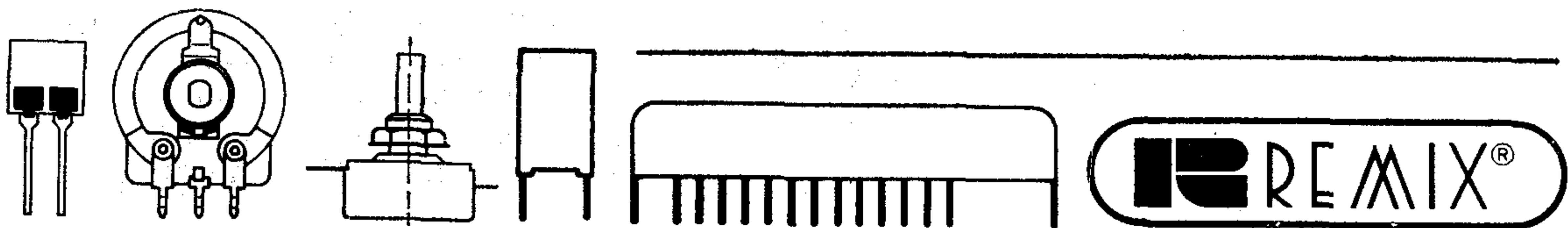
Az előadások után a számítógéppel segített konstrukció és a konstruktörképzés témakörében kerekasztal-megbeszélés egészítette ki az előadásokat és hozzászólásokban elhangzottak.

A Constronic '84 konferencia az előző konferenciák hagyománya alapján most is 4 hivatalos nyelvet használt (angol, magyar, német, orosz), szinkrontolmácsolással. A négynyelvűségre azért van szükség, mert a gyakorlati konstruktőrök nagyobb része nem beszél több nyelvet.

A Szervező Bizottság a konferencia időtartama alatt külön programokat is biztosított a HTE cserevendégeinek, továbbá véleménycserét folytatott a Constronic-konferenciák további irányairól és témáiról. A megkérdezett résztvevők valamennyien hasznosnak és szükségesnek tartották a konferenciát, javaslatokat tettek a tematika bővítésére, és hasznos szervezési tanácsokat adtak.

A következő Constronic konferencia 1988-ban esedékes, melynek szervezési munkái a HTE-ben már megkezdődtek.

Bánsághi Pál



MŰSZAKI KÖZLEMÉNYEK

Típus	Dielektrikum	Fegyverzet	Névleges feszültség [U _n]	Kapacitás tartomány	Sor Tűrés [%]	Kategor- ria feszül- ség -85°C-on	Feszültség vizsgálat	
							kivezetők között	kivezetők és a burkolat között
C243	polipropilén (PP)	fém vékony- réteg	250V ₋	33 nF ... 4,7 μF	E6	250V ₋		
			400V ₋	15 nF ... 2,2 μF	± 20 ± 10	400V ₋	1,5 · U _n	2 · U _n
			630V ₋	6,8 nF ... 1 μF	± 5	630V ₋		
C248 impulzus kondenzátor	polipropilén (PP)	fém vékony- réteg + alu.fólia	630V ₋	10 nF ... 220 nF	E6	500V ₋		
			1000V ₋	33 nF ... 100 nF	± 20 ± 10	800V ₋	1,5 · U _n	2 · U _n
			1500V ₋	10 nF ... 4,7 nF	± 5	1200V ₋		
C250	polipropilén (PP)	fém vékony- réteg	250V ₋	22 nF ... 1 μF	E6	250V ₋		
			400V ₋	10 nF ... 680 nF	± 20 ± 10	400V ₋	1,6 · U _n	2 · U _n
					± 5			

FÉMEZETT POLIPROPILÉN

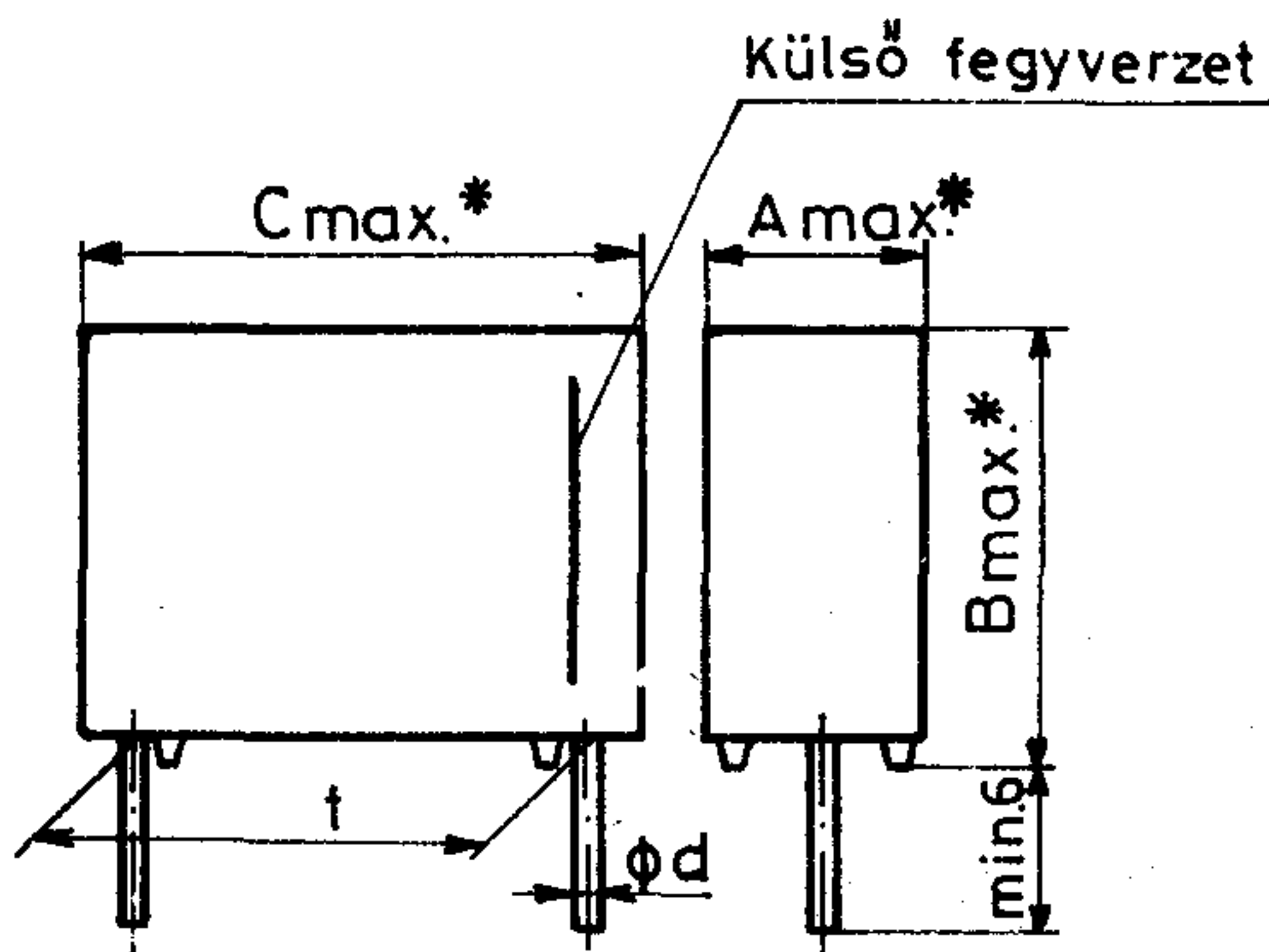
KONDENZÁTOROK

AJÁNLOTT TERMÉKVÁLASZTÉKA '84

Veszteségi tényező [tgδ]	Tiszta váltá- kozó feszült- ségű terhel- hetőség		Impulzus üzem max. impulzus mere- dekség		Szigetelési ellen- állás		Kulcsszám	Szabvány	
					kivezetők között	kivezetők és a bur- kolat között			
10kHz max.3·10 ⁻³ C ≤ 1μF 1kHz max.2·10 ⁻³ C > 1μF	U _n [V ₋] 250	U [V _~] 220	U _n [V ₋] 250	15V/μs	min.30GΩ vagy 10ks (amelyik kisebb)	min.100GΩ	40/085/21	Rx-74.123/1	
	400	250	400	20V/μs					
	630	300	630	25V/μs					
10kHz max.3·10 ⁻³ 1kHz max.2·10 ⁻³	U _n [V ₋] 630	U [V _~] 300	U _n [V ₋] 630	500V/μs	min.30GΩ	min.100GΩ	40/085/21	Rx-74.123/2	
	1000	350	1000						
	1500	450	1500						
10kHz C ≤ 100nF max.06·10 ⁻³ C > 100nF max.1·10 ⁻³	U _n [V ₋] 250	U [V _~] 160	raszter [mm]	250V ₋ [V/μs]	400V ₋	min.100GΩ vagy 30ks (amelyik kisebb)	min.100 GΩ	40/085/21	Rx-74.123/3
	400	200	10	200	266				
			15	100	133				
22,5			57	76					
			27,5	44	59				

Méreték mm-ben

* Méretellenőrzés
MSZ-05 612804
szerint.



C243
C250

Névleges kapacitás	C 243												
	250V ₋				400V ₋				630V ₋				
	A	B	C	t ±0,2	A	B	C	t ±0,2	A	B	C	t ±0,2	
	max.				max.				max.				
6,8 nF	_____				_____				4,0	9,5	13,0	10,0	
10									5,0	10,5			
15									5,5	11,0	18,0	15,0	
22									7,0	13,0			
33	4,0	9,5	13,0	10,0	5,0	10,5	18,0	15,0	5,5	11,0	18,0	15,0	
47	5,0	10,5			6,0	11,5			7,0	13,0			
68	6,0	11,5	18,0	15,0	5,5	11,0	27,0	22,5	9,0	14,5	27,0	22,5	
100	5,5	11,0			7,0	13,0			6,5	15,0			
150	7,0	13,0	27,0	22,5	9,0	14,5	32,0	27,5	8,5	18,5	32,0	27,5	
220	9,0	14,5			7,0	16,5			11,0	20,0			
330	6,5	15,0	32,0	27,5	8,5	18,5	32,0	27,5	13,0	22,5	32,0	27,5	
470	7,0	16,5			11,0	20,0			15,0	30,0			
680	10,5	19,0	32,0	27,5	15,0	30,0	32,0	27,5	18,0	38,0	32,0	27,5	
1 μF	11,0	20,0			18,0	33,0							
1,5	13,0	22,5											
2,2	15,0	30,0											
3,3	18,0	33,0	32,0	27,5			32,0	27,5			32,0	27,5	
4,7	22,0	37,0											

φ d	0,8	A x B ≤ 13 x 22,5 mm
	1,0	A x B ≥ 15 x 30 mm

ϕd	0,8	$A \times B \leq 13 \times 22,5 \text{ mm}$
	1,0	$A \times B \geq 15 \times 30 \text{ mm}$

Névleges kapacitás		C250									
		250V ₋				400V ₋					
		A	B	C	t±0,4	A	B	C	t±0,4		
		max.				max.					
10	nF					5,0	10,5	13	10		
15						6,0	11,5				
22		5,0	10,5	13,0	10,0	6,0	11,5	18	15		
33		6,0	11,5			5,5	11,0				
47		6,5	11,0	18,0	15,0	7,0	13,0	27	22,5		
68		7,0	13,0			9,0	14,5				
100		9,0	14,5	27,0	22,5	7,0	16,5	32	27,5		
150		7,0	16,5			8,5	18,5				
220		8,5	18,5	10,5	19,0						
330		10,5	19,0	13,0	22,5						
470		11,0	20,0	32,0	27,5	15,0	30,5				
680		13,0	22,5								
1	μF										

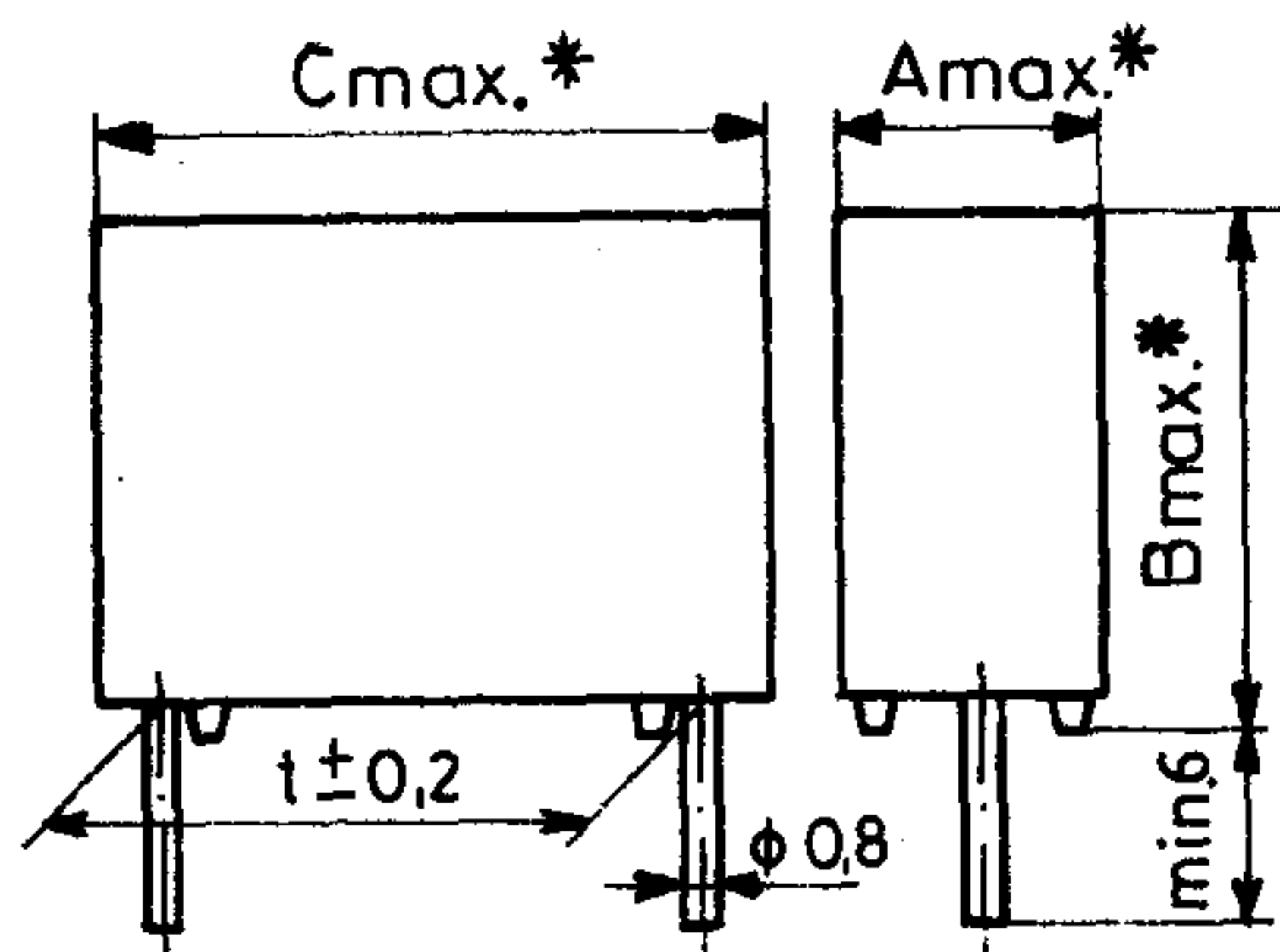
φ d	0,8	A x B ≤ 13 x 22,5 mm
	1,0	A x B ≥ 15 x 30 mm

ϕd	0,8	$A \times B \leq 13 \times 22,5 \text{ mm}$
	1,0	$A \times B \geq 15 \times 30 \text{ mm}$

Méreték mm-ben

* Méretellenőrzés

MSZ-05 612804
szerint.



C248
impulzus
kondenzátor

Névleges kapacitás	630V ₋				1000V ₋				1500V ₋			
	A	B	C	t	A	B	C	t	A	B	C	t
	max.				max.				max.			
1,0 nF									6,5	11,0	18,0	15,0
1,5									7,0	13,0		
2,2									9,0	14,5		
3,3									6,5	15,0	27,0	22,5
4,7									7,0	16,5		
6,8									8,5	18,5		
10	5,5	11,0	18,0	15,0	7,0	13,0	18,0	15,0	6,5	15,0	27,0	22,5
15	7,0	13,0			9,0	14,5			7,0	16,5		
22	9,0	14,5			6,5	15,0			8,5	18,5		
33	6,5	15,0	27,0	22,5	7,0	16,5	27,0	22,5	11,0	20,5	32,0	27,5
47	7,0	16,5			8,5	18,5			13,0	22,5		
68	8,5	18,5			11,0	20,0	32,0	27,5				
100	10,5	19,5	32,0	27,5								
150	11,0	20,0										
220	13,0	22,5										

A fémezett polipropilén (PP) kondenzátorok az egyéb dielektrikumú típusokkal szemben lényegesen jobb impulzusállósággal tűnnek ki. A PP fólia kiváló tulajdonságai — a fegyverzet elrendezése révén — különböző mértékben hasznosíthatók.

A legegyszerűbb és legkisebb méretű a C243-as típus. Közepes terhelésre a kissé nagyobb méretű C250 fokozott igénybevételre pedig a C248 típus ajánlható.

Fémezett PP kondenzátorok impulzus terhelhetősége

Típuszám	C243			C250		C248		
Név. feszültség [V ₋]	250	400	630	250	400	630	1000	1500
Raszter [mm]	Megengedett max. impulzus meredekség [V/μs]							
10	15	20	25	200	266	500		
15				100	133			
22,5				57	76			
27,5				44	59			

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



KONTAKTA

Telex: 22-4399

1725 Budapest, Pf. 16.

Telefon: 278-200

MINIATŰR BILLENŐKAPCSOLÓ CSALÁD KB 2M...

SZUBMINIATŰR BILLENŐKAPCSOLÓ KB 3M...

(Előzetes műszaki tájékoztató)

A **KONTAKTA** nagy sorozatban gyártja a különböző méretű, teljesítményű és rendeltetésű készülékkapcsolókat, és a választék folyamatos korszerűsítésére és bővítésére törekszik a piaci igények minél teljesebb kielégítése érdekében.

A témakörrel kapcsolatos fejlesztési munka legújabb eredménye a **KB 2M** típusú miniatűr billenőkapcsoló-család, illetve a **KB 3M** típusú szubminiatűr billenőkapcsoló.

E két típus kifejlesztésével a miniatűr és a szubminiatűr méretű kategóriába sorolható kapcsolók hazai gyártásának bevezetését, és ezzel a felhasználók e kapcsolóméretekre vonatkozó egyre növekvő igényeinek kielégítését kívánja megvalósítani a **KONTAKTA**.

A következőkben részletesen ismertetésre kerül a két-féle kapcsolótípus.

KB 2M...

Miniatűr billenőkapcsoló család

A kapcsoló szigetelőteste műanyag, a menetes nyak és a billenőkar fémből készül. A billenőkarra több színváltozatban készülő műanyag sapka húzható.

A kapcsoló $M 6 \times 0,75$ mm-es menettel központosan erősíthető fel a szerelőlapra.

Az ezüst érintkezőkkel szerelt változat mellett gyártásra kerül a kisjelszintek kapcsolására alkalmas aranyozott érintkezőkkel készülő változat is.

A beköthető vezeték-keresztmetszet: max. $0,5 \text{ mm}^2$.

A vezeték bekötése forrasztással történik. A nyitott érintkezők közötti légköz szempontjából a kapcsolók a parányközű kapcsolók kategóriájába tartoznak.

A kapcsoló az MSZ 91 és az MSZ 94 szabványok értelmében a hálózat egyedüli leválasztó eszköze nem lehet.

A **KB 2M...** családba tartozó típusváltozatok ismertetését az 1. táblázat, méretadatait pedig az 1. ábra tartalmazza.

Rendelési példa

Műszaki igény: 2 pólusú váltókapcsoló, ezüst érintkezővel, piros sapkával.

Rendelési adat: KB 2M2A1, 1.618.0011,
sapka: 6.618.0032.

MŰSZAKI ADATOK

Névleges feszültség
Névleges áramerősség
Névleges teljesítmény

Kisjelszintű adatok

Feszültség
Áramerősség

Elektromos élettartam

VIZSGÁLÓ FESZÜLTSG

Nyitott érintkezők között
Egyéb helyeken
Szigetelési ellenállás
Átmeneti ellenállás
Környezetállósági kulcsszám
Vonatkozó szabvány

Érintkező

ezüst	aranyozott
250 V _{eff} 3 A	20 V _{eff} max. 0,5 VA
	min. 20 mV min. 1 μA
20 000 kapcs. cikl.	50 000 kapcs. cikl.

750 V_{eff}
2000 V_{eff}
min. 100 Mohm
max. 20 mohm
25/070/21
MSZ-05 61.6113

KB 3M...

Szubminiatűr billenőkapcsoló

A kapcsoló egy- és kétáramkörös átkapcsoló változatban kerül gyártásra.

A kapcsoló szigetelőteste műanyag, a menetes nyak és a billenőkar fémből készül.

A kapcsoló $M 5 \times 0,75$ mm-es menettel központosan erősíthető fel a szerelőlapra.

Az érintkezők ezüstből készülnek, a kisjelszintek kapcsolására alkalmas változatnál pedig aranyozottak.

A beköthető vezeték-keresztmetszet: max. $0,5 \text{ mm}^2$.

A vezeték bekötése forrasztással történik.

A kapcsoló szekunder áramkörök kapcsolására szolgál, a nyitott érintkezők közötti légköz szempontjából a parányközű kapcsolók kategóriájába tartozik.

A **KB 3M...** kapcsoló típusváltozatait a 2. táblázat, méretadatait pedig a 2. ábra tartalmazza.

Rendelési példa

Műszaki igény: Egy áramkörű kapcsoló, aranyozott érintkezővel.

Rendelési adat: KB 3M1A2, 1.619.0001.

MŰSZAKI ADATOK

Névleges feszültség
Névleges áramerősség
Névleges teljesítmény

Kisjelzési adatok

Feszültség
Áramerősség

Érintkező	
ezüst	aranyozott
125 V _{eff} 3 A	20 V _{eff} max. 0,5 VA
	min. 20 mV min. 1 µA

Ezüst és aranyozott érintkezőkre egyaránt

Vizsgáló feszültség

500 V_{eff}

Szigetelési ellenállás

min. 100 Mohm

Átmeneti ellenállás

max. 20 mohm

Elektromos élettartam

50 000 kapcs. cikl.

Környezetállósági kulcsszám

25/070/21

Vonatkozó szabvány

KÜSZ 143

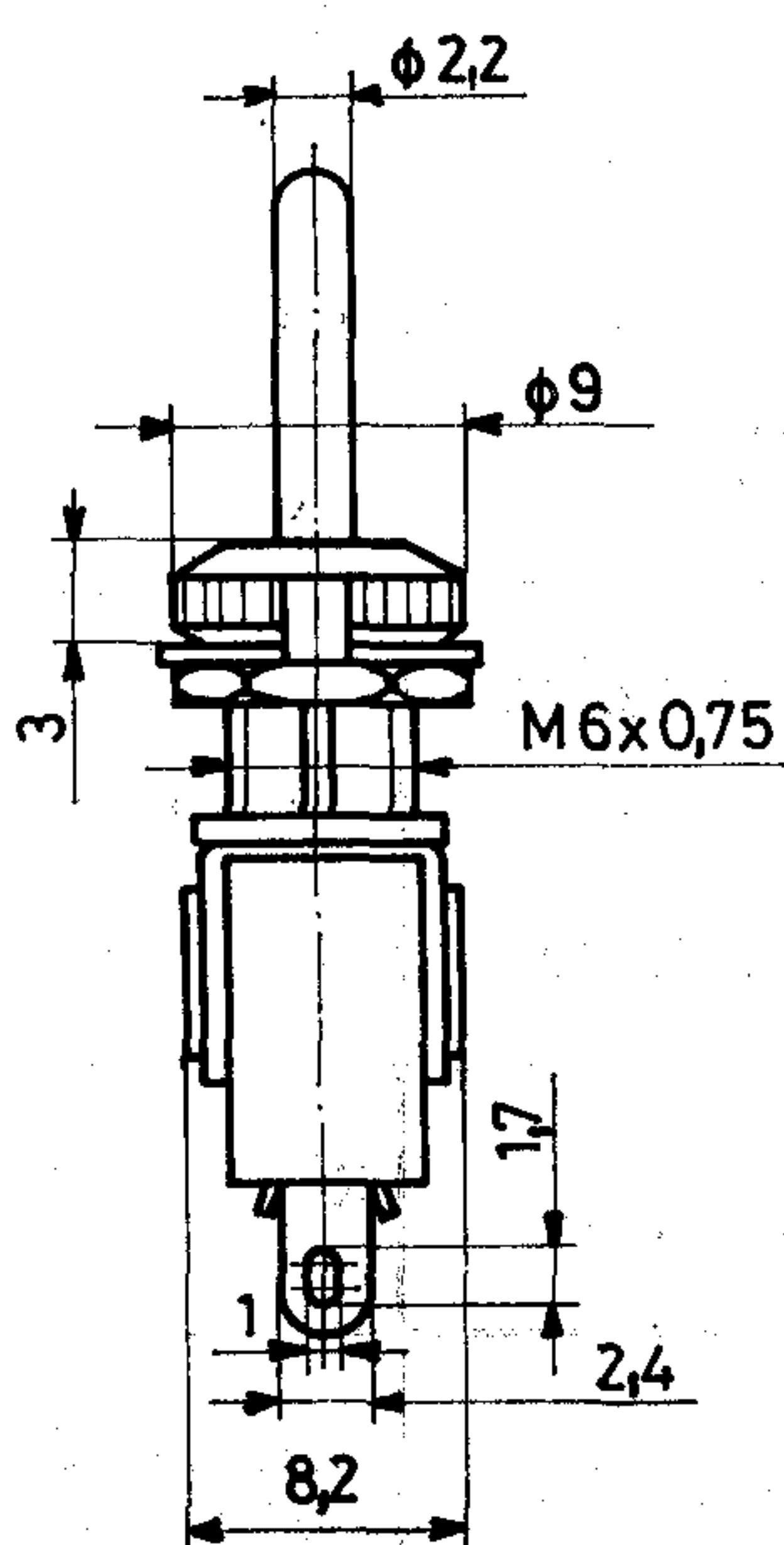
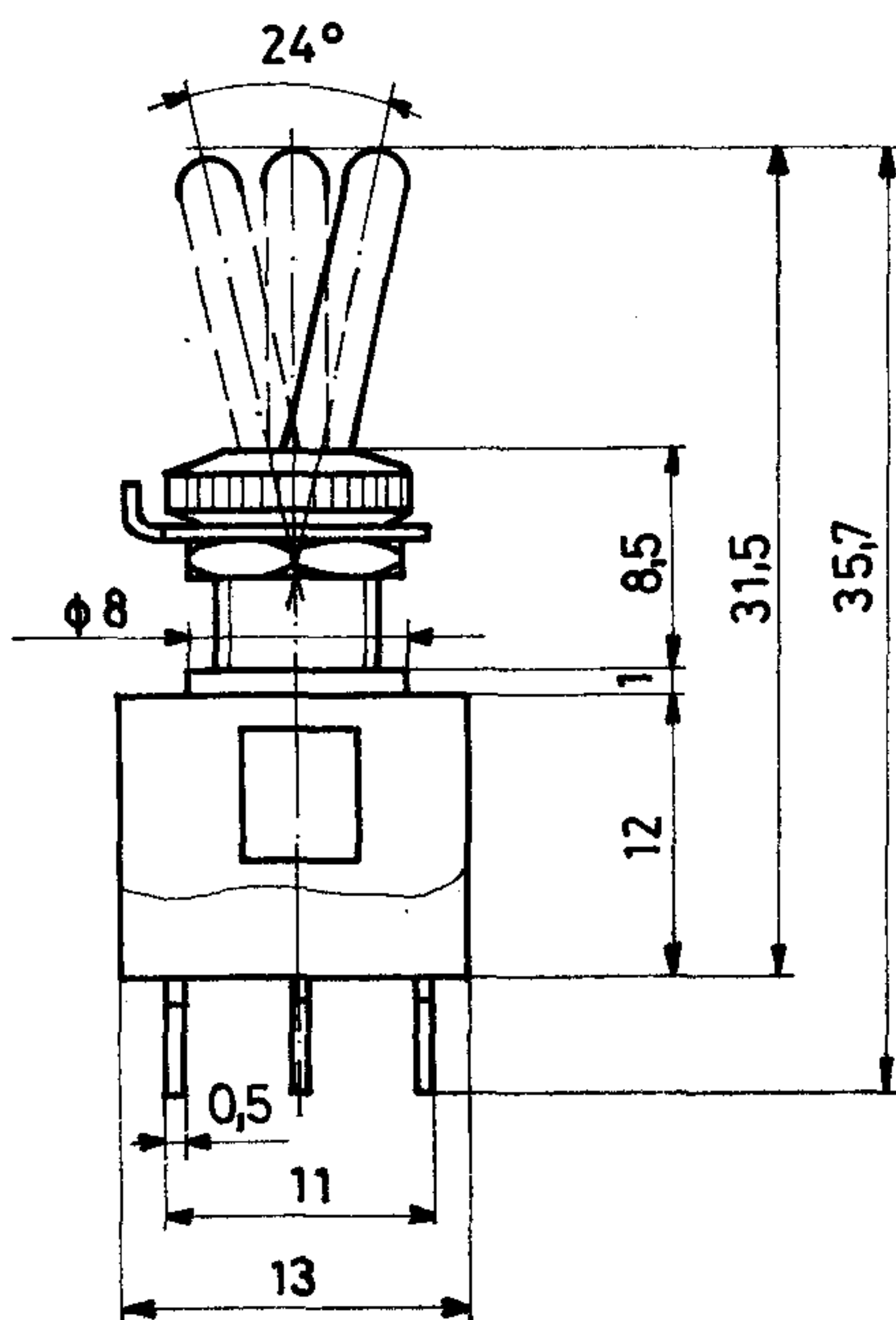
EZÜST ÉRINTKEZŐK		ARANYOZOTT ÉRINTKEZŐK		KIVITEL	KAPCSOLÓ KAR ÁLLÁS			KAPCSOLÁSI VÁZLAT
Típusjel	Gy. szám	Típusjel	Gy. szám					
KB 2M1A1	1.618.0001	KB 2M1A2	1.618.0006	Váltókapcsoló	ON	—	ON	
KB 2M1B1	1.618.0002	KB 2M1B2	1.618.0007	Két „be” kapcsolt állású	ON	OFF	ON	
KB 2M1E1	1.618.0003	KB 2M1E2	1.618.0008	Visszaálló váltókapcsoló	ON	—	MOM	
KB 2M1C1	1.618.0004	KB 2M1C2	1.618.0009	Két „pillanat be” kapcsolt állású	MOM	OFF	MOM	
KB 2M1D1	1.618.0005	KB 2M1D2	1.618.0010	Egy „be” egy „pillanat be” kapcsolt állású	ON	OFF	MOM	
KB 2M2A1	1.618.0011	KB 2M2A2	1.618.0016	Váltókapcsoló	ON	—	ON	
KB 2M2B1	1.618.0012	KB 2M2B2	1.618.0017	Két „be” kapcsolt állású	ON	OFF	ON	
KB 2M2E1	1.618.0013	KB 2M2E2	1.618.0018	Visszaálló váltókapcsoló	ON	—	MOM	
KB 2M2C1	1.618.0014	KB 2M2C2	1.618.0019	Két „pillanat be” kapcsolt állású	MOM	OFF	MOM	
KB 2M2D1	1.618.0015	KB 2M2D2	1.618.0020	Egy „be” egy „pillanat be” kapcsolt állású	ON	OFF	MOM	

1. táblázat

Gy. szám	Típuszám	Érintkező bevonat	Kapcsolható áramkör
1.619.0001 1.619.0002	KB 3M1A2 KB 3M2A2	arany	egy kettő
1.619.0003 1.619.0004	KB 3M1A1 KB 3M2A1	ezüst	egy kettő

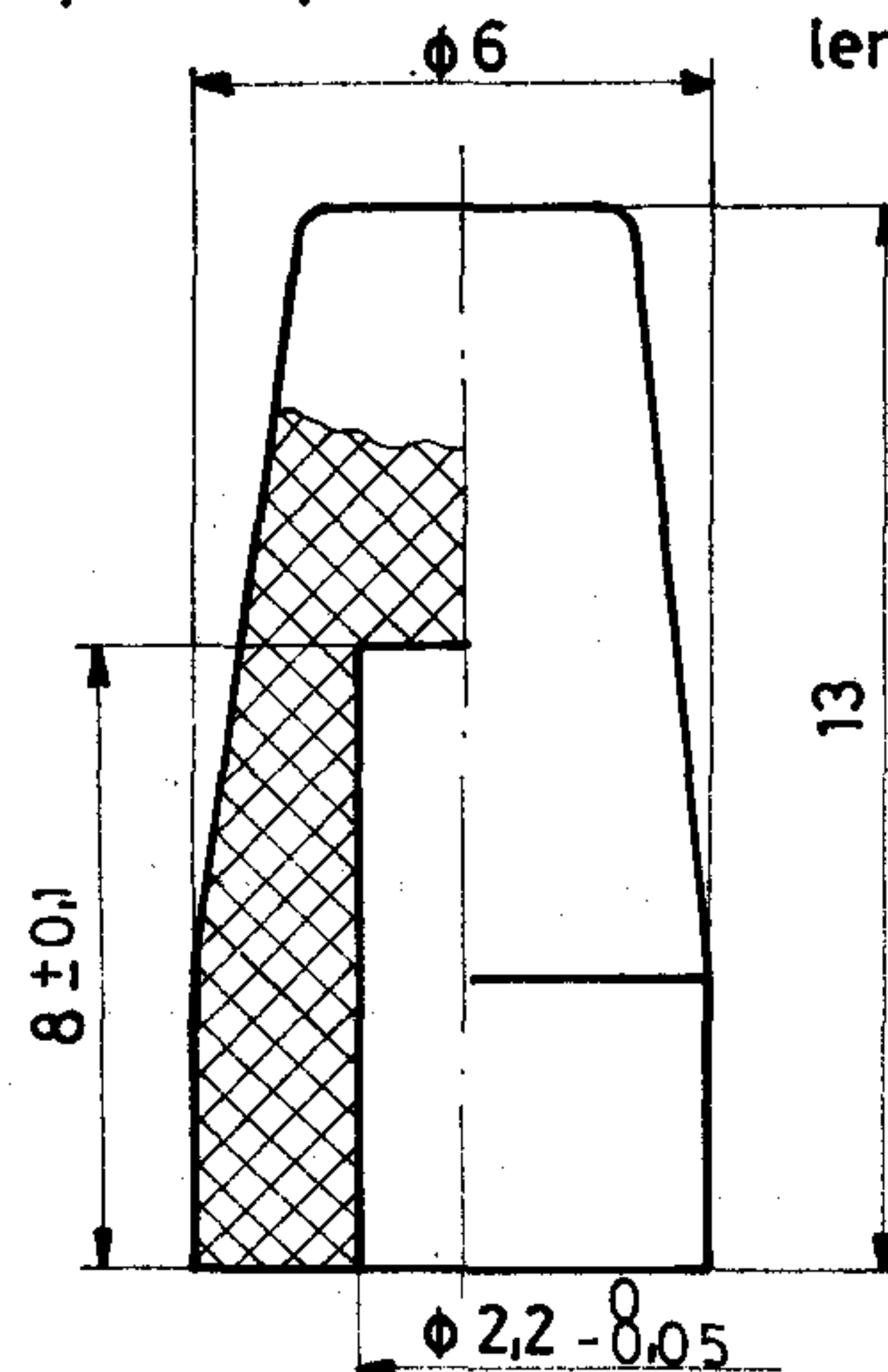
2. táblázat

EGYÁRAMKÖRÖS (KB 2M1...)



TARTOZÉK:

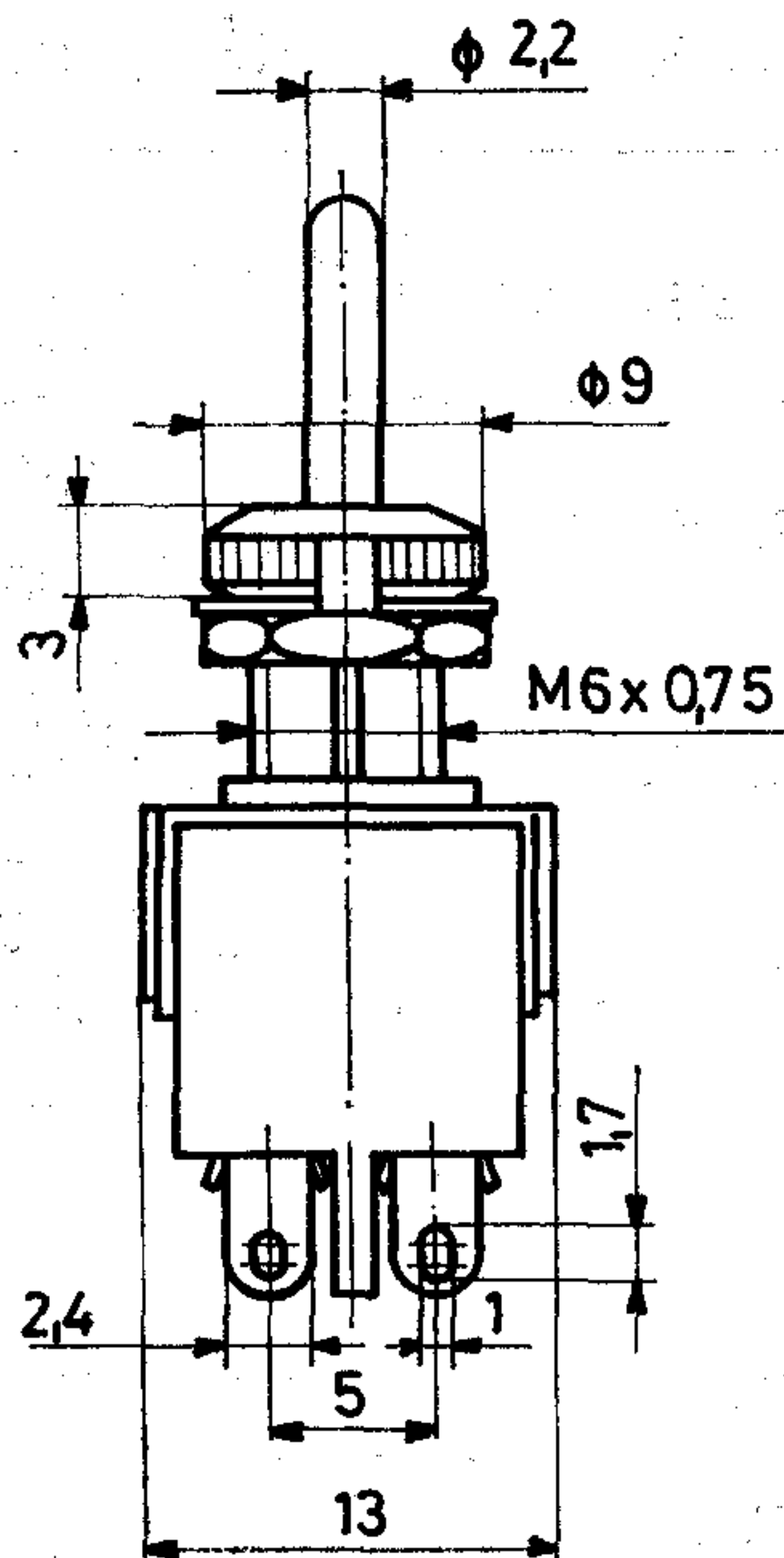
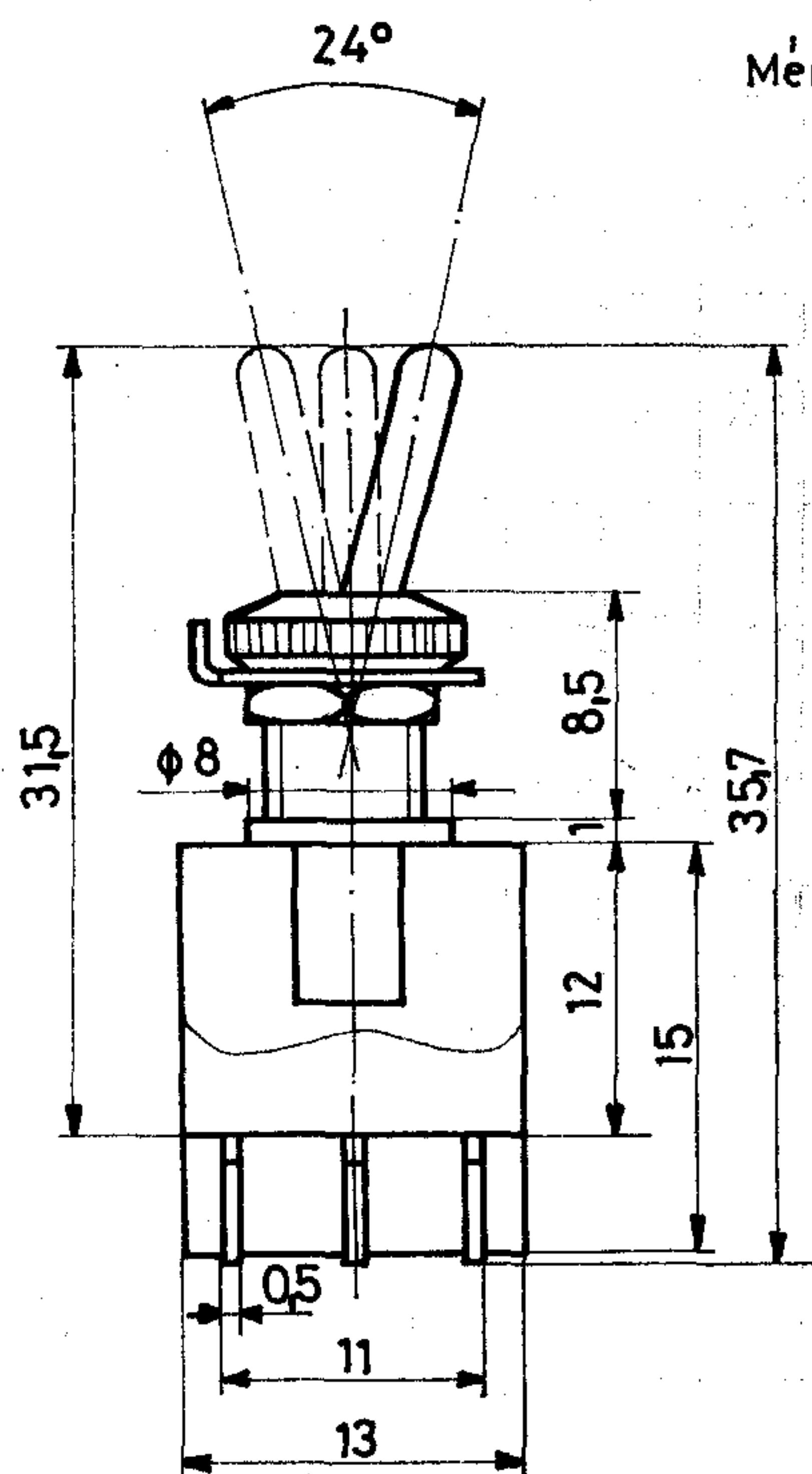
Sapka (kapcsolóhoz külön rendelendő)



RENDELESNÉL a kívánt sapkaszinnek megfelelő gyártási számot kell megadni.

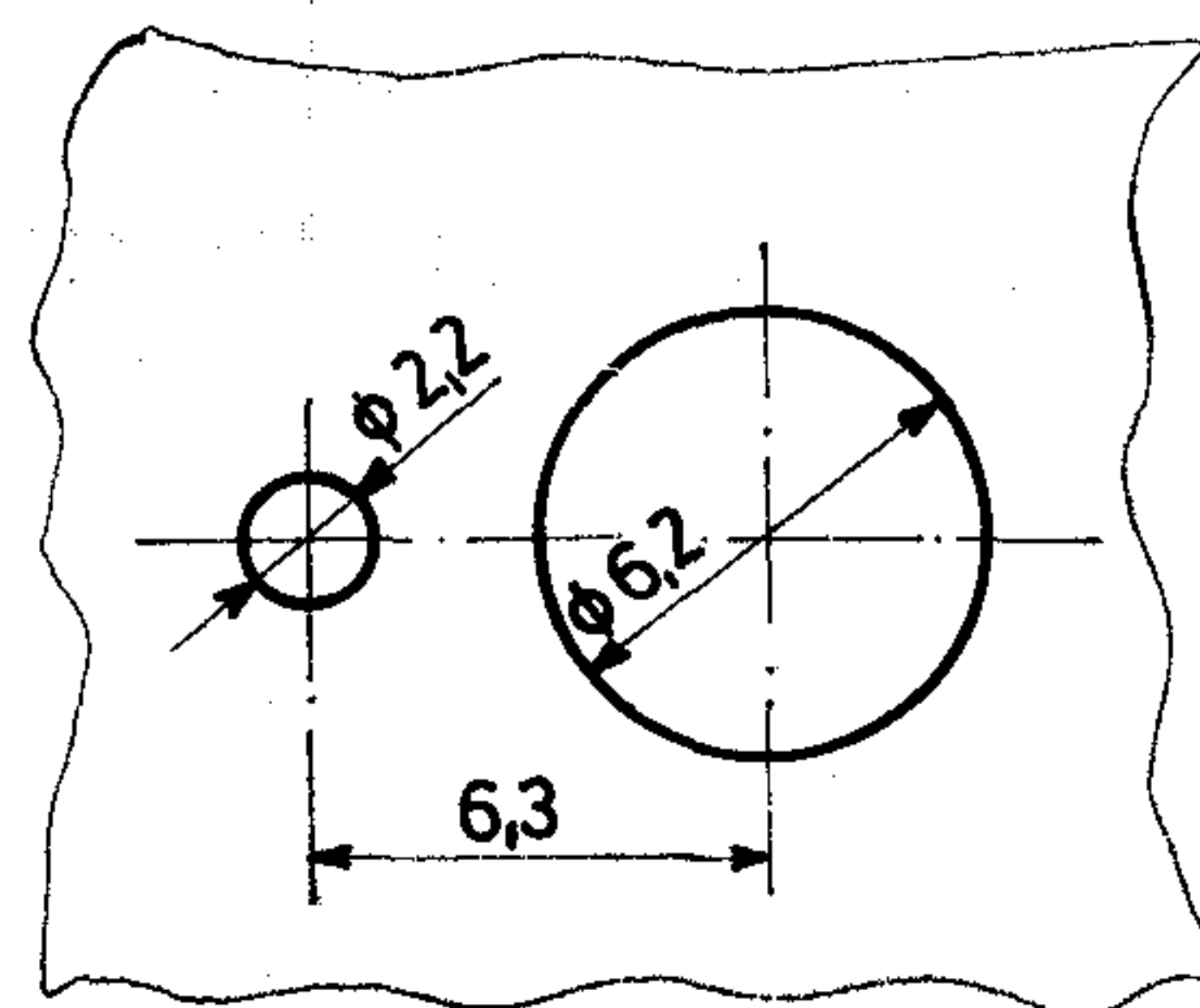
KÉTÁRAMKÖRÖS (KB 2M2...)

Méreték mm-ben



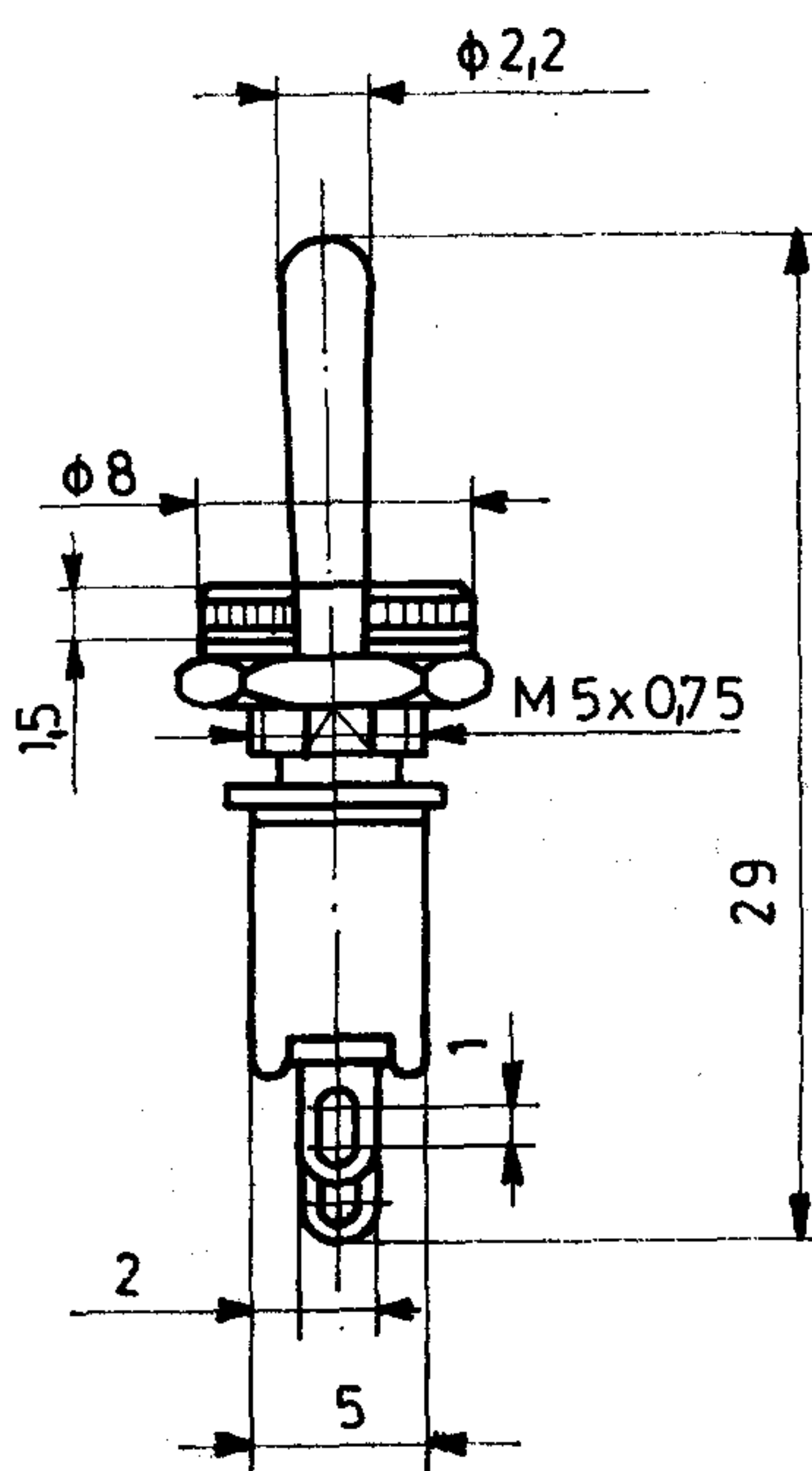
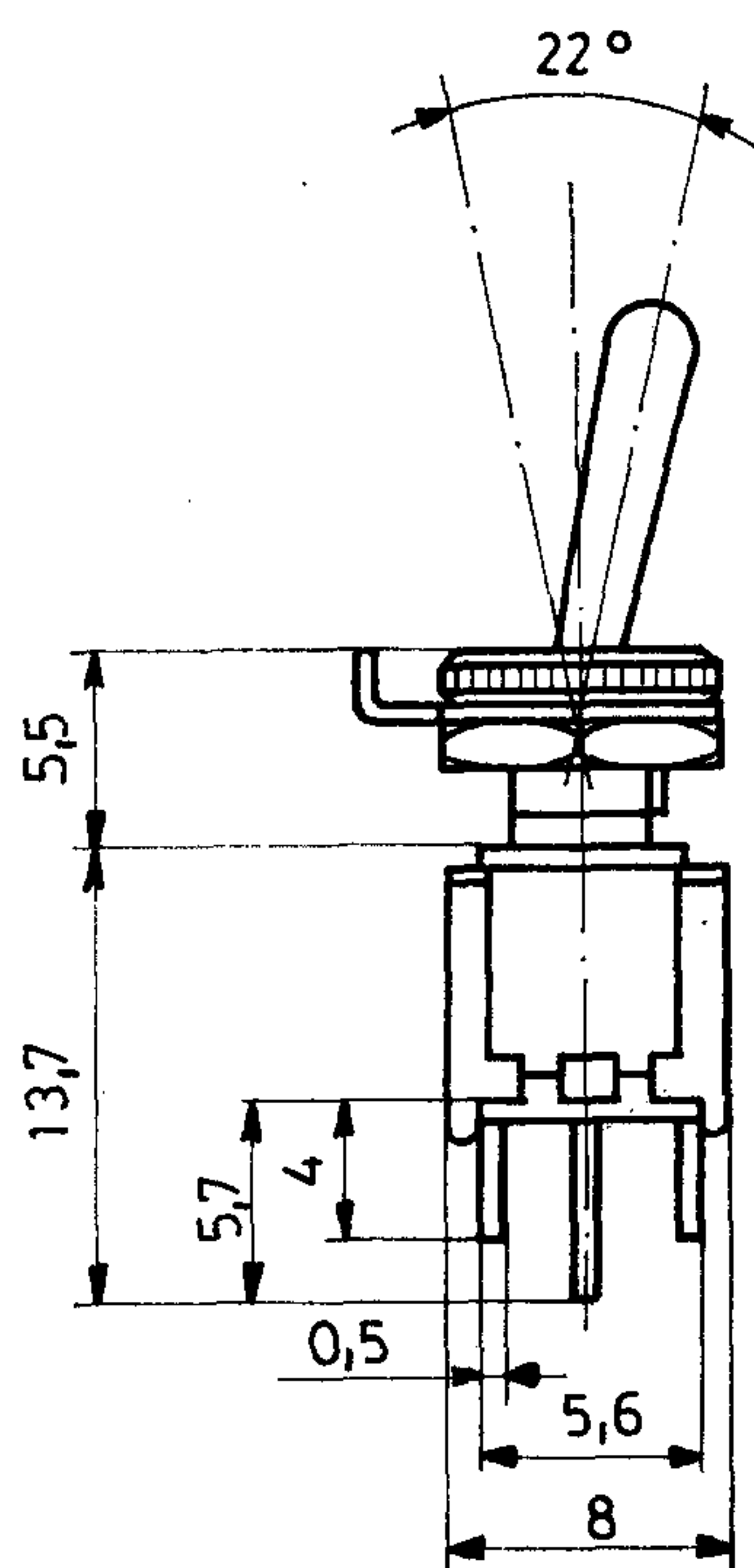
Szín	Gyártási szám
fekete	6.618.0036
sárga	6.618.0035
zöld	6.618.0034
kék	6.618.0033
piros	6.618.0032
fehér	6.618.0031

Szerelőlap kivágás

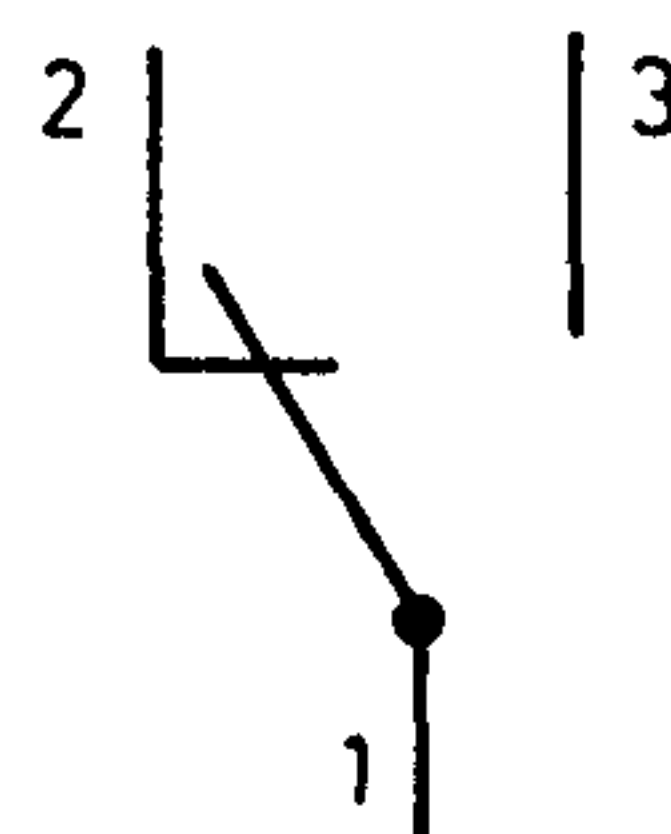


A szerelőlap max. vastagsága: 4 mm

1. ábra

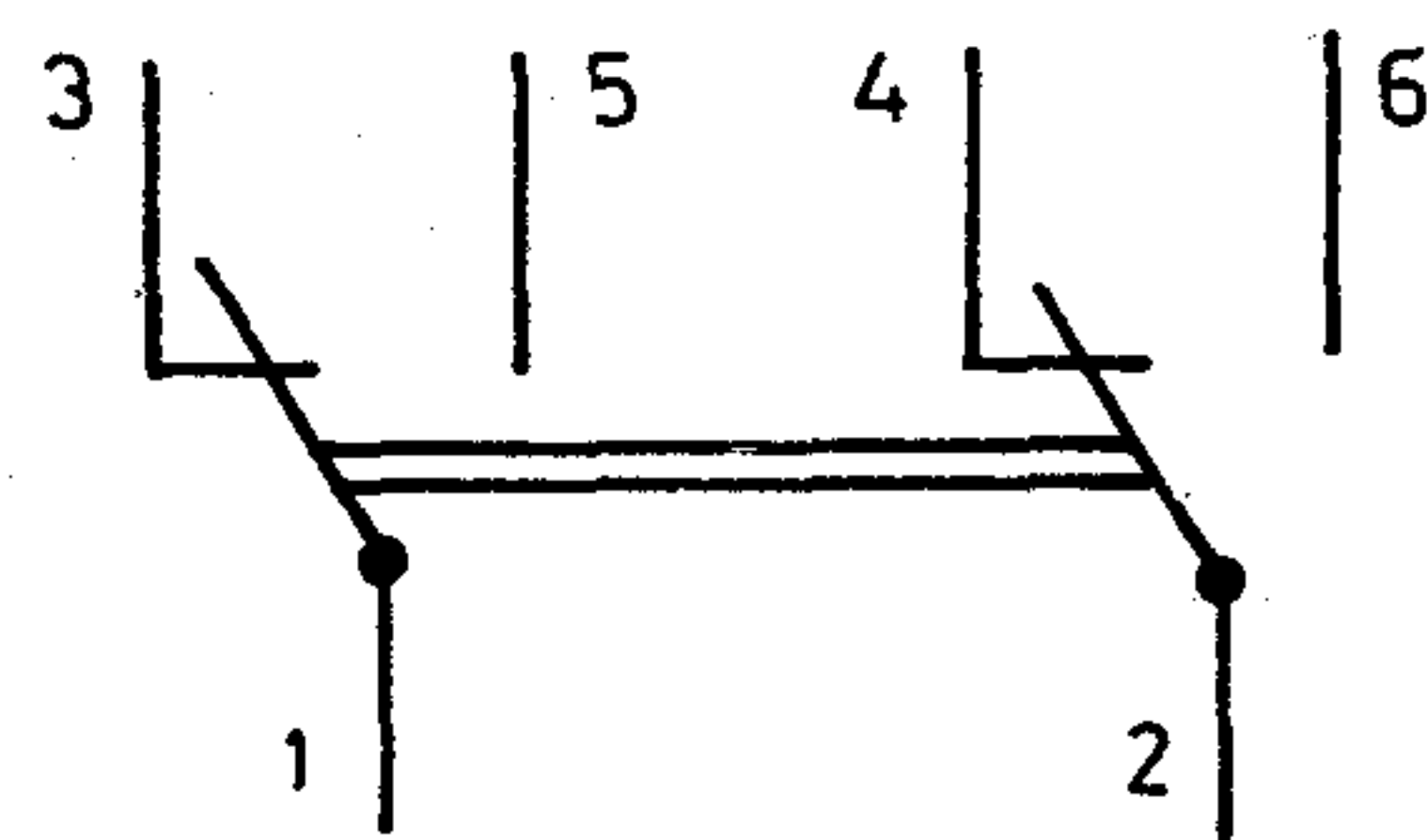
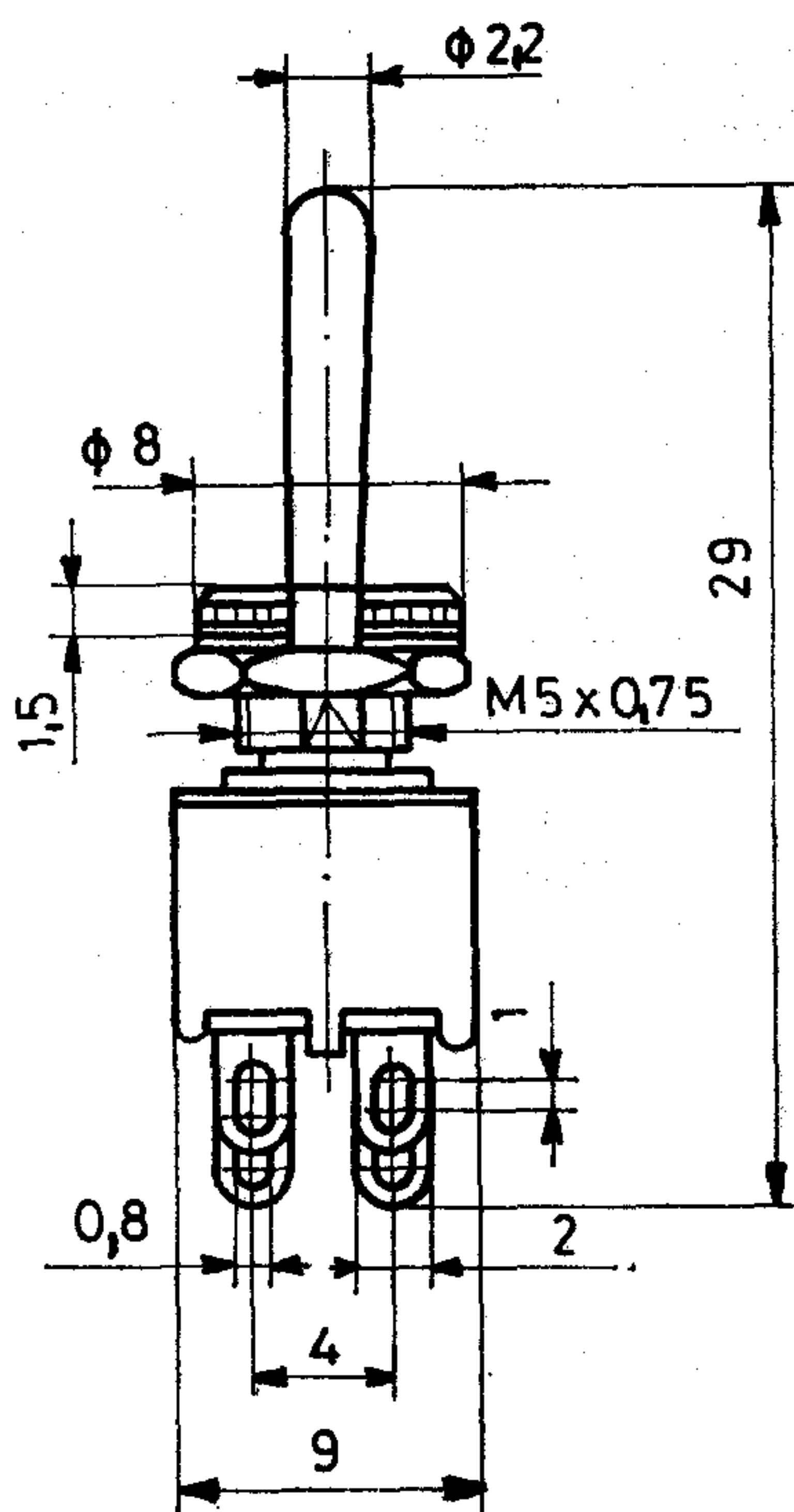
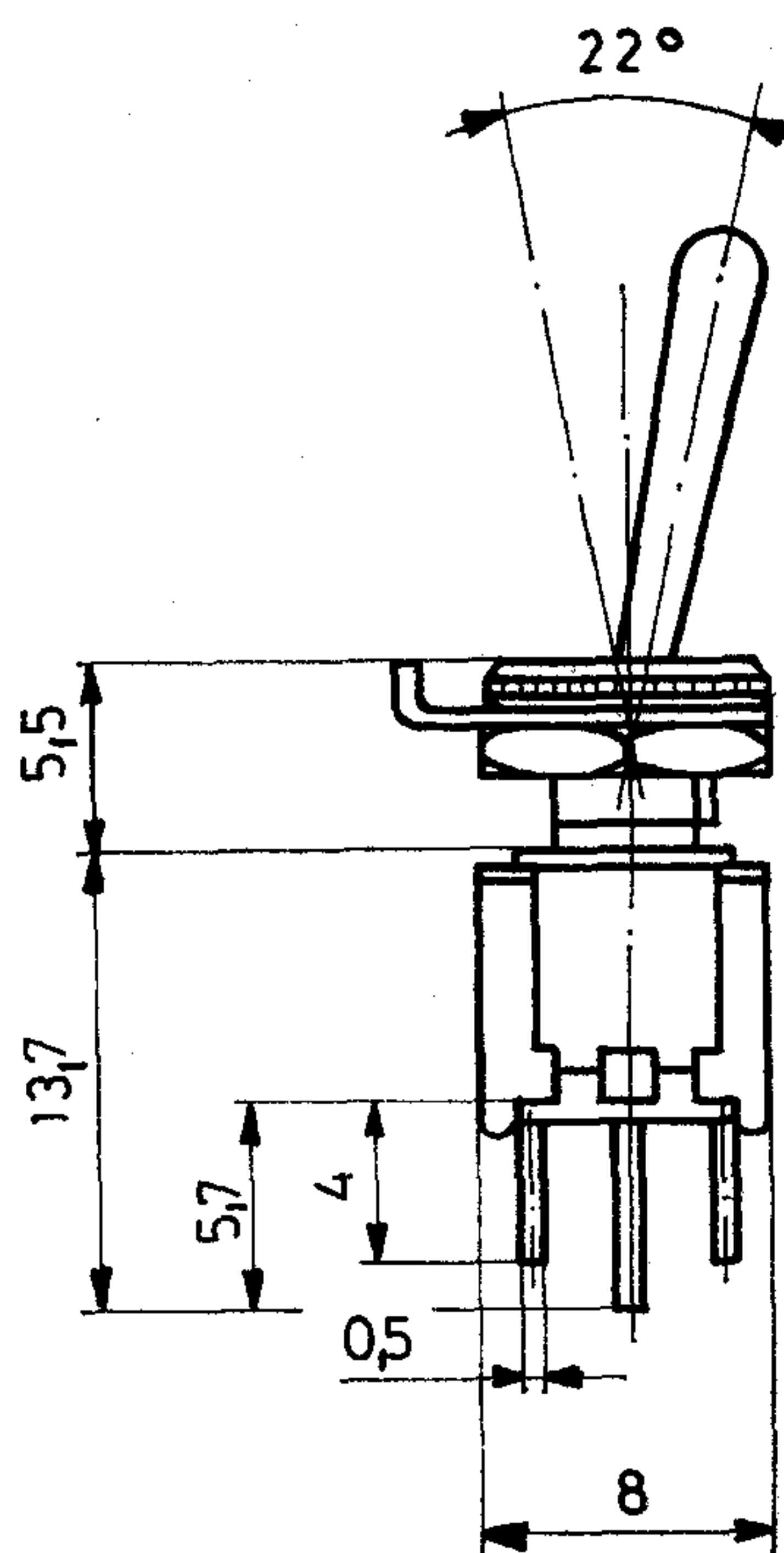


EGYÁRAMKÖRÖS
VÁLTÓ KAPCSOLÓ
(KB 3M1...)

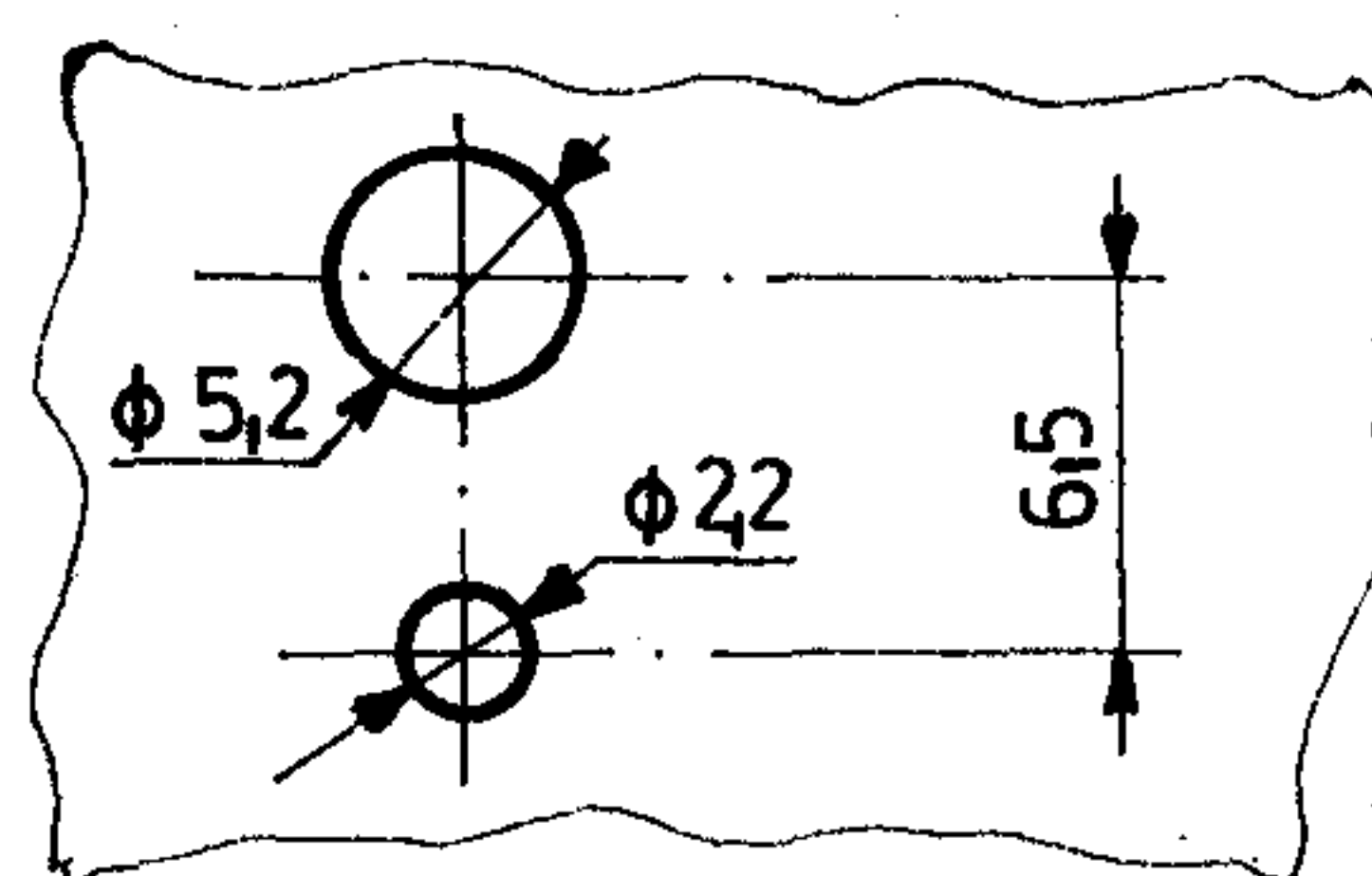


Méreték mm-ben

KÉTÁRAMKÖRÖS
VÁLTÓ KAPCSOLÓ
(KB 3M2...)



Szerelőlap kivágás



Szerelőlap vastagsága
max. 3mm

2. ábra

Az ismertett termékek gyártásának beindulása 1985. második felében várható.
Bármely alkalmazástechnikai kérdésben a KONTAKTA műszaki fejlesztési főosztálya (279-200/227), katalógus-
igény esetén pedig a kereskedelmi főosztály készséggel áll felhasználóink rendelkezésére.

Lautner Pál

KONTAKTA

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

Beszámoló a IV. Energiaipari Távközlési Szemináriumról

A Híradástechnikai Tudományos Egyesület, Energiaipari Távközlési Szakosztálya 1984. szeptember 19–21. között, Siófokon sikeresen megrendezte a — már kétévenkénti hagyományos —

IV. Energiaipari Távközlési Szemináriumot.

A rendezvény megszervezését az
Energiagazdálkodási Tudományos,
Közlekedéstudományi,
Magyar Elektrotechnikai,
Méréstechnikai és Automatizálási Tudományos,
Országos Magyar Bányászati és Kohászati

Egyesületek is támogatták.

A szeminárium fővédnökségét dr. Kapolyi László ipari miniszter, a védnökséget Schiller János, az MVMT és Zsengeller István, az OKGT vezérigazgatói vállalták.

Az energiaipari zárt célú technológiai távközlő rendszerek, a zavartalan villamos- és szénhidrogén energia szolgáltatás érdekében, annak alárendelve létesültek és üzemelnek. Így kiemelt jelentősége van más távközlő rendszerek üzemeltetőivel — elsősorban a postával —, valamint a híradástechnikai ipar és kutató intézetek szakembereivel a rendszeres kapcsolattartásnak és tapasztalatcserének.

A rendezvény iránti nagyfokú érdeklődést mutatja, hogy 63 vállalat, illetve szerv által képviselt mintegy 200 hivatalos és meghívott résztvevő közreműködésével folytak az előadások és szakmai megbeszélések.

A megnyitó előadást dr. Budinszky József, az OMFB főosztályvezetője tartotta a műszaki fejlesztés fő irányairól, az anyag, az energia és az információ kapcsolatáról.

A három nap alatt 11 hazai és 7 külföldi előadás hangzott el, melyek a következő fő témaköröket ölelték fel:

- optikai (fényvezetős) távközlés,
- rádiótelefonია új szolgáltatásai és digitális technika,
- rendszer mérés technika,
- erősáramú hálózatok távközlési célú igénybevétele és a zavaró hatás elleni védelmek.

A hazai előadásokat a gyártó ipar (TERTA, BRG, BHG, MKM), a posta (PKI, MPK, Soproni Ptg.), az egyetem (BME—EI), és a kutató intézetek (TKI, PKI) e témákkal foglalkozó kiemelt szakemberei adták elő. A 7 külföldi előadást négy ismert világ cég

(Siemens, Hawlett Packard, Autophon, Wandel & Goltermann) tartotta ugyancsak a fenti témakörökben. Az előadások legtöbbje műszaki újdonságot és kevésbé ismert megoldásokat mutatott be.

Az előadásokat rövid vita követte, sajnos az idő rövidsége miatt nyilvánosan nem volt mód hosszabb eszmecsere. Az érdekesebb témákat és felvetéseket a szakosztály külön klubnapok keretében fogja ismételten tárgyalni.

A programhoz tartozott, illetve a résztvevők folyamatosan megismerkedhettek a kiállításon bemutatott eszközökkel, így a Siemens PC 16-os személyi számítógépes konfigurációval, a Magyar Posta személyhívó és szelektív rádiós kapcsoló rendszerével, az Autophon rádiótelefon készülék családdal. Fakultatív módon lehetőség volt a Gáz- és Olajszállító Vállalat gázföldszácler központjának megtekintésére is, ami számos szakembert érdekelt.

Ugyancsak színesítette a rendezvényt a kőolaj- és gázipari távközlő rendszer üzemviteléről és az első hazai (posta) fényvezető kábel építésről készített filmek bemutatása.

Igen értékes és hasznos megbeszélések, tapasztalatcserék voltak a hivatalos programokon kívül. A személyes kapcsolatok, egymás gondjainak közelebb-ről való megismerése nagy jelentőséggel bír a mindennapi munkában. Ezért az oktató és továbbképző jelleg mellett, a távközlési szakma különböző területein dolgozó szakemberek rendszeres találkozáját a technológiai távközlés fórumát célszerű a jövőben is megtartani.

A kétévenként megrendezésre kerülő szemináriumok színvonala egyre magasabb és az érdeklődés is egyre növekszik. Az energia-iparágakon kívül mind több gyártó vállalat, kutató intézet, postai szervek, külkereskedelmi és külföldi cégek jelentkeznek a szemináriumra előadással és résztvevőként, ami mutatja a technológiai távközlés fontosságát és elismerését.

A most véget ért IV. Energiaipari Távközlési Szeminárium rendezőinek munkája sikeres volt és közmegelegedést váltott ki, az igazi eredményét majd azon lehet legjobban lemérni, hogy a résztvevők mennyit hasznosítanak a hallottakból és a látottakból a napi feladatuk elvégzésében.

Halász Miklós
szakosztály elnök h.

Alkatrész-szeminárium '84

Harmincéves múlttra tekint vissza az a „társadalmi fórum” sorozat, amelynek ez évi szemináriuma 1984. szeptember 26–28. között, Siófokon került megrendezésre. Tíz éve, hogy az „Alkatrészek alkalmazási kérdései” címmel tartott pécsi konferencián céltudatosan foglalkozni kezdtünk a magyar elektronikai ipar fejlődési problémáival. A kerek évfordulóra való emlékezés kapcsán átfogóbb jelleggel szerveztük mostani szemináriumunkat. A plenáris előadásokat a szokásosnál szélesebb körűre szerveztük. Magas állami szintről kértünk és kaptunk tájékoztatást az elektronika előtt álló perspektívákról és értékelést az elektronikai ipar mai helyzetéről, valamint áttekintést a következő ötéves tervet megalapozó elképzelésekről.

Megnyitó előadásában dr. Pál Lénárd akadémikus, az OMFB elnöke foglalkozott a műszaki fejlesztés fő irányjaival és azok közötti kölcsönhatásokkal. A távlati fejlesztési feladatok ismertetésénél részletesen elemezte az elektronizálás széles körű elterjesztésének és a mikroelektronikai technológiák fejlesztésének jelentőségét. Megállapításai között hangsúlyozta, hogy a hazai elektronizálási folyamat nem képzelhető el az elektronikai alkatrészek célszerű és szelektív fejlesztése nélkül. A mikroelektronikai alkatrészgyártás fejlesztésének helyzetét értékelve az eddig végzett tevékenységet a szocialista országokhoz viszonyítva is szerény lépésnek tekintette. Tartalmi változás szükséges a VII. ötéves tervidőszakban. Ha ezt nem tesszük, az egész elektronizálási folyamatot aláássuk.

Dr. Kapolyi László akadémikus, ipari miniszter „A magyar népgazdaság elektronizálódása gazdasági szervezési programjának megvalósításából adódó feladatok” című előadásában sorozatban mutatott rá azon elektronikai feladatok fontosságára, amelyek a népgazdaság különböző ágazatai részéről merülnek fel. A népgazdasági szintű igények kielégítésének folyamataiban elemzett tevékenységek szemléltető ábrák segítségével való bemutatása alapján is meggyőződhetünk a szeminárium résztvevői arról, hogy az elektronikai ipar szakembereinek alkotó munkáját mennyire értékeli és a munkájára mennyire számít az ipar vezetése, és hogy a felvázolt feladatok, valamint a műszaki fejlődés nélkülözhetetlen volta miatt az ágazatnak gyorsabb ütemben kell fejlődni, mint az átlagos gazdaságnövekedés.

Köteles Zoltán ipari miniszterhelyettes „A magyar elektronikai ipar helyzete és feladatai. Az EKFP hatása az elektronikai iparra. A VII. ötéves terv” című előadásában az elmúlt tíz évre visszatekintve értékelte az ágazat fejlődési dinamikáját, amely a nehézségek ellenére is jobb volt az 1983-as évben, mint az utóbbi két évtizedben elért, elismerten jó átlag. Hangsúlyozta, hogy ez az első szeminárium, amikor nem belső terveinkből kiindulva tárgyalunk, hanem az ágazat felé jelzett igények ismeretében. Az igények jelentkezésénél két forrást emelt ki, egyik a MTESZ társegyesületeinek felmérése, a másik a több irányból összehangolt VII. ötéves terv előkészítése. Az eredmények mellett foglalkozott a célkitűzések megvalósítása területén jelentkező nehézségekkel is,

melyek leküzdésére a továbbiakban is és folyamatosan koncentrálni kell az erőket, és külön ráirányította a figyelmet a népgazdaság általános célkitűzéseivel nem egyező jelenségek megszüntetésére.

A további plenáris előadásokban dr. Sándory Mihály kormánybiztos, a MEV vezérigazgatója „A mikroelektronikai alkatrészek fejlesztési helyzete. Az aktív alkatrész kibocsátás alakulása, tervképzések” címmel, dr. Molnár Rudolf, a REMIX igazgatója „A passzív alkatrészek és a hibrid áramkörök fejlesztési elképzelése és az igények kielégítésének helyzete” címmel és Kauser Dénes, a KONAKTA fejlesztési főmérnöke „Az elektromechanikus alkatrészek fejlesztésének eredményei és céljai az EKFP I. és II. tervidőszakában” címmel tartott beszámolót.

A felhasználói igények oldaláról Berecz Frigyes, a BHG vezérigazgatója adott információt „Az alkatrészipar helyzete a berendezésgyártó szemszögéből” címmel, majd Köveskúti Lajos, a HT elnöke tartott előadást „A BOÁK alkalmazásának tapasztalatai és gazdasági hatásai” címmel.

Ismételten napirendre kellett tűzni a kereskedelemmel kapcsolatos kérdéseket, melyekkel Iklódy Gábor, az EMO vezérigazgatója „Az elektronikai alkatrészellátás gondjai, perspektívái” című előadásában foglalkozott.

Ezek az előadások őszintén tárták fel az egyes részterületek eredményeit, a közismert nehézségek okozta lemaradásokat és az ezek felszámolására tett erőfeszítéseket, nem elhallgatva belső, saját magunk okozta akadályozó tényezőket sem, mint pl. az együttműködési készség hiánya, a hazai embargó stb.

Külön elismerést érdemlő színvonalon készültek szakembereink a szekciókban tartott előadásokra és poszterekre. Az irántuk megnyilvánult érdeklődés és az igen korlátozott idő ellenére megnyilvánuló vitakészség is igazolta, hogy az így kapott információk igen lényeges tartalmi részek hordozói és így a kapcsolódó kérdések megválaszolására és a kialakuló viták lefolytatására a rendelkezésre álló idő kevésnek bizonyult.

Meg kellett állapítani, hogy a szeminárium résztvevőinek régi vágya teljesült, amikor a felső szintű vezetők részéről is hallhatták az elektronika jelentőségét. Változatlanul hiányolható azonban még mindig a konkrét koordináció. Érthető, ha a szemináriumon is hangoztatott feladatok miatt a fejlesztési források bátrabb odaítélhetőségét szorgalmazni kell és természetesen egyidejűleg tudomásul kell venni, hogy történelmi a felelőssége annak a generációnak, amelyik vállalkozik egy minőségi lépés megtételére és vállalja azt a felelősséget, hogy ilyen nehéz helyzetben levő gazdaság erőforrásaiból az átlagosnál többet kér. Ki kell mondani azonban azt is, hogy a vállalkozás hatékonysága csak akkor várható, ha ez a felelősség az alkotó embertől, a vállalati kollektívákon keresztül, az ipar összefüggő rendszerén át a népgazdaság egészét átszövi.

Ki kell hangsúlyozni, hogy a szeminárium sikeréhez nagyban hozzájárult a Híradástechnika című

folyóiratunk különszámának a szeminárium előtt való megjelenése. Így ugyanis a résztvevők — többek között — írásban is összefoglalást kaptak az eltelt tíz év alatt rendezett társadalmi fórumok határozataiból és az EMO alkatrész-forgalmazási feladatairól is.

A hagyományoknak megfelelően a szeminárium munkáját összefoglalóval fejezte be, melynek eredményeként a szeminárium résztvevői az alábbi határozatot fogadták el:

1. Már most látható, hogy elektronikai alkatrésziparunk fejlődése a VI. ötéves tervidőszakban elmarad azoktól a céloktól, amelyet az Elektronikai Központi Fejlesztési Program indulásakor megfogalmaztunk. Elismerésre méltók a MOS gyártás beindítása, a fémréteg-ellenállás, a fólia-, a réteg-, az elektrolitikus kondenzátorok, a hibrid áramkörök, valamint a stroncium-ferrit területén elért eredmények, ugyanakkor lemaradás várható a VI. ötéves terv végére a passzív-, az elektromechanikus-, a vákuumtechnikai- és a szerkezeti alkatrészek programjában.
2. A VII. ötéves tervidőszakra elkészült az elektronikai és önálló részként az alkatrészipari koncepció. Az alkatrész szeminárium egyetért az elektronikai ipar dinamikus fejlesztési változával és kéri az ipar vezetését, hogy az alkatrészipar fejlesztésében olyan támogatást biztosítson, amely a berendezésgyártás fejlesztésének ütemével összhangban van. Ennél a programnál számolni kell a már meglevő lemaradásunk felszámolásán túl a berendezésgyártó ipar fejlődése által megkívánt alkatrészigénnyel, továbbá a VII. ötéves tervidőszakban még dinamikusabban jelentkező iparon kívüli alkatrészfelhasználók igényével, valamint a VII. ötéves terv kezdetétől induló hazai népgazdasági elektronizáció által létrejövő alkatrészigényekkel.
3. A VII. ötéves tervre szóló alkatrészipari koncepció kidolgozása során újra bebizonyosodott, hogy az országos alkatrészigény által indokolt-

nak látszó alkatrészipari fejlődési meredekséget a csak a vállalatok lehetőségeit figyelembe vevő elképzelések nem tudják elérni, és újra megerősödött az a megállapítás, hogy az elektronikai háttérpar megteremtésében nélkülözhetetlen a jelentős állami beavatkozás és a megoldást is garantálni tudó állami segítség.

4. Az alkatrész-szeminárium egyetértőleg tudomásul vette, hogy a VII. ötéves tervidőszak kezdetétől induló hazai — a népgazdaság elektronizálását is magába foglaló — Központi Gazdaságfejlesztési Program készül. Javasolja, hogy a programon belül a berendezések alkatrészigényének kielégítése legalább akkora prioritást kapjon, mint amilyent a tőkés export kap.
5. A VI. ötéves tervidőszak tapasztalatai alapján újra megállapítható, hogy a szocialista alkatrészekhez való hozzáférést nem tudjuk az általunk kívánt — műszakilag és gazdaságilag szükségesnek látszó — mértékben és ütemben megoldani, mivel az csak kölcsönös előnyöket biztosító árucseréalappal érhető el.
6. A Szeminárium megállapította, hogy mind a plenáris, mind a részletes szakmai előadások és ez utóbbiakat követő viták tárgyilagosan foglalkoztak az elektronikai alkatrészek területén elért újabb eredmények ismertetésével, valamint a felhasználók és gyártók kapcsolatának fejlesztésére vonatkozó kérdésekkel. A Szeminárium a szakma képviselőinek széles körű személyes eszmecserékre biztosított lehetőséget a felhasználói tapasztalatokról, az alkatrészigényekről, valamint az alkalmazástechnikai problémákról.
7. A Szeminárium a továbbiakban is szükségesnek tartja évenként megrendezni az elektronikai alkatrészekkel foglalkozó hagyományos szakmai és társadalmi fórumot.

Bráda Ferenc,
a HTE
Alkatrész Szakosztály
vezetője

Кешшеяк, П.—Варга, Г.:

Опыты по надежности относящихся к элементной базе АТС типа АР

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1984. № 12.

Касательно цифровых показателей по надежности элементов работающих в эксплуатируемых АТС, имеются в распоряжении относительно мало национальных опытов, смотря на то, что знание этих показателей является необходимым для разработки выпускаемой продукции, а также для технического ухода и экономического проектирования резервирования. Статья излагает самые важные цифровые данные 5-ти летнего опытного наблюдения — касательно элементной базы — телефонных станций типа АР, выпускаемых по лицензии ЛМЭ, а также дает краткую информацию о системе сборки и обработки данных.

Гефферт, Л.:

Чувствительность спецификации и производственная спецификация

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1984. № 12.

Чувствительностью спецификации является чувствительность небракованного производства по спецификации, с помощью которой можно рассчитать изменение небракованного производства в зависимости от различных изменений по спецификации без проведения дополнительных статистических анализов. Характеристики цепей изменяются под воздействием окружающей среды, поэтому необходимо предписать уже исходной, так называемую производственную спецификацию, чтобы создать запас изменений. Эта производственная спецификация определяется также с помощью чувствительности спецификации алгоритмическим образом в место эвристических методов.

Д-р Кочиш, Ф.:

Быстрые процедуры расчета дискретного преобразования Фурье (ДПФ)

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1984. № 12.

Характеризуя сложность вычислений ДПФ необходимым количеством умножений, выводится выражение, определяющее максимальную частоту сигналов в реальном масштабе времени. Одной из возможных путей увеличения максимизации частоты является уменьшение числа умножений алгоритмическим путем. Количество умножений, которые равно $O(N^2)$ при непосредственном расчете уменьшается до величины $O(N \log N)$ при постепенном делении на части. При некоторых условиях, наложенных на количество точек, вычисление ДПФ сводится к определению периодической свертки. Применением известных процедур для расчета периодической свертки, количество операций у которых равно $O(N)$, получают модули ДПФ Винограда для небольшого числа точек. Для большего числа точек применяются алгоритмы простых коэффициентов Гуда и алгоритм Винограда, затем оцениваются отдельные алгоритмы на основе полного числа операций (умножений, сложений, передвижений данных) в точка зрения практического осуществления.

Д-р Весели, Д.—д-р Зомбори, Л.:

Двухмерная симуляция окисленных и диффузионных технологических процессов для монолитических интегральных схем

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1984. № 12.

Статья излагает эффекты желающие знание двумерное распределение примеси. Излагаются технологические ступени при которых двухмерная симуляция является обоснованной, и излагаются модели и алгоритмы симуляции.

Д-р Эйслер П.—Гатмезей, Й.:

Новые методы для обслуживания и технического ухода традиционных коммутационных оборудований

HÍRADÁSTECHNIKA (Хирадаштехника, Будапешт) 1984. № 12.

Материал знакомит с принципом измерений применяемых в системе эффективного обслуживания традиционных коммутационных оборудований, которые обосновываются на измерении соотношения эффективности комплектов. Статья знакомит с опытами приобретенными по ходу применения метода в практике. Демонстрирует структурируемые системы обслуживания и технического ухода, а также предоставляемые ею основные услуги.

* * *

Kesselyák, P.—Varga, G.:

Эксперименты по надежности базиса компонентов в АТС типа АР

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1984. Nr. 12.

Es stehen verhältnismässig wenige Erfahrungen zur Verfügung, hinsichtlich der numerischen Kennziffern für die Zuverlässigkeit der Bestandteile, welche in den ungarischen Fernsprechämtern funktionieren, zwar ist die Kenntnis derselben unentbehrlich in der Produktentwicklung, sowie für die wirtschaftliche Planung der Inbetriebhaltung und der Versorgung von Ersatzteilen.

Der Artikel veröffentlicht die wichtigsten, auf die Bestandteilsbasis bezogenen Zuverlässigkeitskenn — werte, die sich während der 5-jährigen Beobachtungsperiode der Fernsprechämter Typ AR bei Postverwaltung Szeged gegeben wurden. Endlich das Datensammlung — und Verarbeitungssystem ist kurz beschrieben.

Gefferth, L.:

Die Spezifikationsempfindlichkeit und die Produktionsspezifikation

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1984. Nr. 12.

Die Spezifikationsempfindlichkeit ist die Empfindlichkeit der Ausbeute, wenn die Variable die Spezifikation ist. Mit Hilfe von der Spezifikationsempfindlichkeit ist die Kalkulation der Ausbeute für verschiedene Spezifikationen möglich, ohne immer wieder neuere und neuere statistische Analyse machen zu müssen. Die Umwelt beeinflusst die Parameter der Netzwerke, deshalb soll eine sogenannte Produktionsspezifikation vorgeschrieben werden, die enger als die Originalspezifikation ist, um für auftretende Änderungen eine Reserve zu haben. Diese Produktionsspezifikation kann mit Hilfe von der Spezifikationsempfindlichkeit — anstatt der bisherigen heuristischen Schätzungen — algorithmisch kalkuliert werden.

Dr. Kocsis, F.:

Schnelle Verfahren zur Berechnung der diskreten Fouriertransformation

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1984. Nr. 12.

Die Komplexität der Berechnung der DFT mit der Zahl der notwendigen Multiplikationen beschreibend wird eine Beziehung hergeleitet, welche die höchste Frequenz der Real Time Signalverarbeitung angibt. Ein höchster Weg zum Erhöhen der erreichbaren Frequenz ist die Reduktion der Zahl der Multiplikationen mit algorithmischen Mitteln. Die Zahl der bei der direkten Auswertung notwendigen $O(N^2)$ Rechenoperationen reduziert wird bei dem sukzessiven Aufteilen auf $O(N \log N)$ Multiplikationen. Mit bestimmten Einschränkungen in Bezug der Zahl der Punkte kann die Berechnung der DFT auf das Bestimmen periodischer Konvolution zurückgeführt werden. Mit der Anwendung der zu der Berechnung der periodischen Konvolution bekannten Verfahren mit $O(N)$ Rechenoperationen werden die Winogradsche DFT-Moduls für kleine Punktzahlen hergeleitet. Zur Berechnung der DFT mit grösseren Punktzahlen wird das Goodesche Primfaktor-Algorithmus (PFA) und das Winogradsche Algorithmus (WFTA) angewendet, und die einzelnen Algorithmen werden unter dem Gesichtspunkt der praktischen Realisierung, auf Grund der Zahl der notwendigen Rechenoperationen (Multiplikationen, Additionen, Datenbewegungen, usw.) bewertet.

Dr. Veszely, Gy.—Dr. Zombory, L.:

Zweidimensional Simulation des Dotierungsverfahrens und des Oxidationsprozess der monolithische integrierte Schaltung

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1984. Nr. 12.

Der Artikel darlegt die Effekte, welche erfordern die Kenntnis der zweidimensionalen Dotierungskonzentration. Er fasst zusammen technologische Stufen, bei welchen zweidimensionale Simulation begründet ist und darlegt Modellen und Algorithmus der Simulation.

Dr. Eisler, P.—Gátmezei, J.:

Neue Methoden für die Betriebsüberwachung und Instandhaltung der traditionellen Schaltungsanlagen

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1984. Nr. 12.

Der Artikel erörtert die Messmethode, welche im System für die Sicherung der effektiven Betriebsüberwachung der traditionellen Schaltungsanlagen verwendet wird. Diese Messmethode beruht auf dem Messen des Effektivitätsverhältnisses der Stromkreise. Es werden auch die während der praktischen Anwendung gewonnenen wichtigeren Erfahrungen veröffentlicht. Im Artikel wird auch der Aufbau dieses Überwachungssystems, sowie dessen wichtigsten Dienstleistungen vorgezeigt.

* * *

Kesselyák, P.—Varga, G.:

Related to their Component Basis Reliability Observations of AR Telephone Exchanges

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1984. No. 12.

Relatively a few observations are available in this country relating to the numeric reliability characteristics of components working in operating equipment, the knowledge of them, however, is indispensable in product development, and in economy planning of maintenance and spares support. The paper introduces the main numeric data of the five years long reference reliability monitoring of LME licenced AR telephone exchanges carried out by the BHG in cooperation with the PO of Szeged, relating to component base. A short review of the data collecting and processing system itself is given, too.

Gefferth, L.:

Specification sensitivity and production specification

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1984. No. 12.

An algorithm is described which computes the sensitivity of the manufacturing yield of a circuit or a system with respect to changes in the specifications. Using the concept of specification sensitivity, the change of the yield due to different changes of the specifications can be calculated without performing a new Monte Carlo analysis or retesting the network function. Circuits designed to work under environmental influence have to be tested at the production stage against a production specification, which also can be determined by specification sensitivity.

Dr. Kocsis, F.:

Fast Algorithms for Computing the Discrete Fourier-Transform

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1984. No. 12.

Measuring the computational complexity of the DFT with the number of necessary multiplications a formula has been derived to determine the maximal frequency of real-time signal processing. One possible method to increase the maximal frequency is to decrease the number of multiplications algorithmically. Comparing with the $O(N^2)$ complexity of direct evaluation, the number of multiplications can be decreased to the order of $O(N \log N)$ by the "divide and conquer" method. Under some constraints on the length of the transformation the evaluation of the DFT can be transformed into computing an equivalent cyclic convolution. Using the optimal $O(N)$ procedures to evaluate cyclic convolutions the optimal small length

Winograd-type DFT modules have been derived. Computation of greater length DFT is done by the application of the Good-type prime factor (PFA) procedure and the Winograd algorithm (WFTA). The different algorithms are compared and evaluated on the bases of the number of necessary operations (arithmetic operations, data transfers, etc.) and the requirements of practical implementation.

Dr. Veszely, Gy.—Dr. Zombory, L.:

Two-dimensional simulation of doping and oxidation technology steps of monolithic IC-s

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1984. No. 12.

The paper introduces the effects demanding the knowledge about the two-dimensional dopant distribution. Those technological steps are considered in which the two-dimensional simulation is reasonable and the models and algorithms of simulation are surveyed.

Dr. Eisler, P.—Gátmezei, J.:

New Supervision and Maintenance Methods for Traditional Switching Equipment

HÍRADÁSTECHNIKA (Budapest) 1984. No. 12.

The paper introduces a measuring method used in the supervisory system of a traditional switching equipment, which is based on the measurement of circuit efficiency rate. The essential practical experiences are reviewed. The structure of the system and its main facilities are introduced.

HÍRADÁSTECHNIKA

A szerkesztésért felelős: Dr. Tófalvi Gyula. Szerkesztőség címe: Budapest V., Kossuth Lajos tér 6—8. 1055. Telefon: 531-027. Kiadja: a Lapkiadó Vállalat, Budapest, Lenin krt. 9—11. 1073. Telefon: 221-285. Levélcím: Budapest, Pf 223. 1900. Felelős kiadó: Siklósi Norbert vezérigazgató. 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 138,— Ft, egész évre 276,— Ft. Egyes szám ára 23,— Ft. Megjelenik havonta. A folyóirat külföldre előfizethető: „KULTÚRA” Külkereskedelmi Vállalat, H—1839 Budapest, Postafiók 149.



HU ISSN 0018—2028

Egyetemi Nyomda — 84.2967 Budapest, 1984. Felelős vezető: Sümeghi Zoltán igazgató

Index: 25 375